

156486

T.C.  
MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BİYOFİZİK ANABİLİM DALI

**DEĞİŞİK ŞİDDETLERDE UYGULANAN MANYETİK  
ALANLARIN RAT ELEKTROFİZYOLOJİK  
PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Sevgi GÜNEŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Belgin BÜYÜKAKILLI

MERSİN – 2004

T.C.  
MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BİYOFİZİK ANABİLİM DALI

**DEĞİŞİK ŞİDDETLERDE UYGULANAN MANYETİK  
ALANLARIN RAT ELEKTROFİZYOLOJİK  
PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Sevgi GÜNEŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMANI

Doç. Dr. Belgin BÜYÜKAKILLI

Bu tez, Mersin Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından  
BAP-SBE-TBG (SG) 2002 nolu proje olarak desteklenmiştir.

Tez No 29....

MERSİN – 2004

## Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü

.....Doktora/Yüksek Lisans Programı Çerçevesinde yürütülmüş olan “Değişik Şiddetlerde Uygulanan Manyetik Alanların Rat Elektrofizyolojik Parametreleri Üzerine Etkileri” adlı çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Doktora/Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi. 08/12/2004

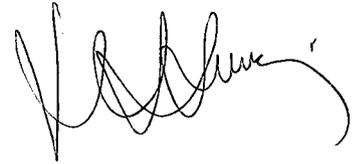


Doç. Dr. Nurten ERDAL  
Mersin Üniversitesi  
Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı  
Jüri Başkanı



Doç. Dr. Belgin BÜYÜKAKILLI,  
Mersin Üniversitesi  
Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı

Doç. Dr. Serhan SEVİM  
Mersin Üniversitesi  
Tıp Fakültesi Nöroloji Anabilim Dalı



Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun 13/12/2004 tarih ve 2004/341 sayılı kararı ile kabul edilmiştir.



Enstitü Müdürü  
Prof. Dr. Canan ERDOĞAN



## TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince değerli yardım ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Belgin BÜYÜKAKILLI'ya,

Tezimin başlangıcından itibaren fikirleri ile bana yol gösteren, Anabilim Dalı Başkanımız Doç. Dr. Nurten ERDAL'a ve Doç. Dr. Ülkü ÇÖMELEKOĞLU'na,

Tezimin istatistikleri ve bulgularının değerlendirilmesi konusundaki yardımlarından dolayı Biyoistatistik Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Arzu KANIK'a, Yrd. Doç. Dr. Handan ÇAMDEVİREN'e, Seval KUL'a ve diğer asistan arkadaşlarıma,

Sistemlerin kurulmasında destek olan Elektrik Bölümü hocalarından Yavuz BELLER'e, Ahmet YILMAZ'a ve Bülent AKKOR'a,

Bu çalışmalarım sırasında fikirleri ve her türlü destekleri ile katkıda bulunan Dr. Oya ÖGENLER'e, Dr. A. Öner Kurt'a, Serkan GÜRGÜL'e, Hasan SELAĞZI'na ve tüm mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi bu çalışmam sırasında da beni sürekli olarak her açıdan destekleyen aileme ve eşime sonsuz teşekkürler.

## İÇİNDEKİLER

KABUL ve ONAY .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	x
KISALTMALAR.....	xi
ÖZET .....	xiii
ABSTRACT.....	xv
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	4
2.1. MANYETİK ALAN .....	4
2.1.1. Manyetizma ve Manyetik Alanın Tanımı .....	4
2.1.2. Manyetik Alan Birimleri.....	6
2.2. RADYASYON.....	7
2.2.1. Elektromanyetik Spektrum.....	10
2.2.2. Elektromanyetik Spektrumdaki Dalgalar .....	13
2.3. ELEKTROMANYETİK DALGALARIN GENEL ÖZELLİKLERİ .....	15
2.3.1 Helmholtz Bobin Sistemi .....	19
2.4. YAŞAM ALANINDAKİ ELEKTRİKLİ ALETLERİN OLUŞTURDUĞU MANYETİK ALANLAR .....	21
2.4.1 Manyetik Alanların Canlı Dokularla Etkileşme Mekanizmaları .....	22
2.4.2. Elektromanyetik Alanların Biyolojik Etkileri .....	23
2.4.2.1. Epidemiyolojik, in vivo ve in vitro çalışmalar.....	24
2.4.2.1.1 Epidemiyolojik çalışmalar .....	25
2.4.2.1.2. İn vivo ve in vitro çalışmalar .....	27

2.5. ELEKTROKARDİYOĞRAFİ (EKG ) .....	31
2.6. SİNİR.....	33
2.6.1 Uyarılma ve İletilme.....	35
<b>3. GEREÇ ve YÖNTEM.....</b>	<b>37</b>
3.1. ARAŞTIRMADA İZLENEN YOL .....	37
3.1.1. Deney Hayvanları .....	37
3.1.2. Cerrahi İşlem.....	39
3.1.3. Manyetik Sistemlerin Oluşturulması.....	39
3.1.3.1. Kullanılan araç ve gereçler .....	39
3.1.3.2. Helmholtz bobin sistemlerinin kurulması.....	40
3.1.4. Deney Şartlarında Standardizasyonun Sağlanması.....	42
3.1.4.1. Sistemlerin B alan homojenliğinin belirlenmesi .....	43
3.1.5. Elektrofizyolojik Teknikler.....	44
3.1.5.1. Bileşik kas aksiyon potansiyeli kayıt tekniği .....	44
3.1.5.2. Elektrokardiyografi kayıt tekniği .....	46
3.1.6. İstatistik Değerlendirme.....	46
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>47</b>
4.1. SIÇAN AĞIRLIKLARI .....	47
4.2. EMG PARAMETRELERİ .....	48
4.2.1. EMG Genlik.....	50
4.2.2. EMG Toplam Süre .....	51
4.2.3. EMG Area.....	53
4.2.4. EMG İletim Hızı .....	54
4.3. EKG PARAMETRELERİ.....	55
4.3.1. P Dalgası Genlik.....	58
4.3.2. P Dalgasının Süresi.....	59
4.3.3. QRS Kompleksinin Genliği .....	60
4.3.4. QRS Kompleksinin Süresi .....	61
4.3.5. T Dalgası Genlik .....	63
4.3.6. T Dalgasının Süresi.....	65
4.3.7. Kalp Atım Sayısı .....	66
<b>5. TARTIŞMA .....</b>	<b>67</b>

<b>6. SONUÇ.....</b>	<b>74</b>
<b>7. KAYNAKLAR .....</b>	<b>75</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>81</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Elektromanyetik Spektrum .....	12
Şekil 2.2 Elektromanyetik (EM) dalga .....	17
Şekil 2.3 Sağ el kuralı .....	18
Şekil 2.4 Manyetik alan ve manyetik kuvvet.....	18
Şekil 2.5 Helmholtz Bobin Sistemi'nin oluşturduğu manyetik alan çizgileri .....	20
Şekil 2.6 P dalgası, QRS kompleksi ve T dalgası.....	32
Şekil 2.7 Sinir, akson, dendrit ve soma.....	34
Şekil 2.8 Oligodendroglia hücresi .....	35
Şekil 3.1 Sistem I ve sistem II .....	42
Şekil 3.2 Kafes konumunda manyetik alan ölçülen noktalar .....	43
Şekil 3.3 MP 100 sistemi ve EMG kaydı... ..	44
Şekil 3.4 Latans, area, duration (toplam süre) ve genlik .....	45
Şekil 4.1 Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklılara göre sıçan ağırlık değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.....	50
Şekil 4.2 Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklılar bakımından genlik değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları .....	53
Şekil 4.3 Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklılar bakımından toplam süre değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları .....	55
Şekil 4.4 Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklılar bakımından area değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları .....	54
Şekil 4.5 Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklılar bakımından iletim hızı değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.....	55
Şekil 4.6 Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklılar bakımından P dalgasının genlik değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları .....	58

<b>Şekil 4.7</b> Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından P dalgası süresinin değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları .....	59
<b>Şekil 4.8</b> Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından QRS kompleksinin genlik değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları .....	61
<b>Şekil 4.9</b> Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından QRS kompleksinin süre değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları .....	63
<b>Şekil 4.10</b> Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından T dalgası genlik değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları .....	64
<b>Şekil 4.11</b> Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından T dalgası süre değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları .....	65
<b>Şekil 4.12</b> Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar açısından kalp atım sayısı değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları .....	66

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo 2.1</b> Manyetik alan birimleri ve dönüşümleri .....	7
<b>Tablo 2.2</b> Bazı Elektrikli Ev Aletlerinin yakınındaki B alanlar .....	22
<b>Tablo 3.1</b> Gruplar ve manyetik alan şiddetleri ile uygulama süreleri.....	38
<b>Tablo 3.2</b> Modellerin Tasarım Özellikleri .....	41
<b>Tablo 3.3</b> Modellerin Ölçüm Değerleri .....	41
<b>Tablo 4.1</b> Dört doz grubunda üç ölçüm sonucu elde edilen sıçan ağırlıklarının ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri. ....	47
<b>Tablo 4.2</b> Deney gruplarından her üç ölçüm için elde edilen EMG parametrelerinin sırasıyla ortalama (Ort.), standart sapma (SD.), minimum (Min) ve maksimum (Max.) değerleri .....	49
<b>Tablo 4.3</b> Bütün grupların her üç ölçümdeki EKG parametrelerindeki ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri .....	57

## KISALTMALAR

AC:	Zamana Göre Değişen Şiddette
B:	Manyetik Alan
BKAP:	Bileşik Kas Aksiyon Potansiyeli
DC:	Zamana Göre Değişmeyen Şiddette (Statik)
EM:	Elektromanyetik
ELF:	Oldukça Düşük Frekans Aralığı (Extremely Low Frequency, $f < 300$ Hz)
ELF PEMF:	ELF Frekanslı Pulsu Elektromanyetik Alan
$E_m, B_m, J_m$ :	Maksimum E Alan, Maksimum Akım Yoğunluğu, Maksimum Manyetik Alan
EKG:	Elektrokardiyografi
EEG:	Elektroensefalografi
eV:	Elektronvolt
f:	Frekans
G:	Gauss
GHz:	Giga Hertz ( $10^9$ Hz)
GSH:	Glutasyon
HF:	Yüksek Frekans
ICNIRP:	Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
IR:	Kızılötesi (Infrared)
i.m.:	İntramüsküler
LF:	Düşük Frekans
$\lambda$ :	Dalga Boyu
MF:	Orta Frekans
MRI:	Manyetik Rezonans Görüntüleme (Magnetic Resonance Imaging)
MRG:	Manyetik Rezonans Görüntüleme
MW:	Mikrodalga (Microwave)

MWR:	Mikrodalga Radyasyon
MDA:	Malondialdehit
MSS:	Merkezi Sinir Sistemi
n.:	Sinir
nm:	Nanometre
nNOS:	Nöronal Nitrik Oksit Sentezi
NRPB:	Ulusal Radyasyondan Korunma Kurulu (İngiltere) (National Radiation Protection Board)
NRRI:	Ulusal Araştırma Düzenleme Enstitüsü (National Regulatory Reserch Institute)
Oe:	Oersted
PARP:	Ribolize Polimeraz Adenozin Difosfat
PEMF:	Pulslu Elektromanyetik Alan
RF:	Radyo Frekanslı
TV:	Televizyon
T:	Tesla
UHF:	Çok Yüksek Frekans
UV:	Morötesi (Ultraviole)
Wb:	Weber
WHO:	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)
VLF:	Çok Düşük Frekans
VARIAC:	Variable Transformer

## ÖZET

### DEĞİŞİK ŞİDDETLERDE UYGULANAN MANYETİK ALANLARIN RAT ELEKTROFİZYOLOJİK PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Çalışmamızda, günlük yaşamda maruz kalınan değişik şiddetteki sinüzoidal manyetik alanların sıçan ağırlıkları, periferal sinir rejenerasyonu ve kalbin elektriksel aktivitesi üzerine etkileri incelendi. Bu amaçla 40 adet sıçana, Helmholtz Bobin sistemlerinden elde edilen, 50 Hz titreşimli, 10, 20 ve 30 Gauss (G) şiddetindeki manyetik alan 7 gün boyunca günde 4 saat olmak üzere uygulandı. Sıçanlar bir tanesi kontrol grubu olmak üzere 4 gruba (kontrol, 10, 20 ve 30 G) ayrıldı. Bütün gruplarda manyetik alana maruz bırakılmadan hemen önce sinir hasarı (crush injury) yapıldı.

Çalışmada, siyatik sinir hasarını izleyen ilk 3 günlük dönemde manyetik alan uygulamasının kontrolle deney grupları arasında sıçan ağırlıkları bakımından hiçbir farklılık oluşturmadığı ancak 7 gün boyunca 30 G'luk manyetik alan uygulanmasının sıçan ağırlıklarını azalttığı bulunmuştur.

Elektrofizyolojik değerlendirmeler ise, sinir rejenerasyonu açısından çalışmada uygulanan farklı şiddetlerde manyetik alanların hem 3 günlük maruziyet döneminde hem de 7 günlük uygulama sonunda BKAP (bileşik kas aksiyon potansiyeli) genliğinde, areada ve iletim hızında hiçbir değişiklik oluşturmadığını göstermiştir.

Çalışmamızda BKAP süresine ilişkin analizler, 10 G'luk manyetik alan şiddetinin 3 gün boyunca uygulanmasının diğer üç gruba göre toplam süreyi arttırdığını göstermiştir. 20 G şiddetinin de 30 G'a göre toplam süreyi arttırdığı söylenebilir. Bu

sonuçlar uygulanan manyetik alan Şiddeti azaldıkça BKAP sũresinin arttığını gŕstermektedir. 7 gũnlũk uygulama sonunda ise 20 G Şiddetinde manyetik alan uygulanmasının kontrole gŕre toplam sũreyi daha fazla azalttığı bulunmuştur. Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan Şiddet ve frekanstaki manyetik alanların sinir iletimi ve uyarılabilirliği ũzerine etkisi olmadığı dolayısıyla periferik sinir rejenerasyonunu etkilemediği bulunmuştur.

Ayrıca elektrokardiyogram (EKG) kayıtlarının değerlendirilmesi sonucu, çalışmada kullanılan manyetik alan Şiddetlerinin P ve T dalgalarının genlikleri, sũreleri, QRS kompleksinin genliği ve sıçanlardaki kalp atım sayısı için 7 gũnlũk uygulama sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmadığı, yani bũtũn gruplarda aynı oranda değerişimler olduğu gŕzlenmiŐtir. 20 G Şiddetindeki manyetik alanın 3 gũn boyunca uygulanmasının QRS kompleksinin genliğinin diğer deney gruplarına oranla daha fazla arttırdığını gŕstermiŐtir.

7 gũnlũk uygulama sonunda ise sadece 10 G Şiddetindeki manyetik alan uygulamasının QRS kompleksinin toplam sũresinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma oluşturduğu bulunmuştur. Bu sonuç 50 Hz frekansındaki 10, 20 ve 30 G Şiddetlerinin kalbin elektriksel aktivitesi ũzerinde etkili olmadığını gŕstermektedir.

Anahtar kelimeler: Elektromanyetik alan; sinir rejenerasyonu; EKG; sıçan ağırlığı

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECTS OF DIFFERENT MAGNETIC FIELD INTENSITY TREATMENTS ON RAT ELECTROPHYSIOLOGICAL PARAMETERS**

In this study, we investigated the effects of different densities at daily life exposure of sinusoidal magnetic fields on the mass of rats, peripheral nerve regeneration and electrical activities of heart. Magnetic field intensities (50 Hz.) of 10, 20 and 30 Gauss (G) produced by Helmholtz coil system was applied to 40 rats for 4 hours per day for a week. Rats were grouped in to four groups. One of the rat groups were separated as control the others were separated for 10 G, 20 G, and 30 G magnetic field treatment. All of the rats were exposed to crush injury just before the treatment.

In the study, after crush injury of sciatic nerve in the period of first 3 day treatments of magnetic field showed no mass differences compared to control. But 7 day treatment of 30 G magnetic field decreased mass of the rats when compared to control while the other groups did not.

When the electrophysiological results were estimated, in terms of nerve regeneration, it could be suggested that both after 3 days exposition to injury and 7 day treatments of different magnetic field densities have no statistically important effect on the CMAP (Compound Muscle Action Potential) amplitude, area and the rate of conduction.

CMAP rate analysis have showed that 3 days of 10 G treatment elongated duration compared to other three groups and 20 G treatment increased duration more than 30 G treatment. This results show that CMAP period increases while the intensity of magnetic field decreases. Compared to control, 7 days treatment of 20 G decreases total CMAP period more than the other groups. As a result, it is observed that the density and frequency of magnetic fields used in this study had no effect on transmission and stimulation of nerves consequently so was not effecting the nerve regeneration.

During the evaluation of EKG (Electrocardiogram) analysis, at the end of 7 day

treatments it is observed that intensities of magnetic field used in this study have effect on amplitude of P and T waves, wave periods, dilatation of QRS complex and pulses heart beat but the differences were not significantly meaningful in terms of statistics. In 3 day treatment of 20 G experimental group, QRS complex dilatation was increased higher when compared to other experimental groups. During 7 days 10 G treatment duration of QRS complex was decreased significantly.

These results show that magnetic fields with 50 Hz frequency and intensities of 10, 20, 30 G have no effect on the electrical action of the heart.

**Key words:** Electromagnetic field, nerve regeneration, ECG, rat mass.

# 1. GİRİŞ

Bütün canlı organizmalar, proteinlerin yapısından hücrelerarası iletişime ve sinir sistemi fonksiyonlarına kadar düşük frekanslı elektromanyetik (EM) alanları kullanan elektrokimyasal sistemlerdir (1,2). Canlılığın başlangıcından günümüze kadar EM alanların kullanımı günden güne artmaktadır. EM enerjiler, yaşam kalitesini yükseltmekte yoğun olarak kullanılmaktadır. Sağlık alanında, güvenlik sistemlerinde ve günlük yaşamımızın her alanında EM sistemlere rastlamak olası hale gelmiştir.

Akım taşıyan tüm kablolar, elektrikli aletler, yüksek gerilim hatları, televizyon (TV), bilgisayarlar, radyo, uydu antenleri, FM ve TV vericileri, mikrodalga fırınlar, mobil telefonlar, çamaşır ve bulaşık makinesi, buzdolabı, saç kurutma makinesi, elektrikli tıraş makinesi, elektrikli ısıtıcılar, röntgende kullanılan X ışınları, kanser tedavisinde kullanılan gama ışınları çevrelerine EM dalgalar yayarak EM kirlilik oluşturan alanlardır (3).

Ayrıca yerkürenin ve vücudumuzun her bölgesinde EM özellikler saptanmıştır. Vücudumuz, sıcaklığını 37 °C de sabit tutmak için, besinleri yakması sonucu oluşan ısıyı sürekli olarak çevreye vermek zorundadır (1,3). Vücudumuzda ısının yaklaşık % 60'ı saniyede  $10^{12}$  defa titreşim yapan (infrared radyasyon) EM dalgalarla uzaklaştırılmaktadır. Yapılan ölçümler sonucu vücut manyetik alanının  $10^{-6}$  -  $10^{-9}$  G (Gauss) arasında değiştiği bildirilmiştir. Geomagnetik alan büyüklüğü olan  $10^{-5}$  G ile karşılaştırıldığında vücut manyetik alanlarının çevremizdeki doğal alan olan yerkürenin manyetik alanı ile uyumlu olduğu görünmektedir. Teknolojinin sunduğu, yaşamımızı kolaylaştıran aletlerin EM alanları ise 1 mG - 25 G arasında değişmekte olup, insan vücudunun ve doğal çevrenin EM alanından daha fazla olan bu değer uyumu bozabilmektedir (3).

Artan sayıdaki elektrikli cihazların, TV ve radyo istasyonlarının ve cep telefon cihazlarının yaydığı alanların toplamı, ulusal ve uluslararası standartların üzerine çıktığında şehirlerde oluşan alan seviyeleri, elektromanyetik kirlenmeye neden olmakta; insanlar ve cihazlar üzerinde zararlı etkiler göstermektedir. Bu nedenle TV, radyo ve cep telefon hizmetlerine yaydıkları güç açısından sınırlamalar getirilmiştir. Elektrik enerjisiyle çalışan bütün cihazlar yaydıkları alanlardan ötürü diğer elektronik cihazlarda

etkileşime (interferans) sebep olurlar. Etkileşim aşırı olduğu zaman cihazlar bazı fonksiyonlarını yapamazlar, insanlarda ise biyolojik etkilere neden olurlar. Etkilerin oluşması EM alanın frekansına, şiddetine, vücut ölçülerine, vücudun elektriksel özelliklerine, EM alanın mesafesine ve etki süresine bağlıdır. En çok yüksek gerilim hatlarında veya yüksek gerilim tesislerinde, radyo ve TV vericilerinde çalışanlar tehlikeye maruz kalmaktadırlar.

ABD’de Ulusal Araştırma Enstitüsü (NRRI-National Regulatory Research Institute), EM alanların insan sağlığına olumsuz etkilerini 1900’lerin en önemli çevre problemlerinden biri olarak kabul etmiş ve korunma önlemlerinin yasal olması gerektiğini belirtmiştir.

1997’de çevresel statik (durgun) ve oldukça düşük frekanslı (ELF- Extremely Low Frequency,  $f = 0-300$  Hz) elektrik ve manyetik alanların biyolojik etkileri ve bununla ilişkili çevresel sağlığı tehdit eden faktörler konusunda uluslararası bir seminer verilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası İyonlaştırıcı-Olmayan Işınmadan Korunma Komisyonu (ICNIRP) gibi kuruluşlarca desteklenen seminerde uzman çalışma grupları tarafından, durgun ve ELF elektrik ve manyetik alanların yol açtığı sağlığı tehdit eden faktörleri arttıran araştırmalar yetersiz bulunmuştur. Benzer biçimde, yaşamda ve çalışma ortamında bulunan seviyelerdeki durgun elektrik alanlara ya da 2 T (Tesla) şiddetinin altındaki akı yoğunluklarında durgun manyetik alanlara uzun süre maruz kalmanın, sağlığa zararlı etkileri konusunda daha ileri araştırmalar yapılması gerektiği düşünülmüştür (4).

Dokunun maruz kaldığı çok zayıf EM sinyalin frekansı, dokunun frekans bandına uyumlu ise, manyetik alan yoğunluğu düşük şiddette olsa da dokunun normal fonksiyonlarını etkilemesi söz konusudur. Manyetik alanların yayılmasına insan vücudu, duvar veya herhangi bir yalıtım malzemesi engel teşkil etmez. Bu nedenle canlı dokunun karşılaştığı manyetik alan doğrudan dokuya etki eder. Vücut içinde ve yüzeyinde bu alan etkisiyle akım oluşur, akım yoğunluğu vücut yüzeyinde en fazla, vücut içinde ise daha azdır.

Evde veya işyerlerinde maruz kalınan, elektrik kabloları, yüksek gerilim hatları ve elektrikli ev aletlerinden kaynaklanan elektrik ve manyetik alanlar 50 Hz titreşimlidir. Yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan manyetik alanın toprakta yaratacağı maksimum şiddet, hattın yüksekliğine bağlı olarak 0.1 G - 0.5 G arasında

değişmektedir.

Günlük yaşamımıza bu kadar çok girmiş olan EM alanların birçok etkisi bilinmekle beraber henüz netlik kazanmamış noktalar da vardır. Elektromanyetik alanların canlılar üzerindeki etkileri konusunda yapılan çalışmalarda birbirine zıt sonuçlar ileri sürülmektedir (5,6,7). Özellikle sinir zedelenmesi oluşturulan sıçanlara EM alan uygulanarak yapılan elektrofizyolojik ölçümlerin verildiği araştırmalar, birbirinin tam tersi sonuçlar bildirmektedir (5,6,8,9). Sıçanlarda yapılan çalışmalarda, EM alan uygulanmasının yara iyileşmesini hızlandırdığı ve erken iyileşmeye neden olduğu bildirilmiştir (5,10,11,12). Ancak Cordeiro ve ark. ayrıca Leisner ve ark.'nın bu konuda yaptığı çalışmalarda ise EM alanların istatistik açıdan önemli bir iyileştirme etkisi gözlenmemiştir (8,9).

Bu nedenle çalışmamızda; günlük yaşamda maruz kaldığımız manyetik alanların etkilerini saptamak için şehir şebeke frekansında (50 Hz titreşimli, sinüzoidal) ve çevreden maruz kaldığımız manyetik alanlar mertebesindeki değişik şiddetlerdeki alanların sinir rejenerasyonunu, sıçan kütlelerini ve elektrokardiyografi (EKG) kayıtlarını nasıl etkilediğini saptamak için in vivo bir araştırma planladık. Bu amaçla dizaynı biyofizik ve elektrik laboratuvarında gerçekleştirilen Helmholtz Bobin Sistemlerinden elde edilen, 50 Hz titreşimli, 10, 20 ve 30 G şiddetindeki manyetik alanlar 7 gün boyunca günde 4 saat olmak üzere sıçanlara uygulandı.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. MANYETİK ALAN

#### 2.1.1. Manyetizma ve Manyetik Alanın Tanımı

Manyetizma adı, Anadolu'da eski bir kent olan Manisa (Magnesia) şehrinin adından gelir. Magnetit, çevresindeki demir tozlarını kendisine çeker. Böyle maddelere doğal mıknatıs denir (13).

Bir elektrik yükünün çevresinde elektrik alanı olduğu gibi, bir mıknatısın çevresinde de manyetik alan vardır. Bunun yanında, üzerinden elektrik akımı geçen bir iletkenin çevresinde hem elektrik hem de manyetik alan oluşur (14).

Uzayın belli bir noktasındaki elektrik alanı, o noktadaki birim yük başına etkileyen elektrik kuvveti olarak tanımlanır. Manyetik alan ise, hareketli yüklü bir parçacığa etkileyen ve hareket yönüne dik olan kuvvet cinsinden tanımlanır. Hem elektrik alanı hem de manyetik alan, vektörel büyüklüklerdir (1,15).

Elektrik alanı ile manyetik alan arasında bazı farklar vardır:

- 1- Elektrik kuvveti her zaman elektrik alanına paralel, buna karşılık manyetik kuvvet manyetik alana diktir.
- 2- Elektrik kuvveti yüklü parçacığın hızından bağımsızdır, buna karşılık manyetik kuvvet sadece yüklü parçacık hareketli ise ona etki edebilir.
- 3- Elektrik kuvveti, yüklü bir parçacığın konumunu değiştirmekle iş yapar; buna karşılık kararlı bir manyetik alandan kaynaklanan manyetik kuvvet, parçacık yer değiştirdiğinde iş yapmaz (15,16).

Elektrik akımı gibi, "manyetik akı" da tanımlanmıştır. Manyetik akı, bir manyetik alan içerisindeki iletkenin geçen manyetik alan çizgilerinin kantitatif bir ölçüsüdür. Manyetik alan, iletkenin iki ucu arasında 1 volt'luk bir elektrik akımı oluşturuyorsa, bu iletkenin geçen manyetik akı saniyede 1 Weber'dir.

Birim yüzeyden geçen manyetik akıya "manyetik akı yoğunluğu" denir ve SI sistemindeki birimi Tesla'dır ( $1 \text{ T} = 1 \text{ Weber/m}^2$ ) (14).

Manyetik alanlar durgun ve değişken manyetik alanlar olmak üzere ikiye ayrılır. Durgun manyetik alanlar için manyetik alan yoğunluğu ve yönü zaman

içerisinde sabittir. Televizyon ve video gösterge birimleri gibi yüksek gerilim kullanan bazı aygıtların yakınında bulunabilir ya da uygun materyallerin arasında sürtünme ile üretilebilirler. Doğru akım (DC) iletim kanalları durgun elektrik ve manyetik alanlar üretirler. 500 kV'luk bir DC iletim hattının altında, manyetik akı yoğunlukları iletim hattına yüklenen akıma bağlı olarak ortalama 22  $\mu$ T manyetik alan oluşturabilirler.

Durgun jeomanyetik alan tipik olarak 0.03-0.07 mT (militesla)'dir, ancak coğrafik konuma ve manyetik materyallerin yakınında olup olmadığına bağlı olarak 0.01-0.1 mT'ya kadar değişebilir. Elektrolitik işlemler yapılan endüstride, DC güç kaynaklarıyla çalışan tren sistemlerinde, füzyon reaktörlerinin çevresinde ya da yüksek enerji fiziği araştırmalarında, tıbbi tedavi için kullanılan manyetik rezonans görüntüleme sistemlerinde (MRI), küçük çubuk mıknatısların 1 cm çevresinde DC manyetik akı yoğunlukları 1 mT ile 2.5 T arasında değişmektedir (4).

Değişken manyetik alanlarda ise manyetik alanın yoğunluğu ve yönü zaman içerisinde değişir (alternatif akım gibi). Günümüzde kullanılan elektrikli ev eşyaları, bilgisayar, kaynak makinesi ya da tıbbi görüntüleme cihazları gibi cihazların kullandığı elektriğin frekansı genelde 50-60 Hz'dir. Dolayısı ile bu cihazlarda veya çevrelerinde oluşan değişken manyetik alan da 50-60 Hz frekansındadır. Bu cihazları kullanmaktan kaçınamayacağımız gibi, bu cihazlar çevresinde oluşan manyetik alanlardan da kaçınmamız pek mümkün değildir. Yukarıda da değindiğimiz gibi frekansı 0-300 Hz arasında değişen manyetik alanlara "oldukça düşük frekanslı manyetik alan" (ELF) denir. İnsan hayatını kolaylaştırıcı pek çok cihaz ve ev aletinin, çevresinde oluşan manyetik alan "çok düşük frekanslı" olduğundan, bu konularda yapılan araştırmalar hız kazanmıştır.

Genelde ELF alanlarına maruz kalma; elektrikli aygıtlar, ev elektrik tesisatları ve AC (alternatif akım) iletim ve dağıtım hatlarından kaynaklanmaktadır. Doğal olarak görülen 50/60 Hz'lik elektrik alanları 0.1 kV/m mertebesindedir ve buna eşlik eden manyetik alanlar ise yaklaşık olarak 0.01 nT'dir. Konutlarda ve çoğu iş mekanlarında, ortalama 50/60 Hz manyetik alanlar 0.1-0.3  $\mu$ T arasındadır. Çoğu ev gereçleri, bazıları 50-150  $\mu$ T mertebesinde olan manyetik alanlar oluştururlar; kaynaktan uzaklaştıkça alanlar hızla azalır. İletim hatlarının altında, ortalama manyetik akı yoğunluğu 10-30  $\mu$ T aralığında olabilmektedir. Gerilim üretim istasyonlarının çevresinde, ortalama 40-

270  $\mu\text{T}$ 'lık alanlara rastlanabilmektedir. Endüstriyel işlemlerde ise 130 mT'lık pik alanları oluşabilmektedir.

Manyetik alanların frekans bileşenleri 60 Hz'in altından başlayarak 500 MHz'e kadar değişmektedir. Çoğu değişken alanlar 0.005  $\mu\text{T}$ 'nın altındadır, fakat bazıları 0.5  $\mu\text{T}$  kadar büyük olabilirler. Değişken alanların frekans ve genlikleri vücutta, termal gürültüden daha büyük olan akımlar üretebilecek ölçüde etkilidir (4).

Gövde yarıçapı 0.15 m ve doku iletkenliği 0.2 S/m olan bir insan için, vücudun uzun eksenine paralel 50 Hz'lik bir manyetik alan dokunun periferinde Tesla başına yaklaşık 5 A/m<sup>2</sup>'lik bir akım oluşturur. Akım yoğunluğu vücut yarıçapı ile orantılı olduğundan, akım yoğunluğu değerleri hayvan ve insan maruz-kalmalarını ölçeklemek için kullanılabilir (4,17).

### 2.1.2. Manyetik Alan Birimleri

Manyetik alanın büyüklüğü, manyetik akı yoğunluğu ile ifade edildiği gibi, manyetik alan şiddetiyle de ifade edilebilir. Amerika ve Batı Avrupa ülkelerinde genellikle, manyetik alan şiddeti için manyetik akı yoğunluğu birimleri (Tesla veya Gauss) kullanılır. Doğu Avrupa ülkelerinde ise manyetik alanlar, genellikle alan şiddet birimi olan Oersted ile ifade edilir. Ancak, hücre, organ ya da tüm vücut gibi (metal olmayan) biyolojik materyaller için manyetik akı yoğunluğu ile manyetik alan büyüklüğü aynı kabul edilebilir (18).

$$1 \text{ Oersted} = 1 \text{ Gauss} = 0,1 \text{ mT.}$$

Manyetik alanlar için MKS ve CGS sistemlerinde kullanılan birimler ve dönüşümleri tablo 2.1'deki gibidir (14,15,17,19).

Tablo 2.1. Manyetik alan birimleri ve dönüşümleri

Büyükük	Sistem	Birim	Dönüşümler
Manyetik alan şiddeti	MKS	Amper/metre (A/m)	1 A/m = 0,012566 Oe
	CGS	Oersted (Oe)	1 Oe = 79,58 A/m
Manyetik akı	MKS	Weber (Wb)	1 Wb = 1 volt-sn 1 Wb = 1 T.1 m <sup>2</sup>
Manyetik akı yoğunluğu	MKS	Tesla (T)	1 T = 10.000 G 1 T = 1 Wb/m <sup>2</sup>
	CGS	Gauss (G)	1 G = 10 <sup>-4</sup> T = 1 Oe

## 2.2. RADYASYON

Radyasyon, enerjinin noktasal bir kaynaktan yüksek hızlı partiküller veya elektromanyetik dalga şeklinde küresel olarak yayılması şeklinde tanımlanır (20). Radyasyon kaynaklarından biri de radyoaktif maddelerdir.

Radyoaktivite ise, kararsız haldeki atom çekirdeğinin spontan olarak bozunması ve bu esnada  $\alpha$ ,  $\beta$  partikülleri ve  $\gamma$  radyasyonu yaymasıdır. Bu tür atomlara radyoaktif atom (radyoizotop) denir. Radyoaktivite yavaşlatılamaz veya durdurulamaz. Zayıflayan bir tempo ile tükeninceye kadar veya stabil bir elemente dönüşüncüye kadar devam eder (14,19).

Radyoaktif cisimlerin parçalanarak aktivitelerini kaybetmelerine radyoaktif bozunma denir. Doğal veya yapay her radyoaktif çekirdeğin kendisine özgü bir bozunma şekli vardır. Bu bozunma şeklinin

- 1) Parçalanmanın hızı,
- 2) Çekirdeğin yaydığı radyasyonların cinsi ve enerjileri olmak üzere iki yönü vardır.

Radyoaktif enerji, çağdaş yaşamda vazgeçemediğimiz ve yaşamımızın her boyutunda karşılaştığımız ve yararlandığımız bir enerji türüdür. Bu enerjinin bilinçli kullanılmaması durumunda istenmeyen yan etki ve zararları ile karşılaşmak mümkündür. Bu dalgalar frekans ve enerjilerine göre iyonizan (Nükleer Radyasyon)

ve non-iyonizan (Elektromanyetik Radyasyon) radyasyonlar şeklinde ortamda yayılır (14,21).

a) **İyonizan Radyasyon:** Atom ile etkileşime girdiğinde yörüngesinden elektron kopararak atomun yüklü hale gelmesine yol açan radyasyon türüdür. Genellikle “radyasyon” kelimesi iyonizan radyasyon için kullanılır. İyonlaştırıcı radyasyon yüksek frekanslı, enerjisi oldukça yüksek olan ve iyonizasyon meydana getiren nükleer radyasyondur (Röntgen, gama ışınları). Bunlar atom bağlarını kopararak hücrelerdeki moleküllerin parçalanmasına neden olur. 2500 Angstrom'den daha düşük dalga boylu ışınların etkisi moleküllerde iyonizasyona sebep olur. Bu nedenle bu ışınlar iyonlaştırıcı ışınlar olarak tanımlanır (21,22).

İyonizan radyasyonları  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ve **X ışınları** olarak sınıflandırabiliriz.

**$\alpha$  ışınları:**  $\alpha$  ışını ya da partikülü, aslında 2 proton ve 2 nötrondan oluşan He çekirdeğidir. Diğerlerine göre penetre olma (girginlik) özelliği en az olanıdır. Atom numarası 2, kütle numarası 4'tür, elektrik ve manyetik alanda sapma gösterir. Bu parçacıklar +2 yüklü olması nedeni ile daha fazla iyonlaştırıcıdır. Bu nedenle, çarpıştığı her atoma yüksek miktarda enerji verir ve herhangi bir ortam içerisinde çok az bir mesafe kat ettikten sonra kinetik enerjisinin tamamını kaybeder. Bu özelliğinden dolayı bir kağıttan bile geçemez, deri üzerindeki ölü hücre tabakasını aşır canlı hücreleri etkileyemez, ancak solunum veya sindirim sistemi yoluyla ya da açık yaradan alınırsa mukoza hücreleri için çok tehlikeli olur (14,15,23). Atom numarası 83'ten (Bizmut) büyük olan radyonüklidlerin hemen tamamında  $\alpha$  saçılması görülür. Örneğin;



**$\beta$  ışınları:**  $\beta$  ışını aslında, nötron sayısı proton sayısından fazla olan çekirdeklerden salınan elektrondur. Normal elektrondan farkı, bir radyoaktif bozunmanın ürünü olmasıdır. Nötron, protona dönüşürken  $n \rightarrow p^+ + \beta^- + \bar{\nu}$  şeklinde beta ışını yani elektron salınır ve bu sırada atom numarası 1 artar.

Ayrıca nötron proton oranının çok düşük olduğu durumlarda, bir proton nötrona dönüşürken de  $p \rightarrow n + \beta^+ + \nu$  şeklinde çekirdeği pozitif yüklü bir beta parçacığı (pozitron) yayar. Pozitron, tam bir elektron gibi davranır. Ancak, eğer bir serbest

elektron ile temas ederse iki parçacık birleşir yok olurlar. ( $p$  = proton,  $n$  = nötron,  $\beta^-$  = elektron,  $\beta^+$  = pozitron (pozitif elektron),  $\nu$  = nötrino ve  $\bar{\nu}$  = anti nötrino)

Beta ışınlarının girginliği alfa ışınlarından biraz daha fazladır ancak bu girginlik havada birkaç metre, doku içerisinde ise birkaç milimetre ilerleyebilecek kadardır. Beta partikülü ihtiva eden radyoaktif atık cilt üzerinde kalırsa doku hasarına yol açabilir. Zararlı etkileri nedeniyle tıpta pek kullanılmazlar (14,15,24).

**$\gamma$  ışınları:** Gama ışınlarının kaynağı atomun çekirdeğidir. Bu ışınlar atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklardan meydana gelir. Çekirdek bir alfa veya beta parçacığı saldıktan sonra çok defa kararlı duruma geçemez, kalan fazla enerji, elektromanyetik enerji şeklinde yayılır. İşte bu elektromanyetik enerji gama ışınıdır. Gama ışını, görünür ışık veya mikrodalga ile aynı tabiattadır, fakat çok daha yüksek enerjiye sahiptir. Elektromanyetik enerjinin diğer formları gibi, gama ışınının kütlesi ya da yükü yoktur.

Gama ışınlarının dalga boyu  $3 \times 10^{-13}$ - $10^{-11}$  m arasındadır. X ve gama ışınlarının madde içine nüfuz etme yetenekleri fazladır ve alfa veya beta parçacıkları gibi belirli bir madde tarafından durdurulamazlar ancak bu ışınlar içinden geçtikleri ortamın belli kalınlıkları tarafından absorblanacağından eksponansiyel bir şekilde şiddet azalması olur (14,15,25).

**X ışınları:** Dalga boyları  $10^{-12}$ - $10^{-10}$  m arasında olan X ışınları, vakumlu ortamda katodda termiyonik olaya dayalı olarak serbestleşen, daha sonra katod-anod arasındaki yüksek gerilim altında hızlandırılan elektronların metal bir hedef yüzeye çarptırılmaları ile elde edilir. X ışınları; kalsiyum tungstat, çinko kadmiyum sülfid ve sezyum iyodid gibi maddeler üzerine düştüğünde fluoresans ışımaya ve görünür desenler ortaya çıkmasına neden olur. X ışını, görünür ışığın giremediği bir çok ortama girer ve ortam tarafından belli oranda soğurulur. Soğurulma miktarı,

- Ortamın atom numarasına
- Ortamın yoğunluğuna
- (X ışınları) foton enerjisine bağlıdır.

X ışınları içinden geçtiği ortamda kimyasal değişimlere neden olabilir, biyomoleküllerde iyonlaşmaya, uyarılma sonucu hücrede hasara ve nihayetinde hücre ölümüne yol açabilirler. Ayrıca, bazı durumlarda hücreleri direkt etkilemese de, hücrenin içinde bulunduğu ortamın kimyasal yapısına etki ederek dolaylı olarak zarar

verebilir. X ışınları tıpta tanı amaçlı olarak ve belirli kanser türlerinin tedavisinde de kullanılır. X ışınları canlı doku ve organizmalara zarar verici veya öldürücü etki yaptığından, bu ışınlara gereksiz yere maruz kalmanın önlenmesine dikkat edilmelidir. Kristal yapının incelenmesinde de kullanılırlar; çünkü X ışını dalga boyları katı cisimlerdeki atomlar arası uzaklık olan yaklaşık olarak 0,1 nm mertebesindedir. X ışınları somatik hücrelere verdiği zararın yanı sıra, kromozom ya da genleri etkileyerek mutasyonlara da yol açabilir (1,19,21).

**b) Non-İyonizan Radyasyon:** Etkileşime girdiği atomun yörüngesinden elektron sökmeye yeterli enerjisi olmayan radyasyon türüdür. İyonlaştırmayan ışımaya bandı düşük frekanslardan radyo frekanslarına kadar uzanır (0-300 GHz). Bunlara karşı gelen dalga boylarının enerjileri, molekülleri iyonlaştırmaya yetmez.

İyonlaştırmayan ışımaya kaynakları radar, radyo ve TV vericileri, baz istasyonları ve diğer çeşitli cihazlardır. İyonlaştırmayan ışımaya uzun süreli maruziyetin (uygulamanın) canlılarda kalıcı etkiler oluşturabileceği bilinmektedir. En önemli etki dokularda ısı artışına neden olmasıdır. Elektromanyetik dalga olan güneş ışınlarının kansere neden olabileceği ihtimalinden dolayı bilhassa yazın dikkatli olunması gerekmektedir. İyonlaştıran radyasyona karşı, iyonlaştırmayan radyasyonun biyolojik sistemlere olan etkisi belirsizdir. İyonlaştırmayan radyasyona 0-300 GHz frekansında statik ve zamansal değişimli elektrik ve manyetik alanlar girer. Bu alana statik (0 Hz), oldukça düşük frekans (ELF, 0-300 Hz) ve yüksek frekans alanları (HF, 300 Hz-300 GHz) girmektedir. İyonlaştırmayan radyasyonun biyolojik etki mekanizması iki tiptir: Termal Olmayan Etki; gelen dalganın alan şiddeti yeterince küçükse ısı oluşmaz. Termal Etki; cismin EM dalgayla etkileşmesinde, artan molekül hareket ve sürtünmeden dolayı sistemdeki ısı artışından "termal etki" ortaya çıkar.

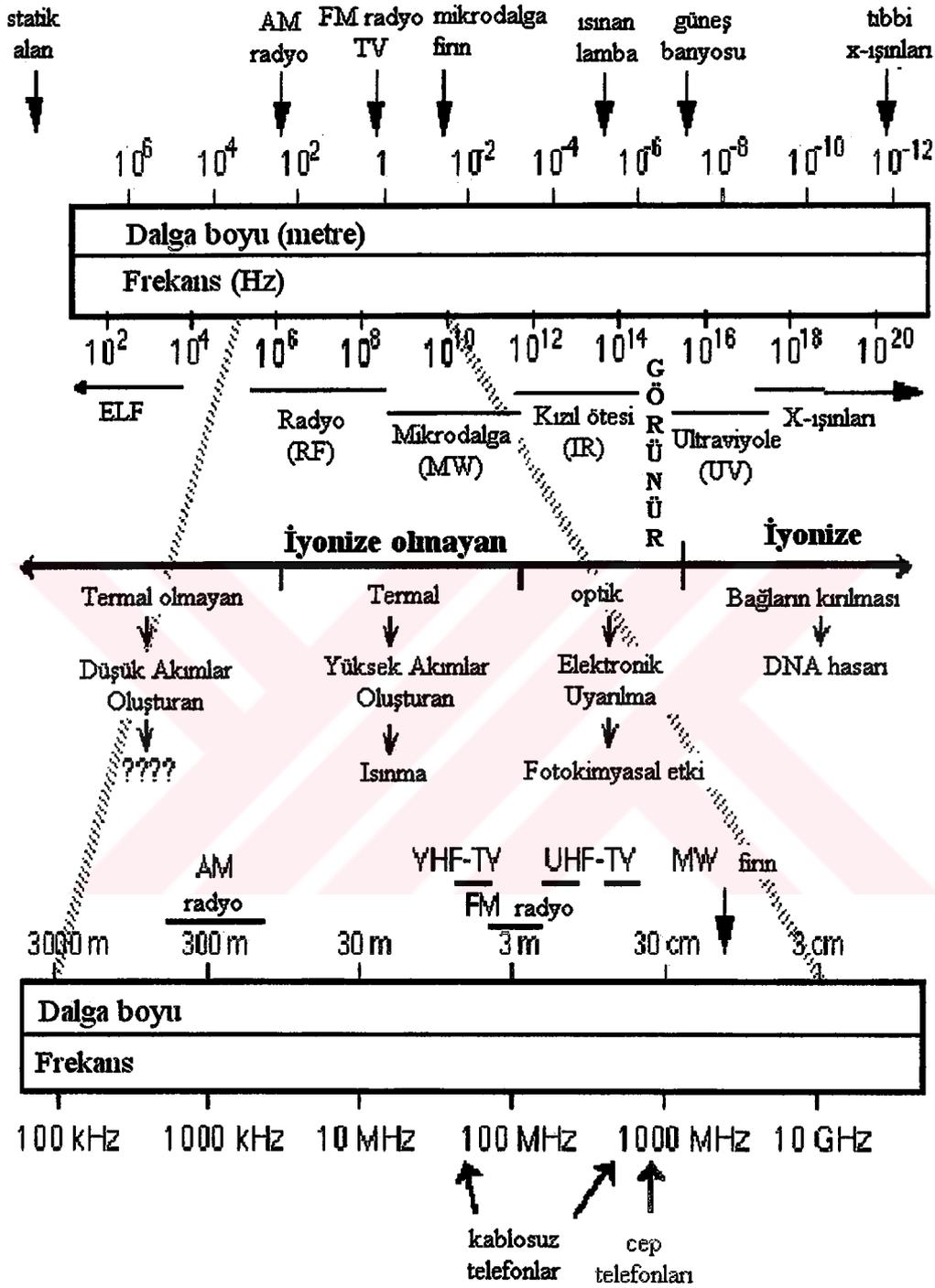
### 2.2.1. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik dalgalar uzayda ve maddesel ortamda enine dalgalar şeklinde ve ışık hızı ile yayılan radyasyonlardır. Elektromanyetik radyasyon kaynakları enerjilerine göre farklılık gösterirler. Elektromanyetik radyasyonların frekanslarına, dalga boylarına veya enerjilerine göre sıralanmaları "Elektromanyetik Spektrumu" oluşturur.

EM spektrumdaki dalgaları birbirinden ayıran özellikleri frekansları ( $f$ ), dalga boyları ( $\lambda$ ) ve enerjileridir. Bu dalgalara ait bilgiler şekil 2.1’de verilmiştir (2,21,26).

Elektromanyetik spektrumda bulunan radyasyon tipleri düşük frekanstan yüksek frekansa doğru sıralanır (Şekil 2.1). Nükleer radyasyonlardan alfa ve beta radyasyonları kütleleri ve elektriksel yükleri dolayısıyla partikül özelliğinde olduklarından elektromanyetik spektrumda yer almazlar. Sadece gamma radyasyonu bu spektrumda yer alır.





Şekil 2.1. Elektromanyetik Spektrum

## 2.2.2. Elektromanyetik Spektrumdaki Dalgalar

### Radyo Dalgaları

Elektromanyetik spektrumdaki en uzun dalga boyuna sahip dalgalardır. Dalga boyları 30 cm'den kilometreler seviyesine kadar değişir. Radyo dalgaları, frekansına göre kendi içinde: çok düşük frekans (VLF), düşük frekans (LF), orta frekans (MF), yüksek frekans (HF), çok yüksek frekans (UHF) dalga boylarına ayrılır (Şekil 2.1.). Günümüzde, radyo, TV ve telsiz haberleşmeleri bu frekanslar içinde yapılır. Radyo dalgalarının önemli biyolojik etkileri saptanmamıştır, ancak bu konudaki çalışmalar devam etmektedir.(1,19,21).

### Mikrodalgalar

Dalga boyları 1 mm - 30 cm arasında değişir. Görünür ışığa göre daha uzun dalga boyuna sahiptir. Özel elektronik lambalarla (klystron) elde edilir. Radar sistemlerinde ve cep telefonu haberleşmesinde kullanılır. Soğuruldukları zaman moleküler dönme enerji seviyelerinin değişmesine yol açabilirler. Göz lensinin saydamlığının bozulmasına (katarakta), merkezi sinir sistemi ile etkileşime girdiklerinde elektroensefalografi (EEG) dalgalarında değişikliğe yol açabildikleri gözlenmiştir. Günümüzde, insanlar için ortamdaki mikrodalga şiddet seviyesinin güvenlik üst sınırı  $10 \text{ mW/cm}^2$ 'dir. Bundan daha şiddetli mikrodalga enerjisi zarar vericidir. Frekansı 2.45 GHz olan mikrodalgalar, ısıtma amacı ile (diathermi) fizik tedavide kullanılmaktadır (1,15,19,21).

### Kızılötesi Işıklar

Elektromanyetik spektrumda dalga boyları 0.8-125  $\mu\text{m}$  arasında olan ışınlardır. Frekansları görünür ışıkla radyo dalgaları arasındadır ( $0,003-4 \times 10^{14}$  Hz). Güneş ışığı spekturumunda bulunan bu ışınlar sıcaklığı 10 °K'den daha fazla olan bütün cisimlerin yüzeylerinden salınırlar. Cisimlerin bu özelliğine dayanarak tıpta bir termal görüntüleme sistemi olan termografi geliştirilmiştir. Kızılötesi ışınların

salınması veya soğurulması, moleküler sistemlerdeki dönme ve titreşim enerji düzeylerinin değişimleri ile ilgilidir. Özellikle kalıcı dipol momente sahip moleküler sistemler bu ışınları soğurur ve ortamda sıcaklık yükselmelerine neden olur (1,19,21).

### **Görünür Işık**

İnsan gözü, bütün elektromanyetik spektrum içindeki çok dar bir bölgeyi algılar ve bu bölgedeki elektromanyetik dalgalara ışık denir. Işığın dalga boyu 400 - 700 nm arasında değişir. Görünür ışık, farklı dalga boylarına sahip farklı renklerden oluşmaktadır. Atomlardaki elektronik enerji düzeylerinin değişmesi ile salınırlar veya soğulurlar. Güneş ışığı içindeki görünür ışık, fotosentez yolu ile yerdeki hayatın temel enerji kaynağıdır. Görünür ışık salma ve soğurma spektrumlarının spektrofotometrik olarak incelenmesi, maddenin atomik içeriğinin en önemli analiz yöntemlerinden biridir (1,15,19,21).

### **Morötesi (Ultraviyole) Işıklar**

Mor ötesi ışınlar görünür ışığın mor bölgesi ile X ışınları arasında yer almaktadırlar. Dalga boyları 4 - 400 nm arasında değişir ve güneşten yayılan radyasyonun yaklaşık % 5'i morötesi ışıktır. Yerkürede ilk organik moleküllerin oluşmasının, o zamanlar ozon tabakası olmayan atmosferi geçerek yere ulaşan güneş ışığındaki ultraviyole (UV) ışınlar sayesinde olduğu düşünülmektedir. UV ışınlar, dalga boyuna göre üç alt gruba ayrılır ve her grup farklı biyolojik etkilere sahiptir:

- 1- UV-A: 315 - 400 nm arası, cilt hasarı yapar ve melanomatöz deri kanserine yol açabilir.
- 2- UV-B: Dalga boyu 260 - 315 nm arasındaki bu ışınların, yaz aylarında arttığı ve güneş yanıklarına, bir veya iki tip deri kanserine yol açtığı bilinmektedir.
- 3- UV-C: Dalga boyu 260 nm'den daha küçük, daha yoğun ve özellikle cilt için çok daha tehlikeli olan ışınlardır (27).

Atmosferdeki ozon tabakası UV-B'nin büyük bölümünü ve UV-C'nin tamamını soğurarak bir anlamda yerküredeki hayatı koruyucu rol oynar. Az miktarda morötesi ışınının D vitamini sentezi için gerekli olduğu bilinmektedir, ancak fazlası

zararlıdır. Protein ve nükleik asitler UV ışınları karakteristik bir şekilde soğururlar (1,19,27).

### 2.3. ELEKTROMANYETİK DALGALARIN GENEL ÖZELLİKLERİ

Elektromanyetik alanlar doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Doğal elektromanyetik alanlar; güneş ve dünyanın çekirdeklerindeki etkilerinden oluşan doğal manyetik alan ve yüklü bulutlarla yeryüzü arasında oluşan doğal elektrik alandan meydana gelmektedirler. Doğal elektromanyetik alanın şiddeti sırasıyla, kutuplarda 50 A/m (0.63 G) iken bu değer ekvatorunda 23 A/m (0.29 G)'dir (28).

Bu doğal çevrede yaşayan insan vücudundaki DC ve AC manyetik alanlar aşağıda verilmektedir (2).

#### DC Manyetik Alan

Zedeli kalp kası :  $3 \times 10^{-7}$  G

Abdominal bölge :  $10^{-6}$  G

Ciğerlerdeki magnetit / asbestos :  $3 \times 10^{-5}$  G

#### AC Manyetik Alan

Beyin dalgaları (0.1-20 Hz) - Spontan aktivite :  $10^{-8}$  G

Beyin dalgaları (0-100 Hz) – Uyarılmış :  $10^{-9}$  G

Göz (0-10 Hz) :  $10^{-7}$  G

İskelet kası (1-100 Hz) :  $10^{-7}$  G

Kalp kası (0-40 Hz) :  $2 \times 10^{-6}$  G

Dünyanın çekirdeğindeki yüksek sıcaklık, dünya yüzeyi altındaki derin tabakalarda büyük miktarda bulunan demir filizinin sürekli bir mıknatıslanmaya sahip olmasını engeller. Bilim adamları bu manyetik alanın gerçek kaynağının, merkezindeki yük taşıyan konveksiyon akımları olduğunu sanmaktadırlar. İçteki sıvıda dönen yüklü iyonlar ya da elektronlar, bir tel ilmekteki akımın bir manyetik alan oluşturması gibi bir manyetik alan oluşturabilirler. Bir gezegenin manyetik alan şiddetinin dönme hızına bağlı olduğunu belirten kuvvetli deliller de vardır. Dünyanın manyetik alanı ile ilgili ilginç bir rastlantı da son bir milyon yıl içerisinde manyetik alanın bir çok kere yön değiştirdiğinin saptanmasıdır (15,19,28).

Yerküre bu özelliği nedeniyle iç kaynaklı (internal); dünyanın, güneşin ve atmosferin aktivitesinden dolayı dış kaynaklı (eksternal) manyetik alanlara sahiptir.

İnternal manyetik alan şiddeti bölgesel değişimler gösterir, ekvator ve kutuplarda farklı büyüklüklere sahiptir (2).

Elektromanyetik dalgalar foton denilen küçük enerji paketlerinden oluşmaktadır. Fotondaki enerji frekans ile doğru orantılıdır; Frekans arttıkça fotondaki enerji miktarı da artmaktadır. Elektromanyetik dalganın biyolojik sistemlere olan etkisinin bir kısmını alanın gücü ve bir kısmını da fotonun enerjisi belirler. Düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar “Elektromanyetik Alanlar” ve yüksek frekanslı dalgalar ise “Elektromanyetik Radyasyon” olarak adlandırılmaktadır.

Elektromanyetik dalgalar, dalga boyu kilometrelerle ifade edilen radyo dalgalarından, dalga boyu  $10^{-16}$  m'ye kadar inen gama ışınlarını da kapsayan çok geniş bir aralığı kaplar. Bütün elektromanyetik dalgalar boşlukta aynı hızla  $c=2,99793 \times 10^8$  m/sn (ışık hızı) birbirine dik doğrultudaki elektrik ve manyetik alan değişimleri şeklinde yayılırlar. Elektromanyetik dalgalar hem dalgasal hem de tanecik özellikli enerji yayılmasıdır.

Dalgaların yayılma hızı (c), frekansı (f), ve dalga boyu ( $\lambda$ ) arasında:

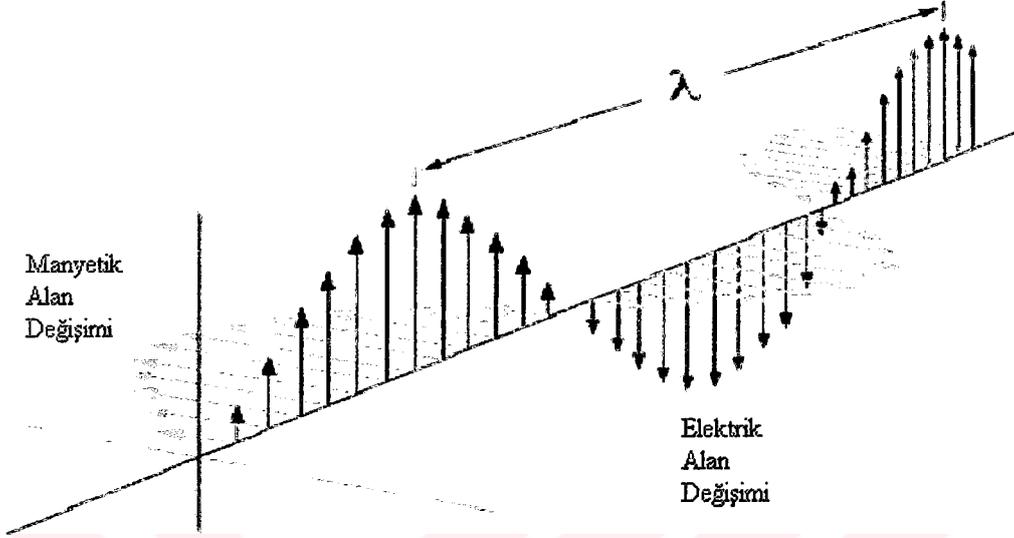
$$c \text{ (m/sn)} = \lambda \text{ (m)} \times f \text{ (sn}^{-1}\text{)} \quad \text{şeklinde bir bağıntı vardır.}$$

Fotonun enerjisi,  $E = h.f$  şeklindedir (h, Planck sabiti =  $6,6256 \times 10^{-34}$  J.sn). Ayrıca, foton ve diğer elementer taneciklerin enerjilerini anlatmak için, bir elektronun 1 volt'luk potansiyel farkını aşmakla kazanacağı ek enerji olarak tanımlanan ve elektronvolt (eV) olarak adlandırılan pratik bir enerji birimi de çok sık kullanılır (1 eV =  $1,60217 \times 10^{-19}$  J).

Elektromanyetik dalgalar bir sinüs eğrisi şeklinde enine dalgalar halinde yayılırlar. Radyasyonun dalga boyu kısaldıkça (veya frekansı artıkça) enerjisi artar fakat hızı değişmez (15,19,21).

Ters kareler yasasına göre, noktasal bir kaynaktan veya ince bir aralıktan çıkan elektromanyetik radyasyon demetinin şiddeti uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak değişir ( $I \propto 1/R^2$ ). Bu özellik radyasyondan korunmada uygulanan en geçerli yöntemlerden biridir. Ancak, sadece nokta kaynaklar için kullanılır. Yaygın kaynaklara uygulanmaz (21).

Düzlem elektromanyetik dalgaların elektrik ve manyetik alan bileşenleri, birbirlerine ve dalganın yayılma doğrultusuna diktir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Elektromanyetik (EM) dalga

EM dalgaların dalga boyu,  $\lambda = c/f$  ile bulunur.

Canlı dokunun boşluğa göre manyetik geçirgenliği  $\mu_r \approx 1$ 'dir, bu nedenle canlı dokunun boşluğa göre manyetik geçirgenliği ( $\mu_{doku}$ ) boşluğun manyetik geçirgenliğine eşit kabul edilir ( $\mu_{doku} = \mu_0$ ) (13,17,19,29).

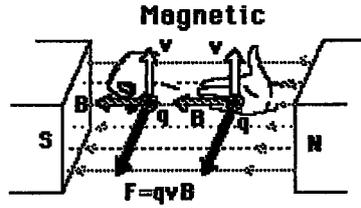
Düşük frekanslı EM dalgaların manyetik alan bileşeni, genellikle manyetik akı yoğunluğu (B) ile ifade edilir. Maxwell eşitliklerine göre; elektrik alan, manyetik alanın zamana göre değişimine, manyetik alan da elektrik alanın zamana göre değişimine bağlıdır (15,17,29).

Herhangi bir hareketli elektrik yükünün çevresindeki uzay bölgesi elektrik alana ek olarak bir de manyetik alan içerir. Elektrik alandan farklı olarak "Manyetik Alan" hareketli elektrik yükleri tarafından oluşturulur. Boşlukta, v hızı ile hareket eden bir q yükünden r uzaklıktaki bir noktada oluşacak manyetik alan (B);

$$B = (\mu_0 q v \sin \theta / r^2) \text{ olur.}$$

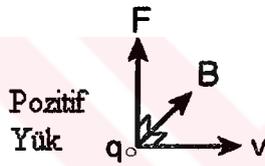
( $\mu_0$ : Boşluğun manyetik geçirgenliği =  $4\pi \times 10^{-7}$  Henry/m)

Bir B manyetik alanı içerisinde v hızı ile hareket eden q yüküne etkiyen manyetik kuvvet yönünü bulmak için sağ el kuralı uygulanır (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Sağ el kuralı

v x B'nin yönü başparmağın işaret ettiği yöndedir. Eğer q yükü pozitif ise F yukarı doğru, eğer q yükü negatif ise aşağı yönlüdür (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Manyetik alan ve manyetik kuvvet.

Bir q yükü v hızı ile hareket etmekte olduğu ortamda mevcut olan B alanının etkisiyle manyetik kuvvete ( $F_m$ ) maruz kalır (Şekil 2.4). Bu kuvvetin büyüklüğü yükün hızı, yük miktarı ve manyetik alanın büyüklüğü ile orantılı değişir. Yüke etki eden kuvvetin yönü hız vektörüne (v) ve manyetik alana her zaman diktir. Hareket etmekte olan v hızlı bir yüke uygulanan manyetik alan onun hız vektörünün yönünü değiştirebilir, fakat hızın büyüklüğünü veya kinetik enerjisini değiştiremez.

“Sinüzoidal Manyetik Alan” zamana göre değişen B alanın, sinüs fonksiyonu ile ifade edilmesi olarak tanımlanır.

$$B = B_m \sin 2\pi f t$$

$B_m$ : B alanın maksimum değeri

f: Saniyedeki titreşim sayısı (frekans)

Bir halka boyunca değişen akımlar Faraday kanununa göre manyetik alan oluştururlar. Zamana göre değişen manyetik alan biyolojik dokularda potansiyel fark ve

akımlar oluşturur. Manyetik alan içindeki  $r$  yarıçaplı, alanı  $S = \pi r^2$  olan iletken bir halkada indüklenen maksimum elektrik alan ( $E_m$ ) ve akım yoğunluğu ( $J_m$ ) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_m = \left| \frac{d(B.S)}{dt} \right|_m = 2\pi^2 r^2 f |B_m| \text{ ve}$$

$$E_m = V_m / 2\pi r = \pi r f B_m \text{ olur.}$$

Maksimum akım yoğunluğu  $J_m$ :

$$J_m = \sigma E_m = \pi r f \sigma B_m \text{ olur.}$$

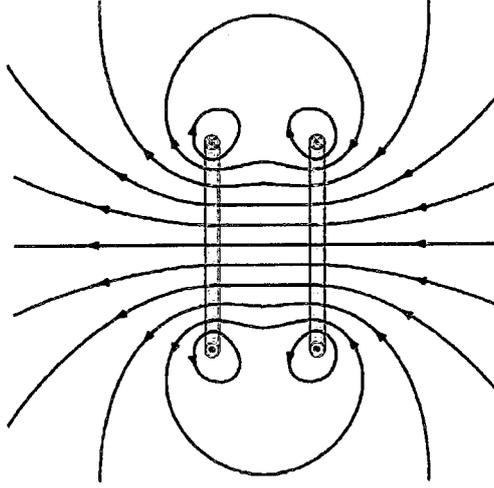
$V_m$ : Maksimum voltaj

$\sigma$ : Doku öz iletkenliğidir, birimi siemens (S)/m şeklindedir.

Bu sonuçların biyolojik sistemler için önemli olmasının nedeni, dış kaynaklı B alanlar etkisiyle vücut yüzeyinde ve doku içinde indüklenen alan ve akım yoğunluklarının hesaplanmasında kullanılmasından kaynaklanmaktadır (17,19).

### 2.3.1 Helmholtz Bobin Sistemi

Laboratuarlarda sınırlı bir bölgede homojen manyetik alan oluşturmak için Helmholtz Bobin sistemi kullanılır. Araştırmaların güvenilir olması deney hayvanlarının homojen manyetik alana maruz bırakılmasını gerektirdiği için en uygun sistem Helmholtz Bobin sistemidir. Çevremizdeki insan kaynaklı ELF frekans aralığındaki manyetik alanların canlıda oluşturacağı biyolojik etkilerin araştırılması amacıyla, birçok çalışmada 2, 50 ve 60 Hz vb. frekanslı Helmholtz bobin sistemleri kullanılmıştır (4,5,9,31). Bu sistem, aynı sarım sayısında ve aynı yarıçapta hazırlanmış aynı özelliğe sahip iletken malzemeden yapılmış, seri bağlı iki bobinden oluşur. Bobin çifti, koaksiyel olarak yarıçap kadar uzakta konumlandırılır, aynı yönde ve aynı şiddette akım taşınması sağlanır. Böylece her iki bobinin merkezlerinden geçen eksen boyunca homojen manyetik alan elde edilir (13,30). Şekil 2.5 Helmholtz bobin sistemi'nin oluşturduğu manyetik alan çizgilerini göstermektedir.



Şekil 2.5. Helmholtz bobin sistemi'nin oluşturduğu manyetik alan çizgileri

Sarım sayısı  $N = 1$  alındığında;

$$B_z = (\mu_0 I r^2 / 2) \times [(z^2 + r^2)^{-3/2} + ((z-d)^2 + r^2)^{-3/2}] \text{ olarak verilmektedir.} \quad [A]$$

$B_z$ : z doğrultusundaki manyetik alan değeri

$\mu_0$ : Boşluğun manyetik geçirgenliği

I: Bobinlerden geçen akım

r: Bobin yarıçapı

z: r/2

d: r

Helmholtz bobin sistemini oluşturmak için,  $d = r$  olduğuna göre yarıçapı, sarım sayısı ve akımı bilinen Helmholtz bobin sisteminin merkezinde oluşan manyetik alanın büyüklüğü; manyetik alan ifadesinde bu değerler yerleştirildiğinde;

$$B_z = (8 N \mu_0 I / 5^{3/2} r) \approx (0.72 N \mu_0 I) / r \text{ bulunur.} \quad [B]$$

B alanın, birinci ve ikinci türevlerinin sıfıra eşit olduğu ( $z = r/2$ ) noktasında sistemin eksen merkezi çevresinde yüksek homojenlikte manyetik alan elde edilebilir (13).

## 2.4. YAŞAM ALANINDAKİ ELEKTRİKLİ ALETLERİN OLUŞTURDUĞU MANYETİK ALANLAR

Canlı organizmanın hücre, organ veya sistemlerinin oluşturduğu elektrik ve manyetik alanlar, çevre doğal alanların ve elektrikli tüm aletlerin elektrik ve manyetik alanlarından etkilenmektedir. Evde kullanılan, 60 Hz frekanslı elektrikli aletlerden bazılarının manyetik alanları tablo 2.2’de verilmiştir. EM alanlar kullanma süresine ve kullanıcının cihaza uzaklığına bağlı olarak değişebilirken, elektrik enerjisi ileten hatların yakınındaki evlerde yaşayanlar bu hatların oluşturduğu alanlara uzun yıllar maruz kalabilmektedirler.

Elektrikli ev aletleri yalnızca kullanılırken manyetik alan oluşturmazlar. Fişi takılı olduğu durumda cihaz kapalı olsa da toprağa kaçak akım oluşturması ve kaçak akımın çok küçük şiddetli de olsa manyetik alan oluşturması söz konusu olabilir. B alan oluşumunu engellemek için aletlerinin kullanılmadıklarında, enerji bağlantılarının kesilmesi gerekmektedir.

Tablo 2.2. Bazı Elektrikli Ev Aletlerinin yakınındaki B alanlar (2,3,27)

Elektrikli Ev Aleti	Yakındaki Manyetik Alan (G veya mG)
Floresan lamba (tavanda, 20 Watt)	En az 1 mG (ofiste çalışan kişinin başında) 10 Watt'lık floresan lamba'nın manyetik alanı; 60 Watt'lık akkor telli lamba'nın manyetik alanının 20 katından daha büyüktür.
Buzdolabı	1-10 mG
Elektrikli ısıtıcılar	a) 15.3 cm uzakta: 23 mG b) 61 cm uzakta: 8 mG c) Odada tavana monte edilen ısıtıcı (oda içinde ortalama): 10 mG d) Elektrikli fırın (20.32 cm uzakta): 50 mG
Kurutma makinesi Bulaşık makinesi Elektrikli ütü	10-100 mG
Elektrikli battaniye	50-100 mG
Siyah/beyaz TV seti Tost makinesi Isıtma pedi	100 mG - 1 G
Renkli TV Bilgisayar monitörü Mikser Mutfak robotu	1-5 G
Floresan lamba Elektrikli traş makinesi	5-10 G
Manyetik karıştırıcı Saç kurutma makinesi	10-25 G

#### 2.4.1 Manyetik Alanların Canlı Dokularla Etkileşme Mekanizmaları

Durgun manyetik alanların canlı dokularla etkileşme mekanizmaları üç grup altında incelenmektedir (4).

İlk mekanizma *manyetik indüksiyon*'dur, örneğin durgun manyetik alanlar, çözelti içinde hareket eden iyonlara kuvvet uygular. Bu etkileşme, kan akışında gözlenen manyetik olarak üretilmiş potansiyelin temeli olup insan aortunda oluşan tahmini maksimum değer 10 mV/T dolayındadır. Durgun bir manyetik alan ayrıca akan kana fiziksel bir kuvvet uygulayacaktır. Bu kuvvet iyonik iletim akımı ve manyetik akı yoğunluğu ile orantılıdır. 5 T'lık bir alanda bir insan için bu magneto-hidrokinamik etkileşimin net etkisinin aortik kan akışında % 7'lik bir düşüş oluşturacağı tahmin edilmektedir ve 2 T'lık bir alanda da kan basıncında % 1'lik bir artış olması beklenir.

Ancak, artışın çok daha az olduğu ölçülmüştür. Bilgilerimize göre bu mekanizma, biyolojik etkileşme oluşturabilecek en önemli mekanizmadır.

İkinci mekanizma, *magnetomekaniksel* etkilerdir, örneğin düzgün durgun manyetik alanlar vücutta moleküller ve magnetit gibi herhangi bir ferromanyetik materyalde döndürme kuvveti (tork) meydana getirirler. Balarısı da dahil olmak üzere haşereler, bazı kuşlar ve alabalık gibi bazı organizmalar bu mekanizmayı kullanarak yönlerini bulmak için magnetit içeren hücrelere sahiptirler. 0.1-0.4 T aralığındaki manyetik alanların hemoglobinin konformal kararlılığını ve oksihemoglobin oto-oksidasyon reaksiyonunun kinetiğini etkilediği rapor edilmiştir (32). Ancak, çok daha güçlü alanlar, biyolojik moleküller üzerinde bir etkileşme yaratarak insan sağlığında daha büyük zararlar oluşturabilmektedir. Enzimlerde manyetik olarak yaratılan değişikliklerin, metabolik reaksiyon oranlarının değişmesine yol açtığı bildirilmiştir (33).

Üçüncü mekanizma *elektronik etkileşmedir*. Örneğin, durgun manyetik alanlar, elektronların spin yönelimini ve enerji seviyelerini değiştirebilirler. Atom çekirdeği spini ile de benzer etkileşmeler meydana gelebilir, fakat bunlar elektron etkileşmeleri ile karşılaştırıldığında çok zayıftır ve herhangi bir biyolojik sonuçları yoktur. Durgun manyetik alanlar bir elektronun yüksek bir seviyeden daha düşük bir seviyeye geçişinde bir etki yaratabilirler. Manyetik alanların DNA molekülündeki çekirdeğin enerji seviyelerini değiştirerek hidrojen bağına değiştirebileceği ve böylece genetik kodun kararlılığını etkileyeceği öne sürülmektedir (4).

#### **2.4.2. Elektromanyetik Alanların Biyolojik Etkileri**

Canlılığın varlığından bu güne organizmalar, önceleri doğal daha sonra ise eklenen EM enerji kaynakları ve zayıf manyetik alanlara maruz kalmışlardır. Biyolojik sistemlerin, ELF elektromanyetik alanlara verdiği yanıtın; bu alanların genlik ve/veya frekansına bağlı olduğu gösterilmiştir.

Günümüzde, çevre EM alanların biyolojik etkilerinin saptanmaya çalışılmasının yanında, canlı için önemli ve çok iyi bilinen birçok biyolojik, fizyolojik veya biyokimyasal mekanizmanın işleyişinin EM alanlardan nasıl etkilendiği araştırılmaktadır. Buna bağlı olarak, biyolojik etkinin nasıl ve nerede başlamış

olabileceği, canlının fonksiyonları üzerinde nasıl etkili olabildiği soruları önerilen çeşitli etki mekanizmaları ile cevaplanmaya çalışılmaktadır. EM alanların biyolojik etkilerini araştıran çalışmaların sunulduğu bu bölümde; araştırmalar “epidemiolojik çalışmalar”, “in vivo çalışmalar” ve “in vitro çalışmalar” olarak gruplandırılabilir.

#### **2.4.2.1. Epidemiolojik, in vivo ve in vitro çalışmalar**

EM alanlar içinde uzunca bir süre kalmak veya sürekli yaşamak zorunda olan insanlarda olası etkilenmeleri belirlemek amacıyla yapılan araştırmalar; epidemiolojik, in vivo ve in vitro çalışmalar şeklindedir.

Epidemiolojik çalışmalar, her türlü EM alanların bulunduğu elektrik enerjisinin üretildiği, dağıtıldığı ya da yoğun olarak kullanıldığı bölgelerde yaşayan veya meslekleri gereği uzunca bir süre bulunmak zorunda olan insan grupları ile yapılan çalışmalardır. Bu çalışmalar klinik laboratuvar çalışması veya bölgesel çalışmalar olarak yürütülmektedir. Bölgesel çalışmalarda, kişilerin buldukları bölgelerde yaşam süreleri, aile hikayeleri ve hastalık şikayetleri ile bölgenin EM alan özellikleri arasında ilişkiler kurularak, akut veya kronik maruziyet etkileri saptanmaktadır. Klinik laboratuvar çalışmalarında ise sağlıklı kişiler ile sağlık sorunları olan kişilerin laboratuvar testlerinin karşılaştırılması yoluyla EM alanların etkilerini saptamak yoluna gidilmektedir (2).

İn vivo çalışmalar, insanların veya genellikle deney hayvanlarının canlılıklarını sürdürürken tüm vücutlarının veya lokal olarak vücutlarının bir bölümünün EM alanlara maruz bırakıldığı çalışmalardır. Bu çalışmalarda canlıda etkilenmesi beklenen parametrelerin takibi fiziksel ve/veya laboratuvar testleri ile yapılmıştır (34).

İn vitro çalışmalarda EM alanlar; dokulara, hücrelere veya deneysel olarak oluşturulan canlı sistemlere, canlıya özdeş hazırlanan ortamlarda uygulanmıştır. Böylece etkileşimin; hücre, organel, makromolekül ve hatta moleküler ve iyonik mekanizmalar düzeyinde saptanması mümkün olabilmektedir. Ayrıca etki mekanizmasını araştıran çalışmalarda, ortam parametrelerinin (sıcaklık, pH, konsantrasyon gibi) değişimi ile etkileşimin yönü arasında ilişkiler kurularak EM alanların etki oluşturabilme şartlarının saptanması da mümkün olabilmektedir (2,34).

#### 2.4.2.1.1. Epidemiyolojik çalışmalar

Günden güne bilim ve teknolojideki hızlı gelişmeler sonucu canlılar oldukça geniş spektrumda elektromanyetik alanlara maruz kalmaktadırlar.

Oldukça düşük frekanslı EM alanların biyolojik etkilerini araştıran epidemiyolojik çalışmalar, yüksek gerilim hattı yakınında yaşayanlar ile evde veya işyerinde insan yapımı ELF alanlara maruz kalan kişilerle gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda güç frekansı olarak bilinen 50/60 Hz titreşimli alanlara maruz kalan kişilerden oluşturulmuş gruplar; ya yaşadıkları/çalıştıkları bölgelerde takip edilmiş ya da klinik takibe alınarak maruz kaldıkları alanların sağlık üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu nedenle epidemiyolojik çalışmaları, "bölgesel çalışmalar" ve "klinik çalışmalar" olarak iki ayrı grupta incelemek mümkündür.

Yapılan epidemiyolojik çalışmalar, yüksek gerilim hatları ve elektrikli ev aletlerinin ciddi sağlık problemlerine neden olduğunu, özellikle de kanser riskini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Kalp rahatsızlıkları ya da diğer patolojik koşullar konusunda yapılan epidemiyolojik çalışmalar ise çok yetersizdir.

Radyo frekansının sağlık üzerine termal ve termal olmayan olmak üzere iki yönden etkisi olduğu ve mobil telefonlarının frekanslarının radyo frekansı ile aynı olmasından dolayı cep telefonlarının vücuda yakın tutulması sonucu termal etkisi ve termal olmayan etkinin olabileceği söylenmektedir. Mobil telefonlarının kullanımının baş ağrısı, uyku bozukluğu, kısa süreli hafıza kaybı, epilepsi olan çocuklarda nöbet sıklığı, beyin tümörü ve yüksek kan basıncı gibi sağlık üzerine olumsuz etkilere neden olabildiği belirtilmektedir. Bu çalışma mobil telefon kullanımının sağlık için bir risk faktörü olduğunu ve çok uzun süreli kullanımlardan kaçınmak gerektiğini ileri sürmektedir (35).

Çeşitli çalışmalarda, ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)'nin belirlediği sınır değerlerin altında mobil telefon sinyallerinin beyin elektriksel aktivitelerinde ve algılama fonksiyonlarında (dikkat, hatırlama, tepki verme gibi) kısa süreli değişimlere neden olduğu gösterilmiştir. Fakat bu değişimlerin insan sağlığı üzerindeki etkileri bilinmemektedir (36).

Farklı araştırma grupları tarafından EM alana maruz tutulan işçilerle yapılan sekiz sitogenetik çalışmanın yedisinde kromozom düzensizliklerinde artış bulunmuştur;

sadece bir çalışmada EM alana maruz bırakılan grup ile kontroller arasında bir fark gözlenmemiştir (3,4,37). Bu sonuç EM alanlara maruz kalmanın kanser riskini arttırdığını bildiren çalışmaları destekler niteliktedir.

1950-1986 yılları arasında beş büyük elektrik şirketinde en az 6 ay boyunca çalışmış işçilerin ölüm sebepleri üzerine yapılan bir çalışmada manyetik alan maruziyetinin toplam ölüm ve kanserden ölüm oranlarında biraz artışa neden olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada yıllık 1.94 mT manyetik alan maruziyetinin 2.6 mT'ya göre daha az ölüm oranıyla sonuçlandığı ileri sürülmektedir. Diğer çalışmaların aksine elde edilen veriler, manyetik alan maruziyeti ile lösemi arasındaki ilişkiyi desteklememekte, fakat beyin kanserinden ölümlerin ilişkili olduğunu ifade etmektedir (38).

Elektromanyetik alanların manyetik alan bileşeni, tüm kanser türlerinin oluşumu ile ilişkili bulunmuştur. 2 mG kadar düşük şiddetli çevresel manyetik alan, tüm kanser türlerini 1.4 kat arttırmaktadır. Lösemi, lenfoma ve yumuşak doku sarkomlarında bu oranın daha da arttığı ifade edilmektedir. Belli kanser tiplerinin özellikle sinir sistemi kanserlerinin; 60 Hz manyetik alana uzun süreli maruziyet ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Yapılan bir başka çalışmada ise kronik lenfoma lösemileri ile ortalama olarak günlük maruz kalınan EM alan şiddeti arasında bir ilişki bulunmuştur (39).

İşyerinde EM alanlara maruz kalan kişilerde lösemi ve beyin tümörü görülme sıklığının arttığı rapor edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda, İsveç'te farklı endüstri kuruluşlarındaki işyerlerinin elektrik ve manyetik alan ölçümleri yapılarak bir günde 100 dakikalık zaman diliminde elektrik alanlara maruziyetin 30 V/m'den fazla, manyetik alanlara maruziyetin ise ortalama 10-25 mG olduğu ölçümlerle gösterilmiştir (40).

EM alanlara maruziyet şartlarına göre oluşturulan gruplar klinik takibe alınmaktadır. EKG ve elektroensefalografi (EEG) gibi kayıtlar, kanda çeşitli biyokimyasal ve hematolojik parametrelerin değerleri ölçülerek, evde ya da işyerlerinde çevre alanlara maruz kalan kişilerin çeşitli fizyolojik sistemlerinin nasıl etkilendiği saptanmaktadır.

Son yıllarda manyetik alanın biyolojik etkileri konusunda yapılan çalışmaların bir bölümü, nörolojik ve psikiyatrik hastalıklarla manyetik alan maruziyetinin ilişkisini

incelemek amacını taşımaktadır. Örneğin alzheimer hastalığı üzerine yapılan bir çalışmada manyetik alana maruz kalmanın riski üç kat arttırdığı rapor edilmiştir (41).

1988 yılında Wilson tarafından yapılan bir çalışmada ise 598 vakada rastlanan intihar ile gerilim hatlarından kaynaklanan alanlara maruz kalma arasında bir ilişki rapor edilmiştir. Bu sonuç, ELF alana maruz kalmanın melatoninin doğal sirkadyen ritimlerinde bozulmaya neden olabileceği ve bunun da depresyona yol açabileceğini göstermektedir (42).

Manyetik alanların insanlarda serbest radikal metabolizması üzerindeki etkilerini gözlemlemek için malondialdehit (MDA), glutatyon (GSH) seviyeleri ve Na-K-ATPaz enzim aktivitesi ölçülmüştür. Çalışma rutin olarak radyoloji bölümlerinde manyetik rezonans görüntüleme (MRG)'ye alınan hastalar üzerinde yapılmıştır. Hastalar 1.5 T şiddetinde manyetik alana 16.18 dakika maruz bırakılmışlar ve çalışmaya 28 erkek 31 kadın olmak üzere toplam 59 hasta katılmıştır. Uygulama için MRG'den önce ve sonra kan örnekleri alınmış, MRG'den önce alınan kan örnekleri kontrol gurubu olarak kullanılmıştır. 9 hastaya MRG'den önce kontrast ajan verilerek eritrosit membranında Na-K-ATPaz enzim aktivitesi ölçülmüştür. Çalışma sonucunda MDA ve GSH düzeylerinin ve Na-K-ATPaz enzim aktivitesinin MRG uygulamasından sonra değişmediği gösterilmiştir (43).

Yapılan epidemiyolojik araştırmalarda genel olarak EM alanların etkili olduğu bulunmuş ve bu nedenle de hatlarda, trafo merkezlerinde ve şalt sahalarında çalışanların koruyucu önlemler alınarak manyetik ve elektrik alan etkilerinden korunması gerektiği şeklinde bir sonuca ulaşılmıştır.

#### **2.4.2.1.2. İn vivo ve in vitro çalışmalar**

İn vivo yapılan bir çalışmada, yeni doğan sıçanların 60 gün boyunca 1 mW/cm<sup>2</sup> şiddetindeki mikrodalga manyetik alana kronik olarak maruz bırakılması sonucu serebral korteks ve diensafalonda ribolize polimeraz adenzin difosfat (PARP) aktivitesinde azalma ve okside NAD<sup>+</sup> konsantrasyonunda ise artış olduğu bildirilmiştir (44). Poliribolizasyon (ADP), kromatinin yapı ve fonksiyonunda oluşan modifikasyonları göstermekte olup, tümoral bir değişimle ilişkilidir.

Cerrahi işlemle diseke edilen sıçan laringeal siniri, günde 3 saat, haftada 5 gün olmak üzere 12 hafta boyunca 0.4 mT (4 G) şiddetinde pulslu elektromanyetik alana maruz bırakılmış ve nöronal nitrik oksit sentezi (nNOS) ve fosfolipaz C- $\gamma$ 1 (PLC- $\gamma$ 1) değişimi araştırılmıştır. Pulslu elektromanyetik alana maruz kalan aksonların kontrole göre yaklaşık 2 kat hızlı rejenere olduğu ve nNOS ve PLC- $\gamma$ 1'in rejenere olan sinirlerde oldukça arttığı ifade edilmiştir (45).

Perikard açıldıktan sonra kalpte akut iske mi oluşturulan sıçanlar, cerrahi işlem den hemen sonra 75 Hz frekansında ve 30 G şiddetinde manyetik alana maruz bırakılmışlardır. Bu çalışmada pulslu elektromanyetik alanın miyokardı koruyucu etkisi olup olmadığı araştırılmak istenmiştir. 18 saat maruz kalan sıçanların kalp ağırlıkları ile kontroller arasında istatistiksel bir farklılık bulunmadığı, 6 gün boyunca maruz bırakılan grupta ise nekrotik bölgenin 18 saat maruz kalan gruba göre daha küçük olduğu ve kontrol ile deney grupları arasında yaşam oranları bakımından bir farklılık bulunmadığı görülmüştür (46).

ELF manyetik alana maruz kalmanın doğrudan DNA ve kromatin'in yapısını değiştirip değiştiremeyeceği hakkında çelişkili veriler vardır. Bu konuda yapılan bir çok çalışmada, manyetik alana maruziyetin mutasyonel ya da neoplastik başkalaşım oluşturmadığı bildirilmiştir. Ancak, insan amniyotik hücrelerini kullanarak yapılan bir başka çalışmada, ELF alanlarının DNA üzerinde doğrudan etkilere yol açabileceği gözlenmiş olup, bu çalışmada sürekli olduğu kadar aralıklı olarak 0.03 mT, 50 Hz manyetik alana maruz kalmanın kromozomal düzensizlikte ikili ya da üçlü artmalara neden olduğu rapor edilmiştir. Bununla birlikte akı yoğunluğu 0.3 mT artırıldığı zaman hiç bir etki görülmemiştir (47).

Son 35 yıldır yapılan bir çok çalışma, radyo frekanslarındaki radyasyonların dokuda ısınmaya neden olmasından dolayı görsel, işitsel, endokrin, nöral, kardiyovasküler, immün ve gelişim fonksiyonlarındaki değişimlerle radyo frekanslarının içerdiği enerjinin ilişkili olabileceğini göstermektedir (48).

ELF alanlarının, hücre yüzeyi reseptörlerinin mitojenlerle etkileşmesi, metabolizmada gen ekspresyonu, protein biyosentezi ve enzim aktivitelerinde değişimler, proliferasyondaki artışlar ve iyon iletimi ile ilişkili olduğu konusunda sayısız rapor vardır (4,43).

Maymun, kobay, sıçan ve tavşan gibi deney hayvanlarıyla yapılan çalışmalarda genel olarak EM alanların üreme, büyüme, bağışıklık sistemi, sinir dolaşım ve sindirim sistemleri üzerine ve ayrıca zedelenme oluşturulmuş sıçan siyatik sinir rejenerasyonu, kanser oluşumu ve hayvan gelişimi üzerine etkileri incelenmektedir.

Yapılan bir çalışmada pulslu elektromanyetik alanların sıçan siyatik sinir rejenerasyonu üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmada sıçanlar Helmholtz bobinleri arasına yerleştirilmiş ve şiddeti 0,3 mT (3 G) ve frekansı 2 Hz olan pulslu elektromanyetik alana maruz bırakılmışlardır. 3-6 gün boyunca günde 4 saatlik bir uygulama sonucunda sinir rejenerasyon oranının % 22 arttığı bulunmuştur. Bu uyarıcı etkinin bobinlerin konumlarından bağımsız olduğu saptanmıştır. Günde 1-10 saat süresince maruziyetler, sinir rejenerasyonunun uyarılmasında eşit oranda etkili olmuştur. Aynı çalışmada bir grup sıçan sinir hasarından önce 7 gün boyunca günde 4 saat pulslu elektromanyetik alana maruz bırakılmış, sinir hasarından sonraki 3 gün boyunca pulslu elektromanyetik alana maruz kalmadan izlenmişlerdir. Bu durumda rejenerasyonun önemli bir şekilde arttığı gözlenmiştir. Bu ön maruziyetin “koşullama” etkisi, pulslu elektromanyetik alanın rejenerasyonu dolaylı olarak etkilediğini düşündürmektedir (5).

Hong ve ark.’nın yaptığı bir çalışmada, statik manyetik alanın sıçan kuyruğu sinir fonksiyonu üzerine etkisi araştırılmıştır. Anestezi uygulanmış sıçanların kuyruk sinirinde çeşitli süre ve yoğunlukta düşey ve statik manyetik alan uygulanmasından önce ve sonra motor sinir iletimi ve uyarılabilirliği ölçülmüştür. 60 s süresince 1.2 T yoğunluğunda elektromanyetik alana maruz bırakıldıktan sonra uyarılmış kuyruk sinirinde bileşik kas aksiyon potansiyeli (BKAP) kayıtları, distal latans ve genlik değerlerinde önemli bir değişim olmadığını göstermiştir. (11).

Bir başka çalışmada, düşük şiddetli milimetre dalga boylu (MWR) elektromanyetik radyasyonun diseke edilen siyatik sinir üzerine etkisi araştırılmıştır. Sıçanlar 54 GHz ve 4 mW/cm<sup>2</sup> şiddetindeki bir manyetik alana maruz bırakılmışlardır. Suture bölgesindeki femoral derinin MWR’ye maruz bırakılmasının sinir liflerinin rejenerasyonunu hızlandırdığı bulunmuştur. 20. gündeki son uygulamada kontrol hayvanlarıyla manyetik alana maruz bırakılan hayvanlardaki rejenerasyon mesafeleri

karşılaştırıldığında maruz kalan hayvanlarda rejenerasyonda % 32'lik artış gözlenmiştir. Ayrıca maruz kalan hayvanlarda iletim hızı % 26 artmıştır (49).

Sıçan kütlesi üzerine elektromanyetik alan maruziyetinin etkisi ile ilgili bir çalışmada, 0,1 mT ve 60 Hz frekansında pulslu elektromanyetik alan kullanılmış ve maruziyet öncesi ve sonrasında kütle ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmada, erkek ve dişi sıçanlar üzerine 21 gün boyunca, günde 4'er saat olmak üzere manyetik alan uygulanmıştır. Sonuçlar, bütün gruplarda önce kilo kaybı olduğunu fakat deney sonuna kadar, başlangıçtaki strese bağlı kilo kaybının ortadan kalktığını ve kiloda yeniden artış gözlemlendiğini, ancak bu artışın deney ve kontrol gruplarında farklı olduğunu göstermiştir. Kontrol grubuna göre deney gruplarındaki kilo artışının daha az olduğu bildirilmiştir (12).

Erkek farelerde yapılan bir çalışmada 90 Hz frekanslı ve 5 mT alan şiddetindeki EM alanın kan  $Ca^{++}$ ,  $P^{+++}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$  düzeyleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Hem deney ve hem de kontrol grubundan 15., 30. ve 45. günlerde kan alınmıştır. Çalışma sonuçlarına göre  $Ca^{++}$  düzeyinde sadece 30. günde anlamlı bir düşüş bulunmuştur.  $P^{+++}$  düzeyinde hem 15. hem de 45. günde kontrole göre önemli bir artış tespit edilmiştir. Bütün dönemlerde (15., 30. ve 45. gün ) plazma  $Na^+$  düzeyinde önemli bir artış,  $K^+$  ve  $Cl^-$  düzeyinde önemli bir düşüş görülmüştür (50).

Bir başka çalışmada ise üç grup fare, I. grup kontrol, II.ve III. gruplar deney grubu olmak üzere seçilmiş ve günde 8 saat boyunca manyetik alan uygulanarak her saat başı ölçüm yapılmıştır. II. grup için 60 Hz ve 5 mT, III. Grup için 90 Hz ve 5 mT şiddetinde alan kullanılmıştır. Sonuç olarak, bütün dönem ve gruplarda kontrole göre sadece sodyum ve kalsiyum düzeyinde düzenli bir düşüş, potasyum düzeyinde ise artış görülmüştür. Fakat bu değişikliklerin, çoğu dönemde anlamlı bulunmadığı belirtilmektedir (51).

Ichioka ve ark.'nın yaptığı bir çalışmada, anestezi ile uyutulan sıçanlarda 20 dakika boyunca 8 T şiddetinde uygulanan statik manyetik alanın, derideki kan akışı ve vücut sıcaklığı üzerindeki etkileri araştırılmış. Bu değişkenler manyetik alan maruziyeti öncesinde, manyetik alan maruziyeti esnasında ve sonrasında ölçülmüştür. Manyetik alana maruz kalan sıçanlarda derideki kan akışının, maruz kalmayan gruba göre önemli oranda düştüğü gözlenmiştir. Deney sırasında maruz kalmayan grupta önemli bir değişim olmamıştır. Ayrıca aynı çalışmada, maruz bırakılan grupta rektal sıcaklığın

manyetik alan içinde azaldığı saptanmış fakat bu düzeylerin istatistiksel olarak önemli olmadığı bulunmuştur (52).

Pulsu elektromanyetik alan uygulanan 24 sıçanda yapılmış bir başka çalışmada ise, yumurta embriyosunun büyüme oranında, bağ doku ve kalp gibi diğer dokularda önemli biyolojik etkiler meydana geldiği ve kaynaşmamış kırık iyileşmesinin arttığı bildirilmektedir. İn vivo yapılan birçok çalışmada pulsu elektromanyetik alanın vasküler değişimler oluşturduğu gözlenmiştir. Roland ve ark.'nın sıçanlarda yaptığı bir çalışmada, cremaster kasına 2 dakika veya 1 saat süreli PEMF maruziyetinin sübkutanöz arteryel bağlantılarda neovaskülarizasyona neden olduğu gösterilmiştir (53).

Bir başka çalışmada, 50 Hz ELF'ye maruz bırakılan erkek ve dişi sıçanların üreme özelliklerini incelemek amacıyla, implante olan fetüslerin, yaşayan fetüslere oranı (resorptik şansı) değerlendirilmiş. Toplam vücut ağırlıkları, dişilerde uterus, over ağırlıkları, erkeklerde testis vesicula seminalis, prepitium incelenmiş. ELF'ye maruz kalan dişilerde sadece over ağırlığında bir artış bulunmuş. Bunun dışında önemli bir farklılık olmayışı düşük frekanslı ELF'nin fertiliteye ve üremeye yan etkisinin olmadığı sonucunu ortaya çıkartmıştır (54).

Radyo frekanslı elektromanyetik alanın TSH, GH, ACTH, ayrıca FSH ve LH hormonları üzerine ve ayrıca hematolojik ve immün sistem üzerine etkisi araştırılmıştır ve kümülatif yan etki gözlenmemiştir (55).

50 Hz ve 0.065 mT (0.65 G) şiddetinde alan kullanılarak hücre düzeyde yapılan bir çalışmada, patch clamp yöntemi ile hücre membranında  $Ca^{++}$  iyon akışındaki değişim incelenmiştir. Obo ve ark.'nın manyetik alanın  $Ca^{++}$  iyonunun hücre içine akışına etkisini araştırdıkları bu çalışmada, membran boyunca  $Ca^{++}$  iyon akışında hiçbir değişiklik oluşmadığı gösterilmiştir (56).

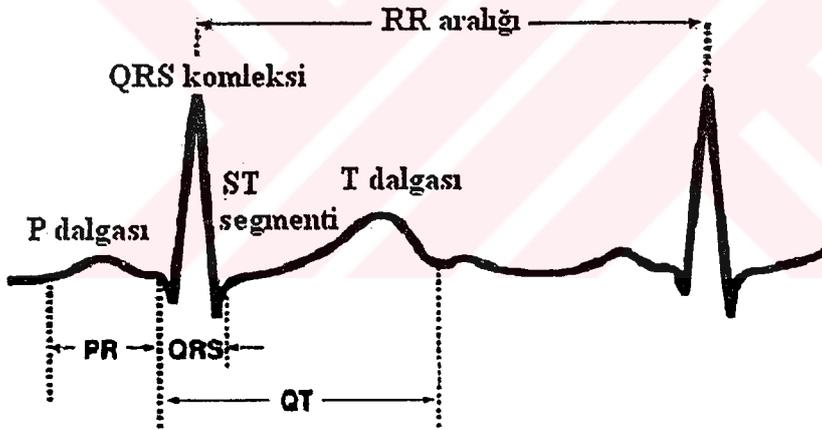
## 2.5. ELEKTROKARDİYOĞRAFI (EKG )

Kalp ritmik kasılmalarla kanı arterlere pompalar. Pompa görevi ventriküllerindir. Kalp endokard, miyokard, epikard olmak üzere üç tabakadan oluşur (57).

Kalbin her kontraksiyonundan önce sinoatriyal düğümde başlayan depolarizasyon dalgası sırası ile atriümlara, atriyoventriküler düğümüne, his demeti ve

dallarına, Purkinje sistemine ve tüm ventrikül kas kitlesine iletilmektedir. Depolarizasyon dalgasının kalpte yayılması sırasında kalbin depolarize ve polarize alanları arasında meydana gelen potansiyel farkı değişiklikleri vücut sıvılarının iletken özelliğine bağlı olarak vücut yüzeyine de ulaşır. Oluşan bu potansiyel değişikliklerin vücut yüzeyine yerleştirilen elektrodlar yardımı ile kaydedilmesi işlemine elektrokardiyografi, elde edilen kayıtlara ise elektrokardiyogram adı verilir. Klinik uygulamada EKG kaydı sırasında rutin olarak bipolar ekstremite derivasyonları (DI, DII, DIII), arttırılmış unipolar ekstremite derivasyonları (aVR, aVL, aVF) ve unipolar göğüs derivasyonları (V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub>, V<sub>5</sub>, V<sub>6</sub>) olmak üzere 12 derivasyondan yararlanılır (58).

**Normal EKG'nin İncelenmesi:** Normal bir elektrokardiyogram P dalgaları, QRS kompleksi ve T dalgaları ile bu dalgalar arasındaki değişik segment ve intervallerden oluşur (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. P dalgası, QRS kompleksi ve T dalgası

**P dalgası:** Atriyumların depolarizasyonu sırasında kaydedilir. 0.06-0.11 s kadar sürer, amplitüdü ise 0.3 mV'u geçmez. aVR'de daima negatif, diğer derivasyonlarda genellikle pozitifdir.

**QRS kompleksi:** Q, R ve S dalgası olmak üzere üç ayrı dalgadan oluşmuştur. QRS kompleksi ventriküllerin depolarizasyonu sırasında kaydedilir. Süresi 0.06-0.10 s'dir. 0.11 s'yi aşması patolojik kabul edilir. Q, R ve S 5 mm (0.5 mV)'den büyük dalgaları belirlemek için kullanılır. Q dalgası QRS kompleksindeki ilk negatif

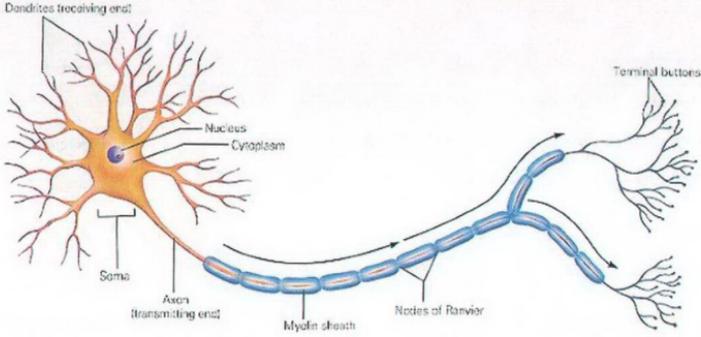
defleksiyondur. Q dalgasının çok küçük olması veya bazı derivasyonlarda görülmemesinin patolojik bir anlamı yoktur. R dalgası QRS kompleksindeki ilk pozitif defleksiyondur. S dalgası QRS kompleksinde R dalgasından sonra gelen ilk negatif defleksiyondur.

**T dalgası:** Ventrikül repolarizasyonu sırasında oluşan dalgadır. Süresi 0.10-0.25 s, genliği standart derivasyonlarda 1-5 mm'dir. aVR'de negatif, diğer derivasyonlarda genellikle pozitifdir (59).

**EKG'de kalp frekansının hesaplanması:** Kalp hızının hesaplanmasında bir kalp siklusunun süresi temel alınır. EKG'de bir dalganın başlangıcından bir sonraki aynı dalganın başlangıcına kadar olan bölüm bir kalp periyoduna karşılık gelir. Kalp periyodunun belirlenmesinde trasede belirgin olması nedeni ile birbirini izleyen iki R dalgasının tepe noktaları arasındaki mesafe (R-R aralığı) tercih edilir. Kalp frekansı hesaplanırken önce R-R aralığının zaman olarak karşılığı hesaplanarak bir kalp periyodunun süresi bulunur. Daha sonra basit bir orantı ile bir dakikadaki kalp periyodu sayısı saptanır. Kalp frekansının hesaplanması ile ilgili işlemler  $60/R-R(s)$  olarak formüle edilebilir. Ventrikül ritmi düzenli değil yani R-R aralıkları birbirine eşit değilse aynı işlem birkaç R-R mesafesinin ortalaması alınmak sureti ile yapılır (60).

## 2.6. SİNİR

Merkezi sinir sistemi (MSS) 1000 kadar farklı türden, yaklaşık  $10^{12}$  (1 trilyon) nöron hücresinin karmaşık bağlantılarını içerir (1). Bu sayının 10-50 katı kadar glia hücreleri de bulunmaktadır. Sinir sisteminin temel yapıtaşı olan nöronlar, çeşitli uyaranlara kasılarak yanıt veren primitif nöroefektör hücrelerden evrim sonucu gelişmiştir. Daha kompleks hayvanlarda kasılma, kas hücrelerinin özelleşmiş işlevi haline gelmiş, buna karşılık uyaranların entegrasyonu ve iletimi ise nöronların özelleşmiş işlevi olmuştur.

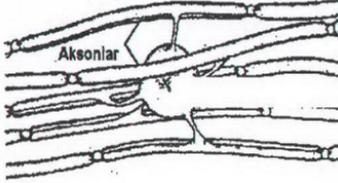


Şekil 2.7 Sinir, akson, dendrit ve soma

Memeli MSS’de nöronlar çok farklı şekil ve büyüklüklerde olabilirler. Bununla birlikte, nöronların çoğu şekil 2.7’de görülen tipik spinal motor nöron ile aynı yapılarla sahiptir. Bu hücrede dendrit adı verilen, hücre gövdesinden başlayıp yaygınca dallanan 5-7 adet uzantı bulunur. Ayrıca hücre gövdesinin kalınlaşmış bölümü olan akson hillock’den başlayan uzun, fibröz bir akson’u vardır. Aksonun bu bölümüne başlangıç parçası denir. Akson, her biri birkaç sinaptik yumruca sonlanan son dallarına ayrılır. Bu yumrulara son (terminal) tomurcuk veya akson telodendritleri de denir. Sinir hücreleri tarafından nörotransmitterlerin depolandığı granül ve veziküller içerirler. Nöron miyelinlidir; diğer bir deyişle, MSS’nin dışındaki akson, Schwann hücrelerinin hücre membranlarının birçok tabakasından oluşmuş bir protein-lipid bileşimi olan miyelin kılıfı ile sarılır.

Schwann hücreleri periferik sinirler boyunca bulunan glia benzeri hücrelerdir. Miyelin kılıf, aksonun sonu ile  $1\mu$ ’luk ve 1 mm aralıklı düzenli daralmalar şeklinde olan Ranvier düğümleri haricinde aksonu sarar. Miyelinin yalıtkan işlevi aşağıda tartışılmıştır. Bütün memeli nöronları miyelinli değildir; bazıları miyelinsiz’dir, yani Schwann hücre membranının akson etrafını sarmasıyla oluşan miyelin olmadan nöronlar basitçe Schwann hücreleriyle çevrilmiştir. Omurgasızlarda nöronların çoğu miyelinsizdir. Memelilerin santral sinir sisteminde nöronların çoğu miyelinlidir, fakat miyelini oluşturan, Schwann hücreleri yerine oligodendroglia hücreleridir (Şekil 2.8). Tek bir nöron üzerinde iki Ranvier düğümü arasında miyelini oluşturan Schwann

hücrelerinin aksine, oligodendroglia hücreleri birden çok uzantı yollayarak çevredeki birçok aksonda da miyelin oluştururlar.



Şekil 2.8. Oligodendroglia hücresi

Miyelinin kaybı, miyelinini yitirmiş aksionlarda gecikmiş veya bloke olmuş ileti ile ilgilidir. Nöronun bölümleriyle ilgili yukarıda kullanılan alışlagelmiş terminoloji spinal motor nöronlar ve internöronlar için oldukça uygundur, fakat sinir sisteminde bulunan diğer tip nöronlara uygulandığı zaman “dendrit” ve “aksion” terimlerinde problemler ortaya çıkmaktadır. İşlevsel bakış açısından nöronların genellikle 4 önemli bölgesi vardır. Bunlar; sinaptik bağlantılarla oluşturulan birçok lokal potansiyel değişikliğin entegre edildiği bir reseptör ya da dendrit bölgesi; ilerleyen aksiyon potansiyellerin kaynaklandığı bir nokta (spinal motor nöronlarda başlangıç parçası, cilt duysal nöronlarında ilk Ranvier düğümü); ilerleyen uyarıları sinir ucuna taşıyan aksion uzantısı; ve aksiyon potansiyellerin sinaptik transmitterin salınımını sağladığı sinir uçlarıdır. Hücre gövdesi, sıklıkla aksionun dendrit bölgesi ucunda yer alır; fakat aksionun içinde olabilir veya aksionun yanına birleşik olabilir. Dendrit bölgesinin reseptör fonksiyonu ve aksionun ileti fonksiyonu açısından hücre gövdesinin yeri farklılık yaratmaz. Aktivite entegrasyonunun dendritlerin tek fonksiyonu olmadığı bilinmelidir. Santral sinir sisteminde bazı nöronların aksionu yoktur ve lokal potansiyeller bir dendritten diğerine geçer (61,62).

### 2.6.1 Uyarılma ve İletilme

Düşük uyarılma eşiğine sahiptir sinir hücrelerinde uyarıcı, elektriksel, kimyasal veya mekanik olabilir. Sinir hücrelerinin uyarılması sonucu, iki tip

fizikokimyasal değişiklik meydana gelir: lokal, ilerlemeyen potansiyellere, bulunduğu yere göre sinaptik, jeneratör, veya elektrotonik potansiyeller ve ilerleyen uyarınlara ise aksiyon potansiyeli (veya sinir impulsları) adı verilir. Bunlar nöronların ve diğer uyarılabilen dokuların yegane elektriksel yanıtlarıdır ve sinir sisteminin temel lisanıdırlar (61). Bir aksiyon potansiyeli, hücre membran potansiyelindeki değişiklikleri yansıtmaktadır.

Uyarı normalde akson boyunca sonuna kadar iletilir. Sinirler uyarıları pasif olarak ileten "telefon kabloları" değildir; sinir uyarılarının iletimi hızlı olmakla beraber, elektrik iletiminden çok daha yavaştır. Sinir dokusu aslında nisbeten kötü bir iletkenidir ve sinirde aktif olayların yokluğunda 1 m'lik bir aksonun bir ucunda 1 V'un bir fraksiyonu kadar bir sinyal oluşturmak için birkaç voltluk potansiyel gereklidir. İleti aktif, kendi kendine ilerleyen bir süreçtir ve impuls sinir boyunca sabit bir genlik (amplitüd) ve hızda ilerler.

BKAP bir kasa ait motor sinirin elektriksel uyarımıyla kas üzerinden elde edilen ve eş zamanlı olarak aktive olan kas liflerinin bireysel aksiyon potansiyellerinin katkıları ile ortaya çıkan toplam elektriksel aktiviteyi ifade eder. BKAP, yüzeysel elektrotlarla ve monopolar kayıtlama tekniği ile elde edilmektedir. BKAP genliği, kas liflerinin sayısı ve büyüklüğü ile doğrudan, motor birim (ünit) sayısı ile dolaylı olarak ilişkilidir. Dolayısıyla aksiyon potansiyeli genliğinin ölçülmesi membrandaki sodyum ve potasyum iletimi ve aktive olmuş kas liflerinin sayısı hakkında bilgi vermektedir.

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

#### 3.1. ARAŞTIRMADA İZLENEN YOL

Manyetik alanların 10, 20 ve 30 G şiddetlerinin sinir rejenerasyonu, sıçan kütlesi ve sıçan kalp elektriksel aktivitesi üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada, deney hayvanları her alan şiddetine, 7 gün süreyle günde 4 saat olmak üzere maruz bırakıldılar. Araştırmada sırası ile şu yollar izlendi:

- Araştırma için gerekli şartların oluşturulması, hayvan temini ve bakımının sağlanması,
- Cerrahi işlem (sinir hasarı-crush injuri),
- Manyetik alan sistemlerinin oluşturulması,
- Deney şartlarında standardizasyonunun sağlanması,
- Farklı şiddetlerde uygulanan manyetik alanların sinir rejenerasyonu, sıçan kütlesi ve kalbin elektriksel aktivitesi üzerine etkilerinin elektrofizyolojik kayıtlarla saptanması,
- İstatistik değerlendirme.

##### 3.1.1. Deney Hayvanları

Çalışmada deney hayvanı olarak; Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi Deney Hayvanı Ünitesinden alınan ortalama 150-200 g ağırlığında 41 adet genç erişkin (12 haftalık) dişi wistar albino sıçan kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan sıçanlar, deney süresince 12 saat karanlık/12 saat aydınlık, ortalama oda sıcaklığı 22-25 °C olacak şekilde Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Deney Hayvanları Araştırma Laboratuvarında yaşatılmıştır. Bu sıçanlar, 35 cm x 20 cm x 45 cm boyutlarında plastikten yapılmış kafeslere kuyruklarından asetat kalemi ile numaralandırılarak beşerli gruplar halinde yerleştirilmiştir. Kafeslerin içine odun talaşı serilmiştir. İçme suyu, yukarıdan sarkıtılan ve ucunda cam pipet olan şişelerle ad libitum olarak verilmiştir. Beslenmelerinde Tavaş Yem Sanayii tarafından üretilen hazır palet yem kullanılmıştır.

Sıçanlar, rastgele seçilerek deney ve kontrol grubu olmak üzere iki gruba ayrıldı. Kontrol grubu 10 adet dişi sıçandan oluşturuldu. Bu gruptaki sıçanlara deney sırasında herhangi bir işlem uygulanmadı. Sadece diğer sıçanlar gibi çalışma öncesi sinir hasarı yapılarak manyetik alan sistemi içerisinde, sistem çalıştırılmadan ve her kafeste 2 sıçan olacak şekilde 7 gün süreyle günde 4'er saat bekletildiler.

Deney grubu, 11 adet 1. grup (10 gaussluk grup), 10 adet 2. grup (20 gaussluk grup) ve 10 adet de 3. grup (30 gaussluk grup) olmak üzere toplam 31 adet sıçandan oluşturuldu. Deney gruplarına da manyetik alan maruziyetinden hemen önce sinir hasarı yapıldı. Deney grubu sıçanları, plastik kafeslerde ve her kafeste 2 sıçan olacak şekilde Helmholtz bobin sistemine konularak manyetik alana maruz bırakıldı. Tüm deney gruplarında manyetik alan uygulaması, aynı sıçanlar aynı manyetik alana daima aynı saatlerde maruz bırakılacak şekilde gerçekleştirildi. Tablo 3.1'de, gruplara uygulanan manyetik alan şiddetleri ve uygulama süreleri görülmektedir.

Tablo 3.1. Gruplara uygulanan manyetik alan şiddetleri ve uygulama süreleri

Gruplar	Manyetik Alan Şiddeti (Gauss)	Uygulama Süresi (saat / gün)	Toplam Uygulama Süresi	Denek Sayısı ( $\Sigma$ 41)
Grup I	10	4	7	11
Grup II	20	4	7	10
Grup III	30	4	7	10
Kontrol	0	4	7	10

Grupların hepsinde, manyetik alana maruziyet öncesinde (1. ölçüm), manyetik alana maruz bırakıldıktan 3 gün (2. ölçüm) ve 7 gün (3. ölçüm) sonra olmak üzere 3 kez EMG, EKG ve ağırlık ölçümleri yapıldı. Tüm bu aşamaların sonucunda elde edilen verilerin istatistik değerlendirmeleri yapılarak manyetik alanların araştırılan parametreler üzerine etkileri saptandı.

Sıçanlar bu işlemlerden sonra yüksek dozda ketamin kullanılarak öldürüldü.

### 3.1.2. Cerrahi İşlem

Deneyler, Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurulu'nun onayından sonra başlatıldı. Cerrahi işlemde ve elektrofizyolojik kayıtlardan önce sıçanlar, kas içine verilen (i.m.) 50 mg/kg ketamin hidroklorür (Ketalar, Eczacıbaşı İlaç Sanayi ve Ticaret AŞ, İstanbul) ile uyutuldu.

Gruplarda yer alan her bir sıçanın sol uylukları aseptik bir işlem için hazırlandı. Cilt ve ciltaltı doku insizyonundan sonra m. biceps femoris ve m. semitendinosus disseke edilerek n. ischiadicus'a ulaşıldı. Daha sonra n. ischiadicus femurun üçte bir proksimalinde 5.0'lık jewelery forseps (No:5) ile 15 saniye sıkıştırılarak hasar (sinir hasarı-crush injury) oluşturuldu. Hasar bölgesi, sinir etrafında gevşek bırakılmış ipek iplikle işaretlendi. Müsküler ve subkütanöz tabakalar 3/0 ipek suturla kapatıldı.

### 3.1.3. Manyetik Alan Sistemlerinin Oluşturulması

#### 3.1.3.1. Kullanılan araç ve gereçler

Homojen manyetik alan elde etmek için "Helmholtz Bobin Sistemi" kullanıldı. Yurtiçi firmalarla yapılan görüşmelerden ticari olarak Helmholtz Bobin üretiminin yapılmadığı, yurtdışı firmalarda mevcut olan modellerin ise çok pahalı olduğu görüldü. Bu nedenle araştırmanın deneysel aşamalarının ilk adımını, hayvan deneylerine uygun manyetik alan sistemi "Helmholtz Bobin Sistemi"nin tasarımı ve laboratuarda kurulması oluşturdu.

Manyetik alanların oluşturulması, elde edilen alanların özelliklerinin saptanması, ölçüm ve görüntülenmesi ile uygulanmasında kullanılan laboratuvar donanımları aşağıda verilmiştir.

- Özel olarak dizayn edilen 2 adet HELMHOLTZ BOBİN SİSTEMİ:  
SİSTEM I ve SİSTEM II
- Özel olarak dizayn edilen Faraday Kafesi
- VARIAC (Variable Transformer): 1 Adet  
50 Hz, 220 Vac giriş. Maksimum  
220 volt gerilim düşürücü
- Gaussmetre (Sypris Test Measurement F.W. Bell 6010 Model

Gauss/ Teslameter) ve Kalibrasyon için Zero Flux Chamber probu

- Multimetre (Digital Multimeter Model MY 64),  
ITT Instruments MX 112 Metrix  
(Frekans, Voltaj, Akım, Rezistans ve sıcaklık ölçüm modlarında kullanıldı.)
- Thermocouple Termometre (Gaussmetre ve multimetrenin sıcaklık ölçme problemleri kullanıldı.)
- Dielektrik (Plastik) Hayvan Kafesi  
(26 cm x 17 cm x 13 cm): 2 adet  
(45 cm x 30 cm x 25 cm): 2 adet

### 3.1.3.2. Helmholtz bobin sistemlerinin kurulması

Manyetik alanın homojenliğinin 2. türeve kadar sabit olduğu teorik olarak saptanan Helmholtz bobin sistemi modeli laboratuvarımızda oluşturuldu.

Deney hayvanlarının, mevsim şartları ve sirkadyen ritim değişikliklerinden etkilenme düzeyinin en aza indirilmesi; araştırmanın standart şartlarda gerçekleştirilebilmesi ve bu nedenle kısa sürede fazla sayıda hayvan çalışılabilmesi için, homojen manyetik alan oluşturan sistem sayısının 2 adet olmasına karar verildi. Sistem I ve Sistem II laboratuvarında Faraday kafesi içerisine yerleştirildi (Şekil 3.1).

Bobinler akım transformatöründen sağlanan akımla beslenerek elektriksel özellikleri ölçüldü. Tasarım değerlerinin ölçümlerle uyumluluğu test edilerek sistemler hayvan deneyinde kullanılacak şekilde kuruldu. Sistem I, her birisi 0.5'lik emaye bakır telden 1550 sarım ve sistem II ise 2.2'lik emaye bakır telden 160 sarım şeklinde tasarlandı. Sistem I'de 10 G'luk şiddet oluşturularak ilk grup çalışıldı. Sistem II'de ise sırasıyla 20 ve 30 G şiddetleri oluşturularak ikinci ve üçüncü gruplar çalışıldı. Tablo 3.2.'de sistem I ve II'nin tasarım özellikleri görülmektedir.

Tablo 3.2. Modellerin Tasarım Özellikleri

	Sistem I	Sistem II
Özdirenç $\rho$ ( $\Omega$ m)	$1,72 \times 10^{-8}$	$1,72 \times 10^{-8}$
İletken çapı (mm)	0,5	2,2
Sarım sayısı	1550	160
H (mm)	47	41
A (mm)	220	205
B (mm)	230	225
r (cm)	21	22,5
R ( $\Omega$ )/ bobin	187	2
$R_T$ ( $\Omega$ )/ bobin çifti	374	4

H: Bobin sarım kalınlığı, A: Bobin iç yarıçapı, B: Bobin dış yarıçapı, r: Bobin ortalama yarıçapı, R: Bobinin hesaplanan direnci,  $R_T$ : Bobin çiftinin hesaplanan direnci

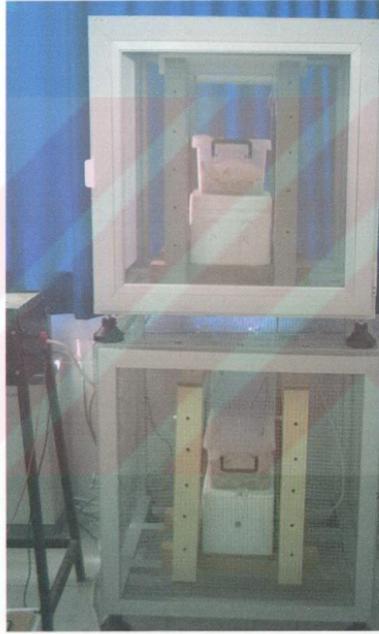
Tablo 3.3’de ise sistem I ve II’nin 10, 20 ve 30 G şiddetlerindeki ölçüm değerleri verilmektedir.

Tablo 3.3. Modellerin Ölçüm Değerleri

	Sistem I (10 G için)	Sistem II (20 G için)	Sistem II (30 G için)
Bobin voltajı-V(volt)	18	55	80
Bobin akımı-I (amper)	0,15	3	4.8
O noktasının yüksekliği (cm)	21	22,5	22,5
O noktasındaki $B_{ölçüm}$ (Gauss)	10,2	20,5	30,2
O noktasındaki $B_{teorik}$ (Gauss)	9,95	20.55	32.8
r (cm)	21	22,5	22,5
R ( $\Omega$ )/ bobin	187	2	2
$R_T$ ( $\Omega$ )/ bobin çifti	374	4	4

Manyetik alan şiddeti ölçümleri Gaussmetre ve özel probu ile yapıldı. Sistemler çalıştırılmadan önce ve çalıştırdıktan sonra deneyin birçok aşamasında (homojenlik testi, sıcaklık testi, sıçanlara manyetik alan uygulaması gibi aşamalarda) laboratuvarın geomanyetik alanı ölçüldü. Laboratuvarında kaydedilen “Geomanyetik Alan” değerinin  $B_{geo} = 0,4 - 0,5$  G olduğu saptandı.

Sistemler çalıştırıldığında VARIAC'ların sistemlere sağladığı akım ve voltaj, sisteme sürekli bağlı olan multimetre ile izlendi. Günlük ölçümlerle her iki sistemin de kalibrasyonu yapıldı. Sıçanların maruz kaldıkları manyetik alan şiddeti sürekli ölçülerek her grubun alan şiddetinin sabit tutulması sağlandı ve deney şartlarının karşılıklı kontrolü yapılmış oldu. VARIAC'ın çıkış gerilimi yük altında 1 Volt civarına kadar azalabildiğinden sistem I'de oldukça düşük manyetik alan şiddetlerini de elde etmek mümkün oldu ve manyetik alan sınırları 0.4 G – 20 G arasında değişen alanlar elde edilebildi. Sistem II'de ise maksimum 40 G'luk alan oluşturulabildi.



Şekil 3.1. Sistem I ve sistem II

#### 3.1.4. Deney Şartlarında Standardizasyonun Sağlanması

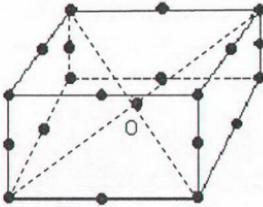
Genel bilgiler kısmında homojen manyetik alan elde etmek için verilen formüllerle [A ve B] hesaplamalar yapıldı. Bu teorik değerler sistemlerde bobin merkezinde yatay ve dikey uzaklıklarda test edildi. Elde edilen verilerden alanın en

az değiştiği bölge belirlenerek uygun ebatlarda hayvan kafesi temin edildi. Ayrıca laboratuarda klima olmasına rağmen ortam sıcaklıkları deneyin birçok aşamasında ölçüldü ve sistem içinde ve yakınında sadece 0,1 °C'lik değişimlerin olduğu gözlendi.

### 3.1.4.1. Sistemlerin B alan homojenliğinin belirlenmesi

Eksen boyunca 10.5, 20.5 ve 30.5 G değerinde manyetik alan şiddetleri oluşturuldu. Yatay ve dikey doğrultularda uzaklığa bağlı olarak kaydedilen farklı ölçümler ile Helmholtz bobin çiftinin oluşturduğu hacim içindeki manyetik alan şiddetinin değişimi saptandı. Veriler homojen manyetik alan bölgesinde deney hayvanının içinde bulunacağı kafesin boyutları ile standart konumunun belirlenmesinde kullanıldı. Sistem I'ın ekseninde 10 G ve sistem II'nin ekseninde ise 20 ve 30 G'luk B alanın değişimleri oluşturuldu. Sistemlerde eşzamanlı olarak farklı noktada kaydedilen B alan ölçümleri ile sistemlerin standardizasyonu sağlandı.

Sistem I ve II'de manyetik alan şiddeti ölçümleri; dikey doğrultuda ( $\theta=0^\circ$ ), uzaklığa bağlı olarak  $z$  eksenini yönünde 19 farklı noktada, yatay doğrultuda ( $\theta=90^\circ$ ), uzaklığa bağlı olarak  $y$  eksenini yönünde 19 farklı noktada uzaklığa ( $r$ ) bağlı olarak yapılmıştır. Hayvanların konulduğu kafes konumunda bütün köşegenlerde ve kenarların orta noktalarında, merkez ve merkez doğrultularındaki noktalarda manyetik alan şiddetleri ölçüldü (şekil 3.2.). Bu lm alınan noktalar arasındaki manyetik alan şiddetinde yaklaşık 0.4 G'luk farklılıklar olduğu saptandı.



şekil 3.2. Kafes konumunda manyetik alan ölçülen noktalar

### 3.1.5. Elektrofizyolojik Teknikler

#### 3.1.5.1. Bileşik kas aksiyon potansiyeli kayıt tekniği

Standart sinir iletim çalışması teknikleri kullanılarak bileşik kas aksiyon potansiyelleri (BKAP) kaydedildi (63). Grupların hepsinde (I, II, III ve IV) sinir hasarı ve manyetik alana maruziyet öncesi kaydedilen BKAP parametreleri “grup kontrol verileri” olarak kabul edildi. Diğer bileşik kas aksiyon potansiyelleri ise, tüm sıçanlarda sinir hasarından hemen önce, manyetik alan maruziyetinden 3 gün ve 7 gün sonra kaydedildi. Veriler BIOPAC MP 100 Veri Toplama Sistemi Versiyon 3.5.7 (Santa Barbara, USA) ile alındı (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. MP 100 sistemi ve EMG kaydı

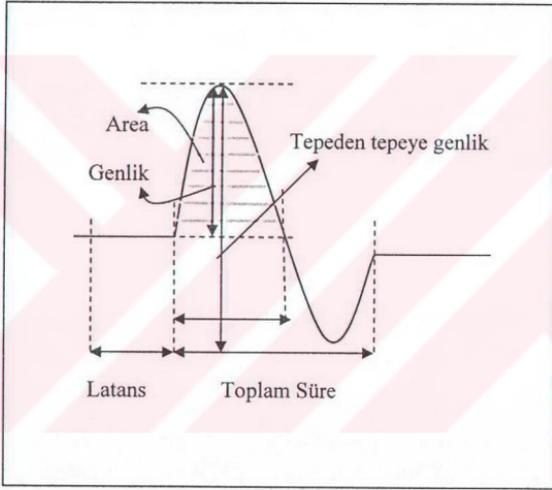
Stimülasyon için bipolar yüzey elektrotları (Medelec küçük bipolar sinir elektrotları, 6894T, Oxford, UK), gastrokinemus kasından kayıtlar için ise disk şeklinde yüzey elektrotları (Medelec, numara 017K006, Oxford, UK) kullanıldı. Toprak elektrotu kaydın yapılmadığı bacak üzerine yerleştirildi. Siyatik sinir, zedelenmiş kısmının proksimal ve distalinden bipolar elektrotlarla uyarıldı. Proksimal ve distal uyarı bölümleri arasındaki mesafe yaklaşık olarak 0.5 cm idi. Supramaksimal uyarı tek kare pulsdan oluşmakta olup süresi 0.5 ms olarak ayarlandı. BKAP verileri, örnekleme hızı 22346 sayısal değeri/s olan (22346 Hz) 16 bitlik bir analog/dijital çevirici ile sayısal değere dönüştürölüp bilgisayarda depolandı.

BKAP parametrelerinden genlik, area, proksimal ve distal latans ve toplam süreyi ölçmek için BIOPAC Acqknowledge Analiz programı (ACK 100 W5.7 versiyon) kullanıldı. Proksimal ve distal uyarı bölgeleri arasındaki motor iletim hızı; bu bölgeler arasındaki mesafenin ( $\Delta x$ ), yanıtların latansları ( $\Delta t$ ) arasındaki farka bölünmesi ile hesaplandı.

$$\text{İletim Hızı} = \Delta x / \Delta t$$

$$\text{İletim Hızı} = (x_2 - x_1) / (L_2 - L_1)$$

$L_1$ : 1. durumda (ilk belirlediğimiz noktada aldığımız) aksiyon potansiyelindeki latans değeri.  
 $L_2$ : 2. durumda (ilk belirlediğimiz noktadan 0.5 cm uzaklıktaki aldığımız) aksiyon potansiyelindeki latans değeri.



Şekil 3.4. Bileşik kas aksiyon potansiyelinin latans, area, toplam süre, genlik ve tepeden tepeye genlik parametreleri.

Şekil 3.4., bileşik kas aksiyon potansiyelinin latans, area, toplam süre, genlik ve tepeden tepeye genlik parametrelerini göstermektedir.

**Latans:** Stimulus artefaktı olarak adlandırılan sinyalin gözükmesinden aksiyon potansiyelinin ortaya çıkışına kadar geçen süreye denir.

**Toplam süre (duration):** Aksiyon potansiyelinin başlangıcından bittiği noktaya kadar geçen süre (toplam süre) olarak tanımlanır.

**Genlik:** Aksiyon potansiyelinin pozitif fazlarını içeren genlik olarak ölçülür.

**Tepeden tepeye genlik:** Aksiyon potansiyelinin pozitif ve negatif fazlarının tümünü içeren tepeden tepeye (peak to peak) genlik olarak ölçülür.

**Area:** Aksiyon potansiyelinin pozitif fazının eğri altındaki alanı olarak tanımlanır.

### 3.1.5.2. Elektrokardiyografi kayıt tekniği

Kalbin elektriksel aktivitesi BIOPAC MP 100 Veri Toplama Sistemi Versiyon 3.5.7 (Santa Barbara, USA) ile kaydedildi. Sıçanlar uyutulduktan sonra EKG kayıt platformu (Kleinel, 1991) üzerine yerleştirildi ve derivasyon II elektrotları (standart bipolar ekstremite derivasyonu II) bir amplifikatöre (BIOPAC EKG 100B), dışı elektromanyetik olarak yalıtılmış üçlü elektrot bağlantı kablosu ile bağlandı. Kalbin elektriksel aktivitesine ait analog sinyaller, örnekleme hızı 2000 sayısal değer/s olan (2000 Hz) 16 bitlik bir analog/dijital çevirici ile sayısal değerlere dönüştürülüp bilgisayarda depolandı. P dalgası, QRS kompleksi ve T dalgasının süresini ve genliğini, ve ayrıca kalp hızını (R-R aralığı) ölçmek için BIOPAC Acqknowledge Analiz programı (ACK 100 W5.7 versiyon) kullanıldı.

### 3.1.6. İstatistik Değerlendirme

Kontrol ve deney gruplarının istatistiksel analizi için; EMG'de genlik, toplam süre, area ve iletim hızı parametreleri, EKG'de P, QRS kompleksi ve T dalgalarının genlik ve süreleri ile kalp atım sayısı ve sıçan ağırlıkları parametrelerinin deney öncesindeki, manyetik alana maruz bırakıldıktan 3 gün ve 7 gün sonrasında alınan veriler kullanıldı.

Çalışmadaki bütün verileri değerlendirmede önce periyodik olarak alınan 3 ölçüm arasındaki farklar bakımından gruplar tek yönlü ANOVA ile karşılaştırılmış ve anlamlı olan farkların belirlenmesinde periyodik olarak yapılan ölçümlerdeki değişim bakımından grupların farklılık gösterip göstermediğini belirleyen Bonferroni testi kullanılmıştır.

Ayrıca BKAP parametrelerinden genlik ve iletim hızı için tekrarlanan ölçümlü varyans analizi uygulanmıştır.

## 4. BULGULAR

### 4.1. SIÇAN AĞIRLIKLARI

Çalışma boyunca, doz gruplarında (kontrol, 10, 20 ve 30 G) yer alan sıçanların, manyetik alan uygulanmasına başlanmadan hemen önce (1. ölçüm), uygulamanın 4. gününde (2. ölçüm) ve 7. günde uygulama biter bitmez (3. ölçüm) ağırlıkları alınmıştır. Değerler tablo 4.1’de görülmektedir.

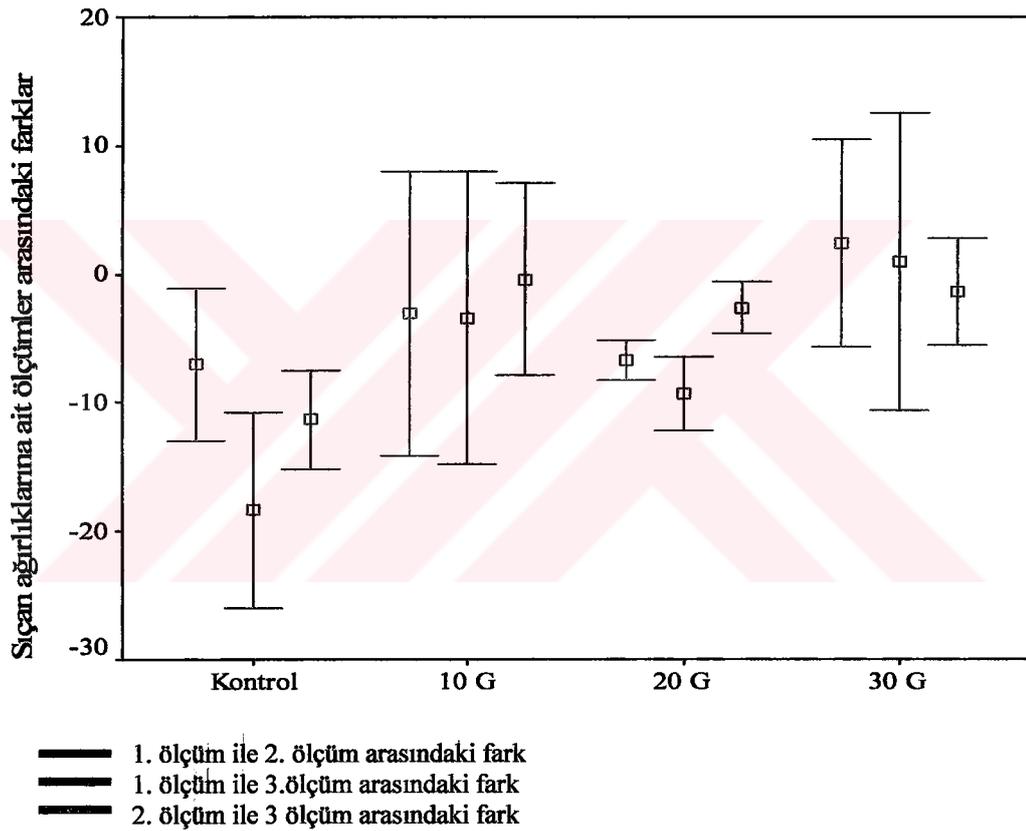
**Tablo 4.1.** Dört doz grubunda üç ölçüm sonucu elde edilen sıçan ağırlıklarının ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri.

Doz grupları	Uygulamalar	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
kontrol (n=10)	1. ölçüm	152.40	17.57	117	170
	2. ölçüm	159.10	17.02	123	177
	3. ölçüm	161.70	15.83	137	188
10 G (n=11)	1. ölçüm	143.70	18.84	140	198
	2. ölçüm	141.30	18.86	147	209
	3. ölçüm	142.70	15.04	154	200
20 G (n=10)	1. ölçüm	148.20	19.91	127	192
	2. ölçüm	155.20	20.51	131	200
	3. ölçüm	166.50	19.21	133	201
30 G (n=10)	1. ölçüm	169.91	15.27	124	165
	2. ölçüm	172.36	17.77	117	173
	3. ölçüm	175.30	21.32	112	181

1. ölçüm: Deney öncesi ağırlık
2. ölçüm: Deneyin 4. günü ağırlık
3. ölçüm: Deney sonundaki (7. günde) ağırlık

İlk olarak sıçan ağırlıkları incelenmiş ve 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasında ağırlık bakımından meydana gelen değişim 4 grupta da benzer oranlarda bulunmuştur. Bir başka ifadeyle ilk 2 ölçüm arasındaki ağırlık farkları bakımından gruplar arasında istatistik olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ( $p=0.162$ ). Buna karşılık 1. ve 3. ölçüm farkları bakımından gruplar karşılaştırıldığında, sadece 30 G’luk grubun ağırlık değerlerinde meydana gelen değişimin kontrol grubundaki değişimden anlamlı düzeyde düşük olduğu görülmüştür ( $p=0.01$ ). Bu durum incelendiğinde kontrol grubunda 3.

periyotta genel olarak bir ağırlık artışı gözlenirken 30 G'luk grupta ise genel eğilimin ağırlık azalması şeklinde olduğu söylenebilir. Diğer 2 gruptaki 1. ve 3. ölçüm farkları ise hem kontrolden hem de 30 G'luk gruptan anlamlı düzeyde farklı bulunmamıştır. Son olarak 4 grupta da 3. ölçüm döneminde 2. ölçüm dönemine göre ağırlık ortalamasında bir artış gözlenmiştir. Ancak kontrol grubunda, ağırlık artış ortalaması diğer 3 gruptan da anlamlı düzeyde yüksek gözlenirken (p değerleri sırasıyla 0.005, 0.039 ve 0.013), diğer 3 grup arasında bu artış anlamlı bir fark oluşturmamıştır (Şekil 4.1).



**Şekil 4.1.** Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklılıklara göre sıçan ağırlık değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.

## 4.2. EMG PARAMETRELERİ

Tablo 4.2 bütün gruplardan üç ölçüm sonucu elde edilen genlik, area, toplam süre ve iletim hızlarının ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerlerini göstermektedir.

**Tablo 4.2.** Deneysel gruplardan her üç ölçüm için elde edilen EMG parametrelerinin sırasıyla ortalama (Ort.), standart sapma (SD.), minimum (Min) ve maksimum (Max.) değerleri.

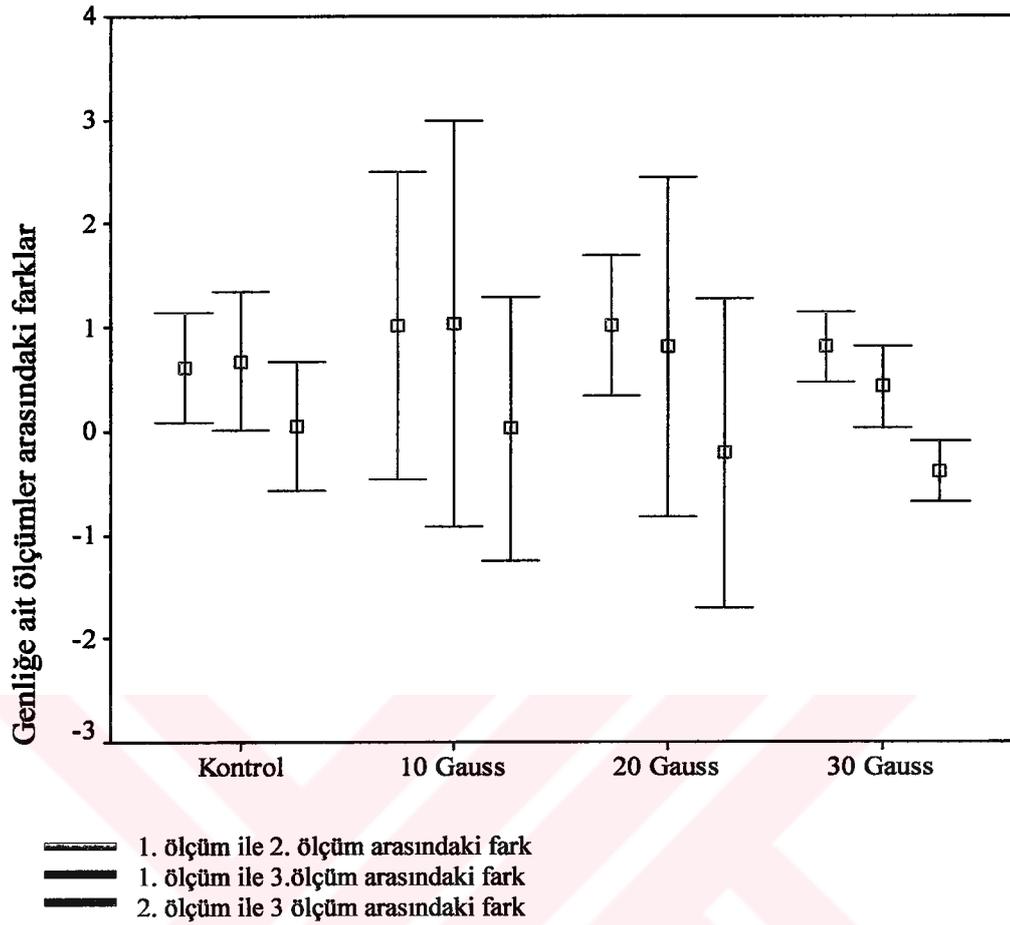
Doz Grupları	EMG Parametreleri	1. ölçüm (deney öncesi)			2. ölçüm (deneyin 4. günü)			3. ölçüm (deney sonrası)					
		Ort.	SD.	Min.	Max.	Ort.	SD.	Min.	Max.	Ort.	SD.	Min.	Max.
Kontrol	Genlik (mV)	7.63	0.60	6.62	8.41	7.01	0.33	6.46	7.48	6.95	0.67	5.81	8.27
	Area (mV.ms)	0.0051	0.0008	0.0040	0.0053	0.0041	0.0003	0.0039	0.0049	0.0040	0.0007	0.0028	0.0055
	Toplam süre (ms)	7.68	0.40	7.20	8.59	6.87	0.24	6.53	7.25	7.01	0.56	5.59	7.70
	İletim Hızı (m/s)	103.50	28.55	22.32	113.64	111.36	0.80	111.11	113.64	94.44	26.84	55.56	111.11
10 G	Genlik (mV)	8.82	2.13	4.90	12.58	7.42	1.48	5.08	10.08	6.61	2.60	0.58	9.76
	Area (mV.ms)	0.0060	0.0009	0.0047	0.0071	0.0065	0.0026	0.0035	0.0130	0.0060	0.0009	0.0047	0.0071
	Toplam süre (ms)	8.58	4.10	2.28	14.00	11.44	4.28	4.12	15.84	11.82	2.18	6.89	14.85
	İletim Hızı (m/s)	35.18	18.67	10.00	55.56	71.15	49.57	6.56	125.00	87.39	37.03	35.71	125.00
20 G	Genlik (mV)	6.35	1.94	2.83	9.95	5.33	1.87	2.35	8.79	5.54	1.83	3.31	8.29
	Area (mV.ms)	0.0046	0.0016	0.0016	0.0075	0.0041	0.0024	0.0009	0.0094	0.0040	0.0017	0.0023	0.0081
	Toplam süre (ms)	10.99	3.10	3.22	13.78	8.35	2.43	4.79	12.35	7.75	0.84	6.49	9.58
	İletim Hızı (m/s)	59.74	46.53	10.00	125.00	101.11	26.75	55.56	125.00	90.56	41.60	13.89	125.00
30 G	Genlik (mV)	6.98	0.64	5.78	7.84	6.17	0.51	5.09	7.13	6.56	0.51	6.03	7.61
	Area (mV.ms)	0.0036	0.0009	0.0024	0.0047	0.0042	0.0009	0.0031	0.0056	0.0039	0.0007	0.0030	0.0053
	Toplam süre (ms)	7.04	0.55	6.00	7.61	7.31	0.27	7.07	7.83	7.08	0.40	6.58	7.79
	İletim Hızı (m/s)	101.90	31.36	38.46	125.00	114.51	23.60	55.56	125.00	108.33	12.50	100.00	125.00

#### 4.2.1. EMG Genlik

Genlikteki değişim incelendiğinde bütün gruplarda 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık ( $p=0.001$ ) olduğu görölmüştür. 1. ölçüm döneminde genlik değerleri 2. ölçüm dönemine göre daha yüksektir. 1. ölçüm ile 3. ölçümler arasında istatistiksel değerlendirmeler yapıldığında, genlik bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu ( $p=0.016$ ) ve yine 1. ölçüm döneminde genlik değerlerinin 3. ölçüm döneminden büyük olduğu saptanmıştır. 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasında ise istatistiksel olarak anlamlı bir fark ( $p=0.58$ ) olmadığı belirlenmiştir.

Gruplar arasında farklılık olup olmaması açısından genlikteki değişim incelendiğinde, 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki farklar bakımından değişim miktarlarının bütün gruplarda benzer olduğu ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark ( $p=0.609$ ) olmadığı görölmüştür. 1. ölçüm ile 3. ölçüm arasında genlik bakımından oluşan değişimler karşılaştırıldığında yine bütün gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark ( $p=0.901$ ) olmadığı ve gruplardaki değişim miktarlarının benzer olduğu saptanmıştır. 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımında da gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark ( $p=0.888$ ) olmadığı belirlenmiştir.

Farklı şiddetlerde uygulanan manyetik alanların kontrole göre genlikte hiç bir değişiklik oluşturmadığı bulunmuştur (Şekil 4.2).



**Şekil 4.2.** Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından genlik değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları

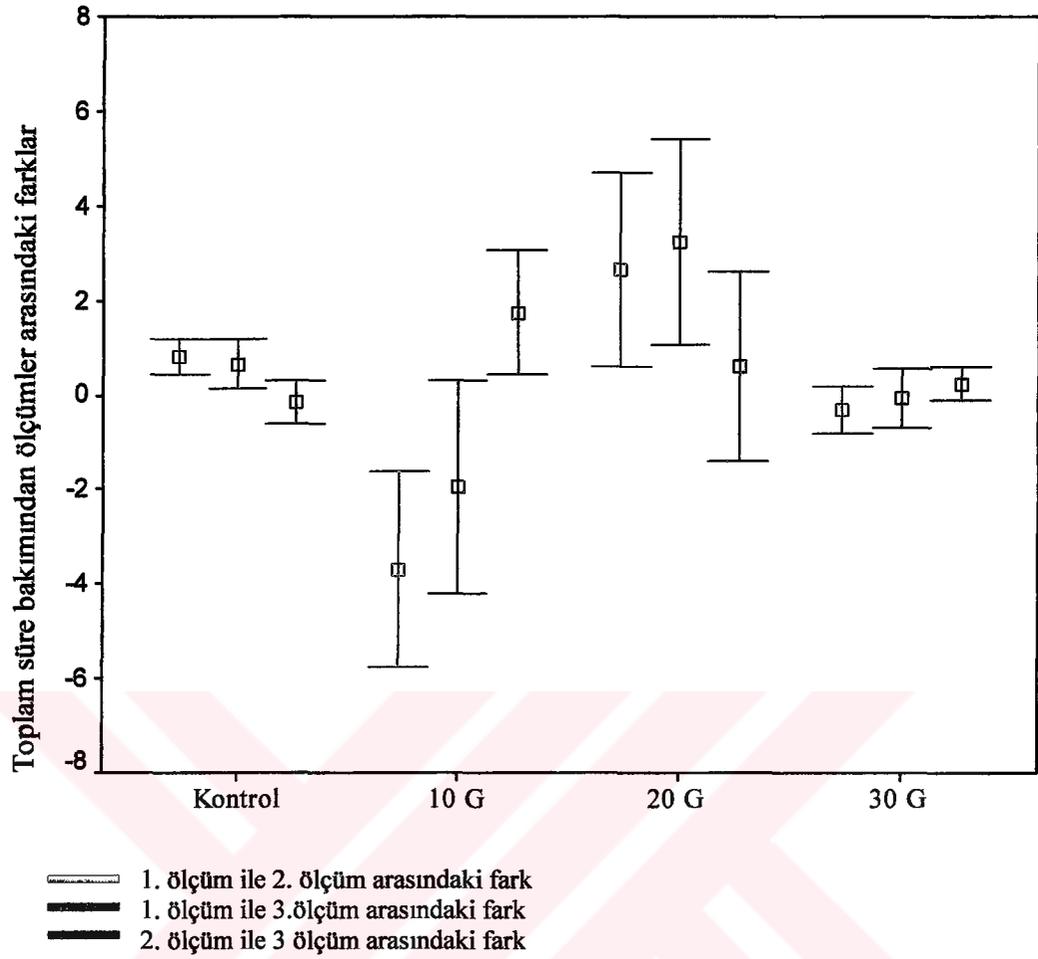
#### 4.2.2. EMG Toplam Süre

Toplam süre açısından 1. ve 2. ölçümler arasındaki farklar bakımından kontrolle 10 G'luk grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmüştür ( $p=0.001$ ). Bu sonuca göre kontrol grubunda 1. ölçüm dönemi daha yüksek bulunurken 10 G'luk grupta 2. ölçüm periyodunda toplam sürenin daha yüksek olduğu söylenebilir. Buna ilaveten söz konusu iki ölçüm dönemi arasındaki değişim kontrol grubunda daha düşük oranda bulunmuştur. Yine 10 G'luk grupta 1. ve 2. ölçüm dönemlerinde elde edilen toplam süre değişimi, 20 ve 30 G'luk gruplardan daha yüksek bulunmuştur (sırasıyla  $p$  değerleri 0.001, 0.008). Ayrıca 20 G'luk grupta toplam sürede bir artış, 30 G'luk grupta ise bir azalış gözlenmiş ve bu değişim bakımından 20 G'luk grubun daha yüksek bir değişime sahip olduğu

belirlenmiştir ( $p=0.001$ ). 20 G şiddetinin 30 G'a göre toplam süreyi arttırdığı söylenebilir.

1. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımından kontrol grubu ile 20 G'luk grup arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu ( $p=0.038$ ) ve hem kontrol grubunda hem de 20 G'luk gruplarda 3. ölçüm döneminde azalma olmasına rağmen 20 G'luk gruptaki değişim kontrolden anlamlı bir şekilde büyüktür. 20 G şiddetinde manyetik alan uygulanmasının kontrole göre toplam süreyi daha fazla azalttığı bulunmuştur. 10 G ile 20 G'luk gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu ( $p=0.001$ ), 10 G'luk grupta toplam sürede 3. ölçüm döneminde artma olmasına karşılık 20 G'luk grupta azalma olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda değişim miktarları göz önünde tutulursa 20 G şiddetinde toplam süredeki değişimin daha büyük olduğu ve 20 G şiddetindeki manyetik alanın 10 G'dan daha etkili olduğu bulunmuştur. 20 G ile 30 G'luk gruplarda 1. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki fark bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu gözlenmiştir ( $p=0.004$ ). 20 G'luk grupta 3. ölçümde azalma ve 30 G'luk grupta ise artış olmasına karşılık, 20 G'luk gruptaki azalma miktarı 30 G'luk gruptan anlamlı bir şekilde büyük bulunmuştur. 20 G şiddetindeki manyetik alan uygulanması 30 G şiddetine göre toplam süreyi daha çok azaltmıştır.

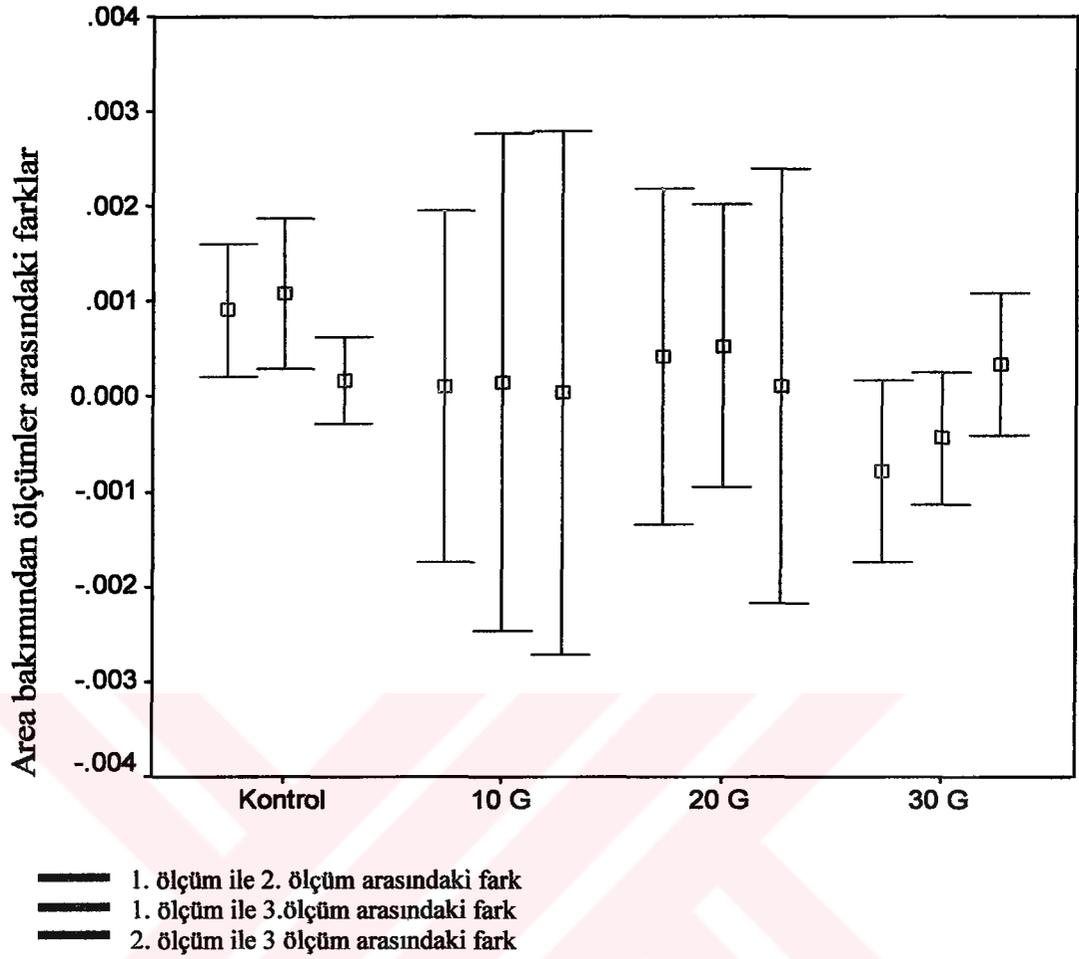
2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımından ise gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür ( $p=0.950$ ). Bir başka ifadeyle gruplardaki değişim miktarlarının benzer olduğu söylenebilir (Şekil 4.3).



**Şekil 4.3.** Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından toplam süre değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.

#### 4.2.3. EMG Area

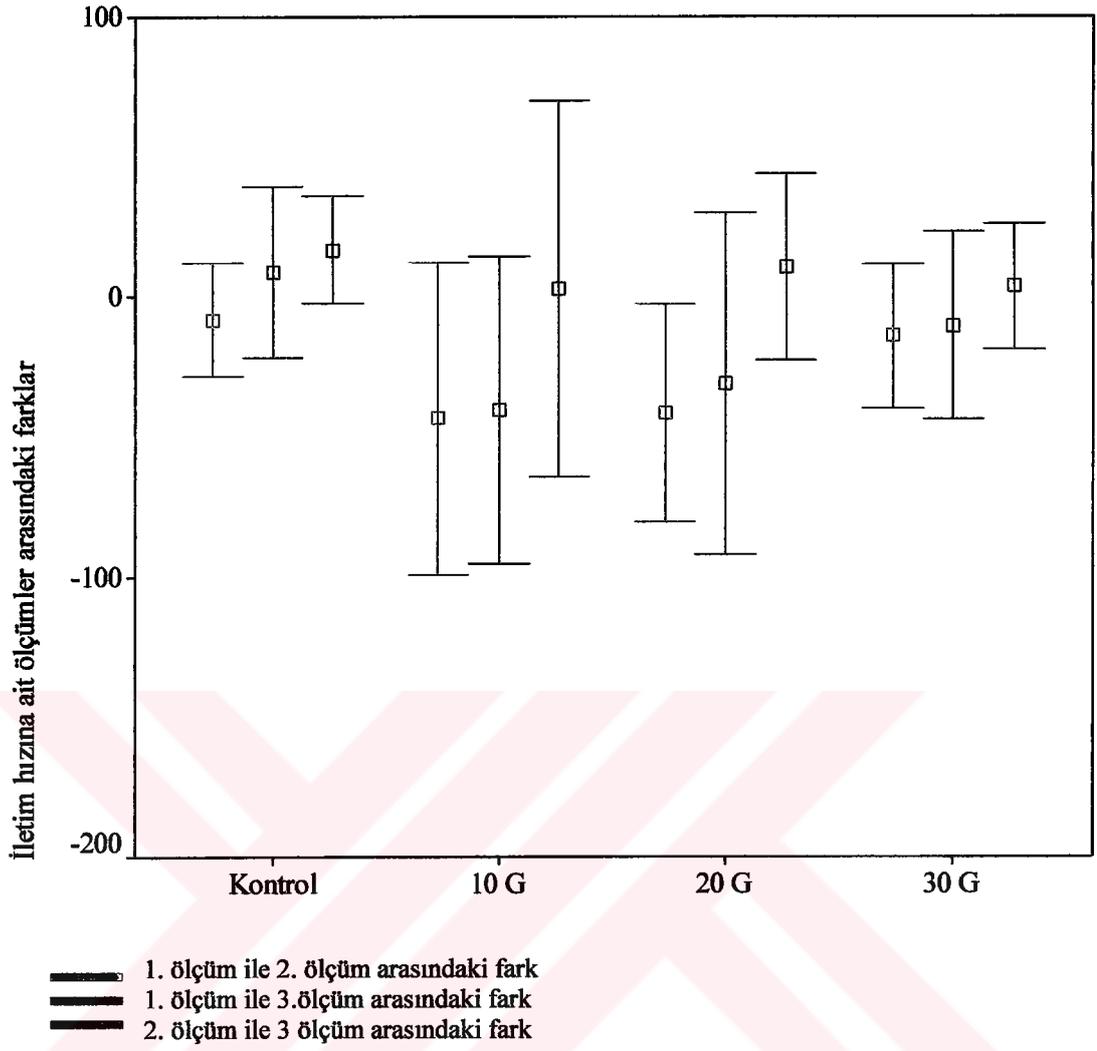
Areadaki değişim incelendiğinde 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki farklar bakımından, değişim miktarlarının bütün gruplarda benzer olduğu ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür ( $p=0.211$ ). 1. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımında da areada gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ( $p=0.356$ ) ve gruplardaki değişim miktarlarının benzer olduğu bulunmuştur. 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımından ise gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır ( $p=0.893$ ). Değişik şiddetlerde uygulanan manyetik alanlar kontrole göre area üzerine herhangi bir etki yapmamıştır (Şekil 4.4).



**Şekil 4.4.** Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından area değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.

#### 4.2.4. EMG İletim Hızı

Grup düzeyinde iletim hızındaki değişim incelendiğinde, 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki farklar bakımından, değişim miktarlarının bütün gruplarda benzer olduğu ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür ( $p=0.208$ ). 1. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımında da gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ( $p=0.322$ ) ve gruplardaki değişim miktarlarının iletim hızı için benzer olduğu bulunmuştur. 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımında ise gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır ( $p=0.690$ ). Değişik şiddetlerde uygulanan manyetik alan kontrole göre iletim hızına hiç bir etki yapmamıştır (Şekil 4.5).



**Şekil 4.5.** Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından iletim hızı değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.

### 4.3. EKG PARAMETRELERİ

Deney öncesi (1. ölçüm), 3 günlük manyetik alan maruziyetinden sonra (2. ölçüm) ve 7. günün sonunda (3. ölçüm) aldığımız EKG'lerde her üç derivasyon kayıtlandı fakat değerlendirmede 2. derivasyon tercih edildi. Bu derivasyonun QRS kompleksi, P ve T dalgası genlik ve süreleri ile kalp atım sayıları için rasgele seçilen dört farklı bölgedeki değerlerin ortalaması alınarak elde edilen veriler, değerlendirmede kullanıldı.

Tablo 4.3'te bütün gruplardan üç ölçüm sonucu elde edilen kalp atım sayısının, QRS kompleksi, P ve T dalgalarına ait genlik ve sürenin minimum ve maksimum değerleri görülmektedir.

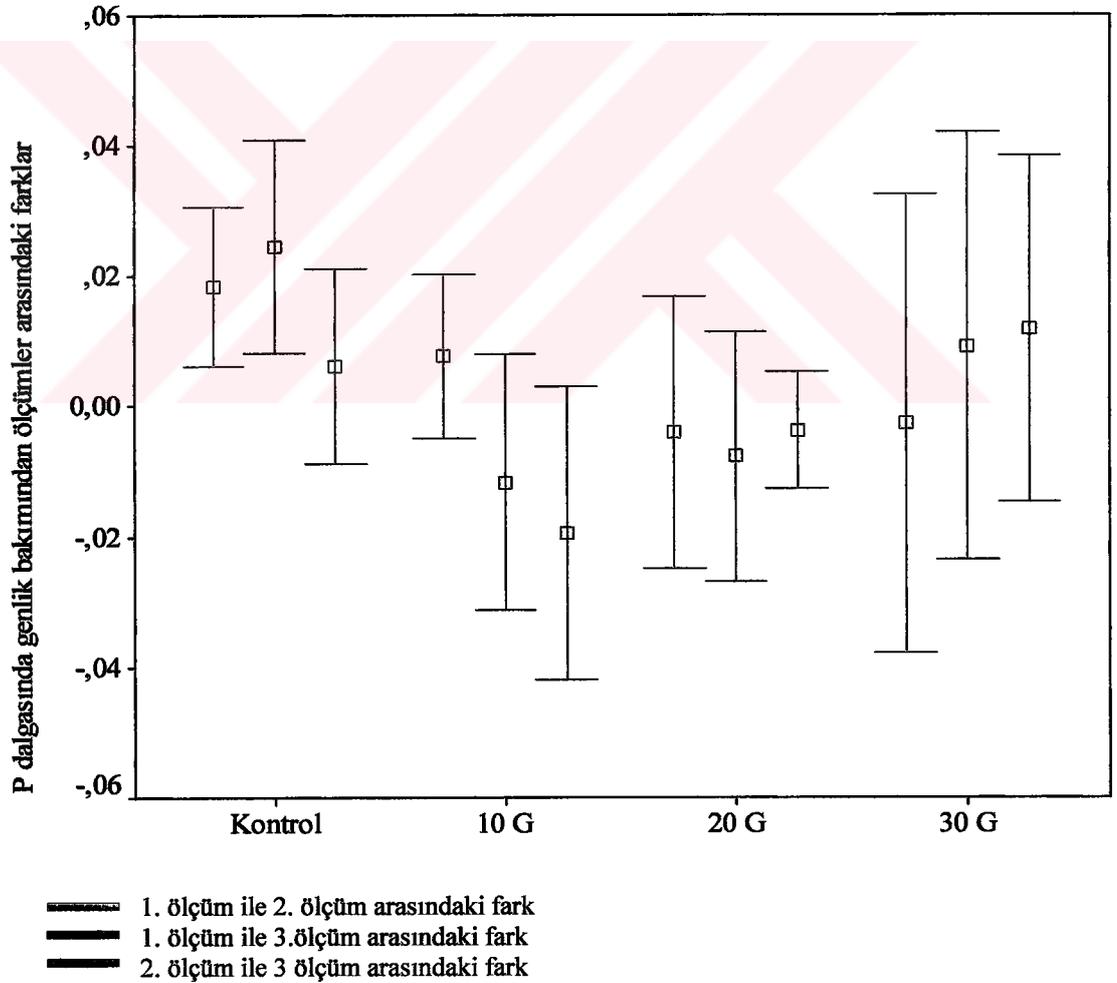


**Tablo 4.3. Bütün grupların her üç ölçümdeki EKG parametrelerindeki ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri**

Değişkenler	Kontrol												
	10 G			20 G			30 G			Max.	Min.	SD.	
Uygulamalar	Ort.	Sd.	Min.	Max.	Ort.	Sd.	Min.	Max.	Ort.				Sd.
P dalgası genlik (mV)	1. ölçüm	0.11	0.04	0.06	0.19	0.05	0.03	0.01	0.09	0.09	0.03	0.03	0.12
	2. ölçüm	0.14	0.04	0.03	0.14	0.04	0.03	0.00	0.08	0.09	0.01	0.07	0.10
	3. ölçüm	0.13	0.03	0.05	0.13	0.06	0.02	0.03	0.09	0.09	0.01	0.07	0.12
P dalgası süre (ms)	1. ölçüm	27.75	4.58	21.50	36.00	30.32	13.14	16.50	59.50	26.05	4.93	19.50	37.50
	2. ölçüm	25.95	4.91	19.00	32.50	22.77	3.94	16.00	28.00	25.05	1.91	21.50	27.00
	3. ölçüm	23.80	4.32	18.00	32.50	21.80	4.32	14.50	27.00	26.10	3.57	23.00	32.00
QRS dalgası genlik (mV)	1. ölçüm	0.35	0.07	0.23	0.52	0.25	0.14	0.08	0.43	0.29	0.11	0.03	0.42
	2. ölçüm	0.34	0.05	0.28	0.44	0.22	0.13	0.05	0.36	0.35	0.06	0.28	0.48
	3. ölçüm	0.34	0.03	0.30	0.40	0.26	0.09	0.13	0.41	0.35	0.06	0.28	0.47
QRS dalgası süre (ms)	1. ölçüm	83.60	7.07	73.50	98.00	104.50	59.60	53.50	220.00	93.10	5.78	84.00	100.00
	2. ölçüm	76.85	10.62	51.50	89.50	67.14	17.23	48.00	107.00	97.65	9.66	84.00	112.00
	3. ölçüm	89.25	12.17	68.00	109.00	65.50	15.27	46.50	94.50	87.35	6.94	73.50	98.50
T dalgası genlik (mV)	1. ölçüm	0.02	0.01	0.01	0.05	0.08	0.05	0.01	0.14	0.01	0.00	0.01	0.02
	2. ölçüm	0.01	0.01	0.01	0.05	0.08	0.07	0.00	0.20	0.01	0.00	0.01	0.01
	3. ölçüm	0.01	0.00	0.01	0.01	0.07	0.06	0.01	0.14	0.01	0.00	0.01	0.02
T dalgası süre (ms)	1. ölçüm	15.25	2.72	10.50	19.00	32.25	14.13	18.50	59.50	14.35	2.93	10.00	18.00
	2. ölçüm	14.38	3.73	10.50	21.50	23.62	5.84	16.50	33.50	12.50	3.54	7.50	18.00
	3. ölçüm	16.10	4.46	11.00	21.50	24.94	6.94	14.00	34.00	15.00	3.90	10.50	21.50
Kalp atım sayısı	1. ölçüm	433.70	37.92	381.00	515.00	415.00	74.35	245.00	500.00	449.10	35.39	395.00	494.00
	2. ölçüm	486.10	24.90	448.00	533.00	443.55	93.73	213.00	530.00	460.30	24.37	418.00	494.00
	3. ölçüm	472.00	33.87	414.00	517.00	467.80	33.57	419.00	533.00	482.50	20.24	455.00	524.00

#### 4.3.1. P Dalgası Genlik

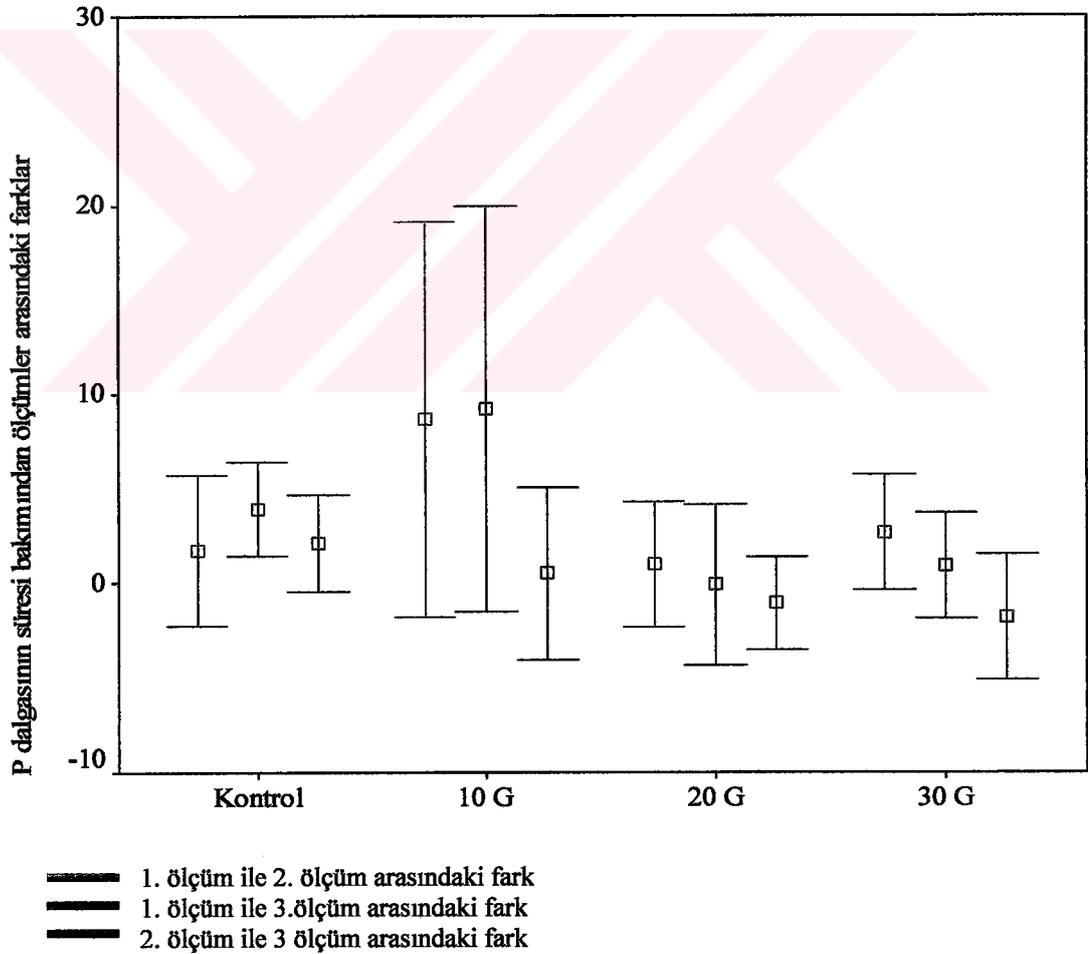
P dalgasının genliği için 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki farklar bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ( $p=0.319$ ), yani gruptaki değişimlerin benzer olduğu bulunmuştur. 1. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımından da istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ( $p=0.058$ ), yani bütün gruplarda aynı oranda değişimler olduğu gözlenmiştir. P dalgasının genliği için 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımından da gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ( $p=0.319$ ), yani bütün gruptaki değişimlerin benzer olduğu saptanmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından P dalgasının genlik değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.

### 4.3.2. P Dalgasının Süresi

EKG'deki P dalgasının süresi için 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki farklar bakımından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ( $p=0.302$ ), yani gruplardaki değişimlerin benzer olduğu bulunmuştur. 1. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımından da istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ( $p=0.080$ ), yani bütün gruplarda aynı oranda değişimler olduğu gözlenmiştir. P dalgasının süresi için 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımından da gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ( $p=0.216$ ), yani bütün gruplardaki değişimlerin benzer olduğu bulunmuştur. Bütün ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından, uygulanan manyetik alan şiddetlerinin P dalgası süresinde hiçbir değişiklik oluşturmadığı saptanmıştır (Şekil 4.7).

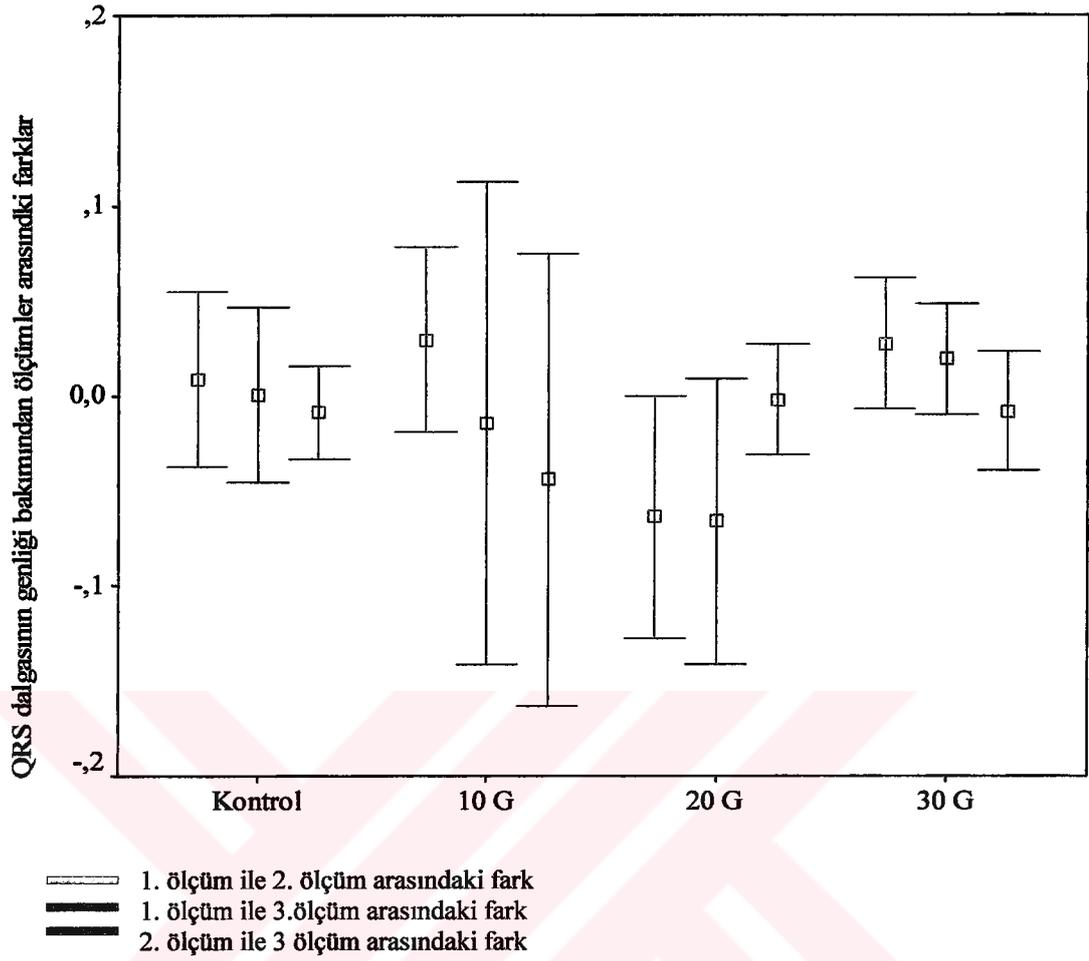


Şekil 4.7. Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından P dalgası süresinin değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.

### 4.3.3. QRS Kompleksinin Genliği

QRS kompleksinin genliği için 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki fark bakımından 10 G'luk grup ile 20 G'luk grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ( $p=0.014$ ). 2. ölçümde 10 G'luk grupta QRS kompleksinin genliğinde azalma olmasına rağmen, 20 G'luk grupta artış olmuş ve 20 G'luk gruptaki bu artışın daha büyük olmasından dolayı 20 G'luk manyetik alan uygulanması 10 G'tan daha etkili bir biçimde QRS kompleksinin genliğini arttırmıştır. 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki fark bakımından 20 G'luk grup ile 30 G'luk grup arasında da istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu bulunmuştur ( $p=0.030$ ). 2. ölçüm döneminde 20 G'luk grubun QRS kompleksi genliğinde artış ve 30 G'luk grupta ise azalma olmuştur. Fakat 20 G'luk gruptaki artma oranı 30 G'luk gruptaki değişimden daha büyük olduğu için 20 G şiddetinde manyetik alan uygulanması 30 G'tan daha etkili bir biçimde QRS kompleksinin genliğini arttırmıştır (Şekil 4.8).

QRS kompleksinin genliği 1. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki fark bakımından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı bulunmuştur ( $p=0.359$ ). Ayrıca QRS kompleksinin genliği için 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki fark bakımından da gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı bulunmuştur ( $p=0.719$ ). Yani hem 1. ölçüm ile 3 ölçüm arasındaki farklar bakımından hem de 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımından bütün gruplardaki değişim oranlarının benzer olduğu söylenebilir (Şekil 4.8).



**Şekil 4.8.** Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından QRS kompleksinin genlik değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.

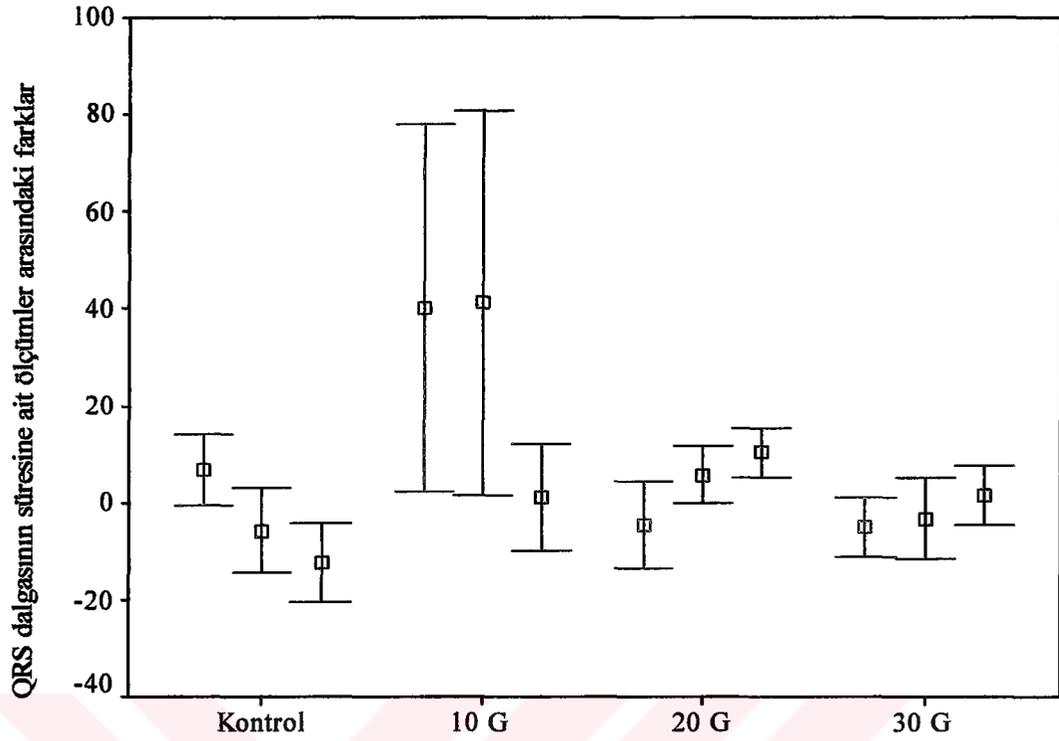
#### 4.3.4. QRS Kompleksinin Süresi

QRS kompleksinin süresi için 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki fark bakımından 10 G'luk grup ile 20 G'luk grup arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu bulunmuş ( $p=0.009$ ), 2. ölçüm döneminde 10 G'luk grupta QRS kompleksinin süresinde azalma olmasına rağmen, 20 G'luk grupta artma olmuştur. Ancak 10 G'luk gruptaki azalmanın çok büyük olmasından dolayı 10 G'luk manyetik alan uygulanmasının 20 G'luk şiddetten daha çok etkili olduğu ve 10 G şiddetinin 20 G'a göre QRS kompleksinin süresini azalttığı görülmektedir. 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki fark

bakımından 10 G'luk grup ile 30 G'luk grup arasında da istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuş ( $p=0.008$ ) olup, 2. ölçüm döneminde 10 G'luk grupta QRS kompleksinin süresinde azalma, 30 G'luk grupta artma görülmektedir. Ancak 10 G'luk gruptaki azalmanın çok büyük olmasından dolayı 10 G'luk manyetik alan uygulanmasının 30 G'luk şiddetten daha çok etkili olduğu ve 10 G şiddetinin 30 G'a göre QRS kompleksinin süresini azalttığı bulunmuştur.

QRS kompleksinin süresinde, 1. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki fark bakımından kontrol grubu ile 10 G'luk grup arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu saptanmıştır ( $p=0.006$ ). Kontrol grubunda 3. ölçüm döneminde QRS kompleksinin süresinde artış olmasına karşılık 10 G'luk grupta azalma olmuştur ve 10 G'luk gruptaki azalma miktarının çok büyük olmasından dolayı 10 G'luk manyetik alan uygulaması kontrol grubuna göre QRS kompleksinin süresini istatistiksel açıdan anlamlı olarak azaltmıştır. 1. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki fark bakımından 10 G ile 30 G'luk gruplar arasında da istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmuş olup ( $p=0.010$ ), 3. ölçüm döneminde 10 G'luk grupta QRS kompleksinin süresinde azalma ve 30 G'luk grupta ise artma olmuştur. Fakat 10 G'luk gruptaki azalma miktarının 30 G'luk manyetik alan uygulaması sonucu oluşan artıştan istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde fazla olmasından dolayı, 10 G'luk manyetik alan uygulaması 30 G'luk alana göre QRS kompleksi süresinin azalmasına neden olmuştur.

2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki fark bakımından ise kontrol grubu ile 20 G'luk grup arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu görülmüştür ( $p=0.001$ ). Kontrol grubunda 3. ölçümde QRS kompleksinin süresinde artış, 20 G'luk grupta da azalma görülmüştür. Ancak 20 G'luk manyetik alan uygulanması kontrol grubuna göre QRS kompleksinin süresini azaltmıştır. Kontrol grubu ile 30 G'luk grup arasında da 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki fark bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmıştır ( $p=0.048$ ). 3. ölçüm döneminde QRS kompleksinin süresi kontrol grubunda yüksek olmasına rağmen 30 G'luk grupta düşüktür. 30 G şiddetinde manyetik alan uygulanması sonucunda kontrol grubuna göre QRS kompleksi süresinin azaldığı görülmüştür (Şekil 4.9).



- 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki fark
- 1. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki fark
- 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki fark

**Şekil 4.9.** Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından QRS kompleksinin süre değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.

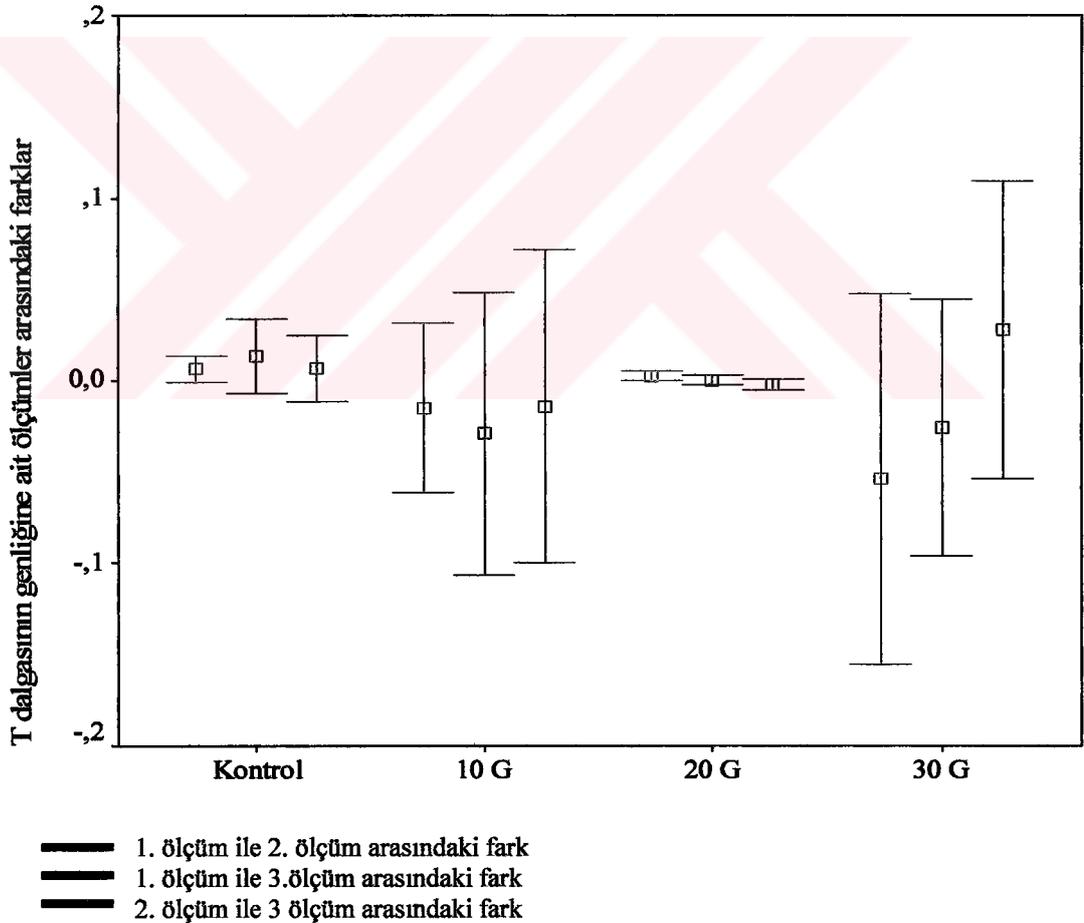
#### 4.3.5. T Dalgası Genlik

T dalgasının genliği için 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki fark bakımından kontrol grubu ile 30 G'luk grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmış olup ( $p=0.028$ ), 2. ölçümde kontrol grubunda T dalgası genliğinde azalma ve 30 G'luk grupta ise artma olmuştur. Ancak 30 G'luk gruptaki artış miktarı yüksek olduğu için 30 G şiddetinde manyetik alan uygulanması kontrol grubuna göre T dalgasının genliğini arttırmıştır. 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki fark bakımından 20 G'luk grup ile 30 G'luk grup arasında da istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmış ( $p=0.041$ ), 2. ölçümde 20 G'luk grupta T dalgası genliğinde azalma olmasına karşılık 30 G'luk grupta ise

artma olmuştur. 30 G'luk gruptaki artış miktarının daha fazla olmasından dolayı 30 G'luk manyetik alan uygulanması 20 G şiddetine göre T dalgası genliğini arttırmıştır (Şekil 4.10).

1. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki fark bakımından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı ve bütün gruplardaki değişimlerin benzer olduğu görülmüştür ( $p=0.124$ ).

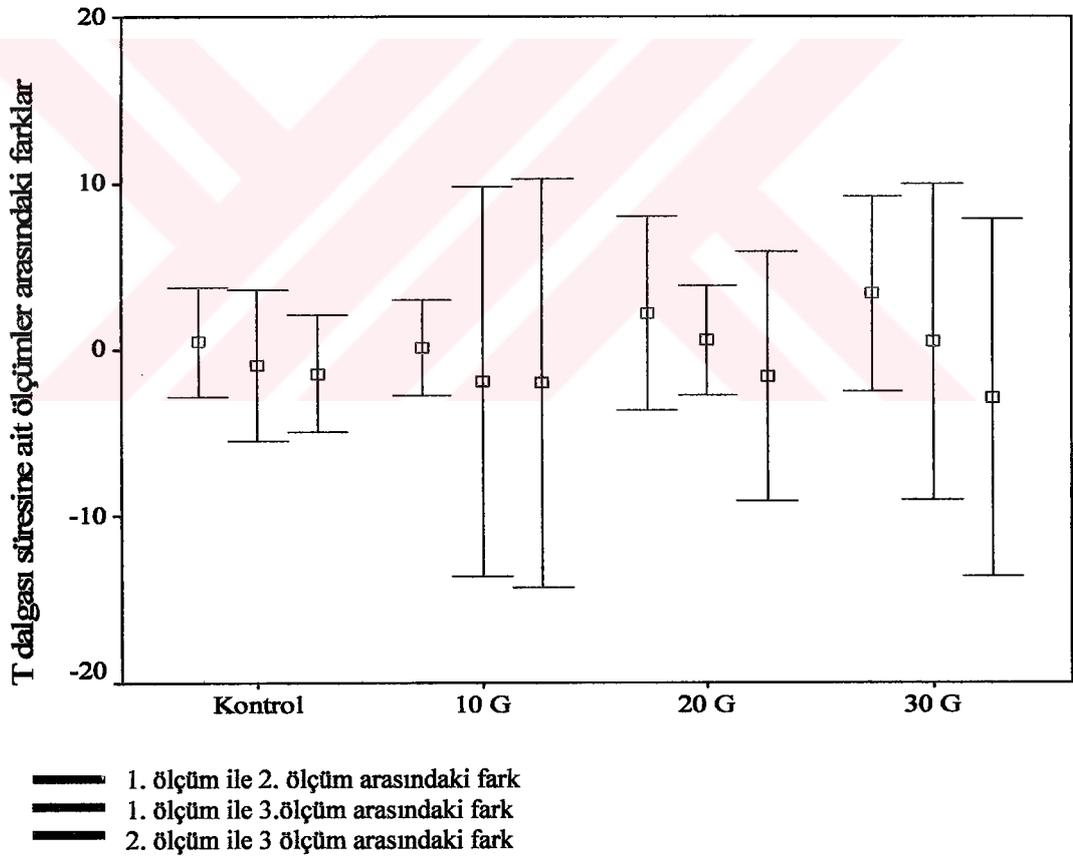
2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki fark bakımından da gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı ve bütün gruplardaki değişimlerin benzer olduğu görülmüştür ( $p=0.808$ ). Sonuç olarak ilk 3 gün boyunca 30 G'luk manyetik alan uygulanması T dalgası genliğini arttırmıştır. Ancak 7 günlük uygulamada bu artış ortadan kalkmış ve hiç bir grupta T dalgasının genliğinde manyetik alanın etkisi gözlenmemiştir.



**Şekil 4.10.** Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından T dalgası genlik değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.

#### 4.3.6. T Dalgasının Süresi

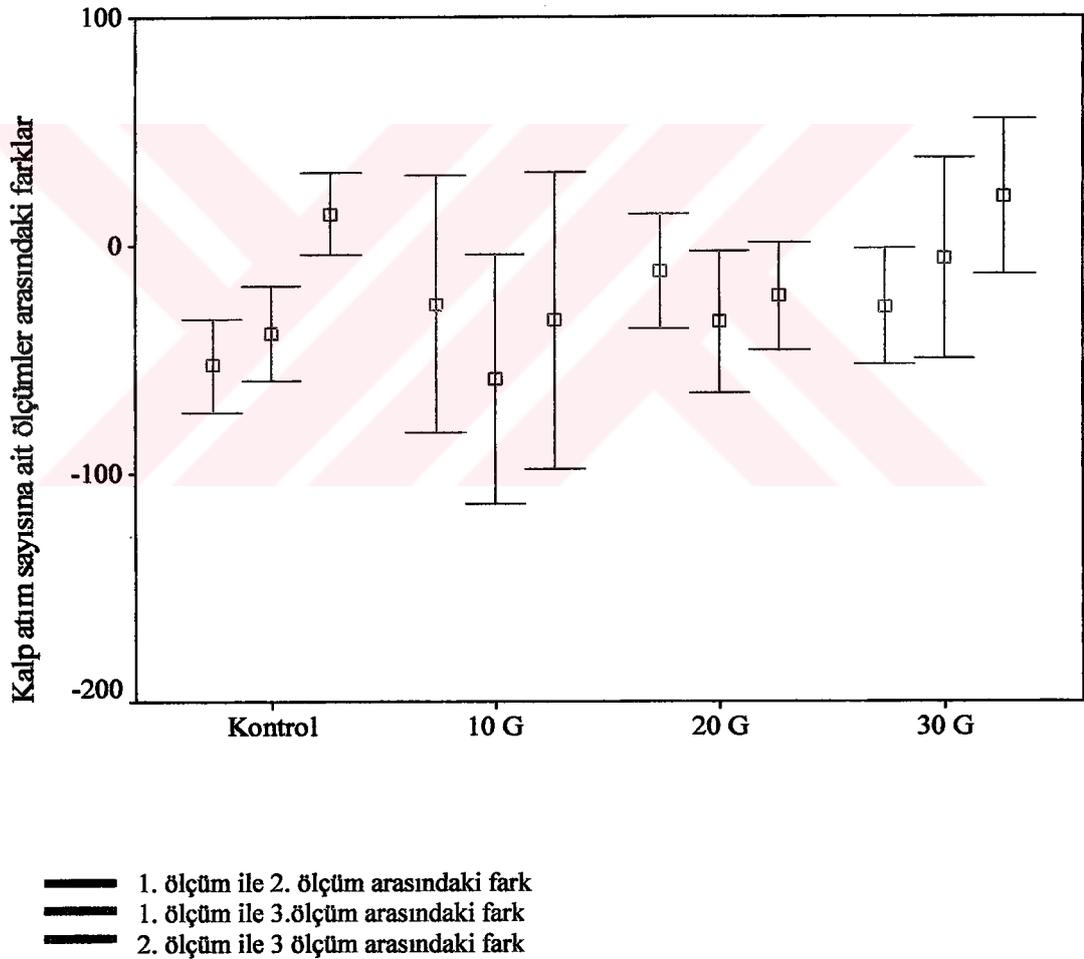
T dalgasının süresi için 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki farklar bakımından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamış ( $p=0.631$ ), yani gruplardaki değişimlerin benzer olduğu saptanmıştır. 1. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımından da istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ( $p=0.727$ ), yani bütün gruplarda aynı oranda değişimler olduğu gözlenmiştir. T dalgasının süresi için 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımından da gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ( $p=0.984$ ), yani bütün gruplardaki değişimlerin benzer olduğu bulunmuştur (Şekil 4.7). Bütün ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından, uygulanan manyetik alan şiddetlerinin T dalgası süresinde hiç bir değişiklik oluşturmadığı saptanmıştır (Şekil 4.11).



**Şekil 4.11.** Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar bakımından T dalgası süre değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.

#### 4.3.7. Kalp Atım Sayısı

Sıçanlardaki kalp atım sayısı için 1. ölçüm ile 2. ölçüm arasındaki farklar bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ( $p=0.310$ ), yani gruplardaki değişimlerin benzer olduğu bulunmuştur. 1. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımından da istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ( $p=0.220$ ), yani bütün gruplarda aynı oranda değişimler olduğu gözlenmiştir. P dalgasının genliği için 2. ölçüm ile 3. ölçüm arasındaki farklar bakımından da gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ( $p=0.092$ ), yani bütün gruplardaki değişimlerin benzer olduğu saptanmıştır (Şekil 4.12).



**Şekil 4.12.** Bütün gruplarda ölçüm dönemleri arasındaki farklar açısından kalp atım sayısı değişimlerine ait ortalama ve %95 ihtimalli güven sınırları.

## 5. TARTIŞMA

Hasar görmüş sinir dokusunun rejenerasyonu üzerine DC veya AC manyetik alanların etkileri konusunda yapılan çalışmalarda, manyetik alana maruziyetin sinir rejenerasyonunu stimüle ettiği belirtilmiştir (4,5,7,49,64). Bununla birlikte periferel sinirlerde çok fazla çalışma yapılmamıştır. Manyetik alanların sıçan ağırlıkları üzerine etkileri konusunda yapılan çalışmalarda da birbiri ile çelişkili sonuçlar ileri sürülmektedir (9,12). Ayrıca kalp üzerine elektromanyetik alanların etkili olduğu bazı makalelerde belirtilmesine rağmen bu konuda da yapılmış çok fazla çalışma bulunmamaktadır.

Çalışmamızda, günlük yaşamda maruz kalınan şehir şebeke frekansında, sinüzoidal, değişik şiddetlerdeki manyetik alanların sıçan ağırlıkları, sinir rejenerasyonu ve kalbin elektriksel aktivitesi üzerine etkilerini araştırdık.

Hücre membran potansiyelindeki değişiklikler aksiyon potansiyeli olarak isimlendirilmekte olup; BKAP, senkronize olarak aktive olmuş kas liflerinin toplam aktivitesini yansıtmaktadır. Aksiyon potansiyeli parametrelerinden genlik, area, toplam süre ve iletim hızı membran  $Na^+$  ve  $K^+$  transportu hakkında bilgi sağlamaktadır. Ayrıca genlik ve area aktive edilmiş sinir liflerinin sayısını saptamak için kullanılabilir (65). Böylece BKAP, stimulus tarafından aktive edilen kas liflerinin fizyolojik bir göstergesi olarak kabul edilebilir.

Çalışmamızda değişik şiddetlerdeki manyetik alan uygulanmasının BKAP parametrelerinden sadece toplam süre üzerinde etkili olduğunu, genlik, area ve iletim hızı üzerinde ise herhangi bir etki oluşturmadığını bulduk.

Bu çalışmada siyatik sinir hasarını izleyen ilk 3 günlük dönemde manyetik alan uygulanmasının kontrolle deney grupları arasında sıçan ağırlıkları bakımından hiç bir farklılık oluşturmadığı, ancak 7 gün boyunca 30 G'luk manyetik alan uygulanmasının sıçan ağırlıklarını azalttığı bulunmuştur. Ancak bu etkinin mekanizması hakkında bir bilgi bulunmamaktadır.

Sıçan ağırlığı üzerine kısa süreli elektromanyetik alan maruziyetinin etkisi ile ilgili bir çalışmada 0,1 mT ve 60 Hz frekansında pulslu alan kullanılmış. Manyetik alan 21 gün boyunca, günde 4'er saat yaşlı ve genç erkek sıçanlara ayrıca dişi sıçanlara

uygulanmış. Sonuçlar bütün gruplarda önce kilo kaybı olduğunu fakat deney sonuna kadar, başlangıçtaki strese bağlı kilo kaybı ortadan kalkıp, kiloda artış olmasına rağmen bu değişimler deney ve kontrol gruplarında farklı olmuştur. Bu farklılığın kontrol grubuna göre deney gruplarında kilo kaybı şeklinde olduğu gösterilmiştir Genç sıçan ağırlıklarında pulslu elektromanyetik alana maruz kalma sonucunda istatistiksel olarak % 2 oranında azalma bulunmuştur. Kontrole göre dişi sıçanlarda ağırlık kaybının erkek sıçanlardan daha fazla olduğu gözlenmiş ve dişi sıçanlarda ağırlık kaybı % 4 oranında bulunmuştur. PEMF maruziyeti, genç sıçanlarda deney başlangıcında görülen strese bağlı kilo kaybını iyileştirme yeteneğini engellemiştir. Yaşlı sıçanların ağırlığı genç kontrol sıçanlara göre deney sonunda daha yavaş düzelmiştir (12). Bu çalışmadaki ağırlık değişimlerinin farklı olması yaş veya cinsiyete, beslenme alışkanlığı ya da metabolizma hızlarının farklılığına bağlı olabilir. Fakat bizim çalışmamızda aynı cins ve yaşta sıçanlar kullanıldığı için böyle bir durum olası değildir. Ayrıca yukarıda belirtilen çalışmada bizim çalışmamızdan farklı manyetik alan şiddeti pulslu olarak ve daha uzun bir süre uygulanmıştır.

Sıçanlarda yapılan bir başka çalışmada, 2 yıl boyunca günde 18.5 saat 60 Hz frekansında 0.02, 2 ve 10 G şiddetinde manyetik alana maruz bırakılan dişi ve erkek deney hayvanlarının vücut ağırlıklarının kontrol grubuna benzer olduğu bildirilmiştir. Aynı koşullarda farelerde yapılan çalışmada da dişi ve erkek deney hayvanlarının vücut ağırlıklarının kontrol grubuna benzer olduğu bulunmuştur (66).

Statik manyetik alanın periferik sinir rejenerasyonu üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada transekte edilen siyatik sinirlere 1 T şiddetinde manyetik alan 4 hafta boyunca günde 12 saat uygulanmıştır. Bu uygulama döneminin sonunda periferik sinir rejenerasyonu üzerine 1 T şiddetinin hiç bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Miyelinli akson miktarının analizi yapıldığında da istatistiksel olarak anlamlı farklılık olmadığı görülmüştür (12). Daha uzun süreli ve daha yüksek şiddette manyetik alan kullanılmasına rağmen, sinir rejenerasyonu üzerine hiç bir etkisi olmaması açısından bu çalışma bizim çalışmamız ile benzerlik taşımaktadır.

Pulslu elektromanyetik alanların sıçan siyatik sinir rejenerasyonu üzerine etkilerinin araştırıldığı bir başka çalışmada 0,3 mT (3 G) ve 2 Hz frekansında PEMF kullanılmıştır. 3-6 gün boyunca günde 4 saatlik bir uygulamanın, rejenerasyonu % 22 oranında arttırdığı ve günde 1-10 saat süresince maruziyetlerin sinir rejenerasyonunun

uyarılmasında eşit oranda etkili olduğu saptanmıştır. Aynı çalışmada bir başka grup sıçan, sinir hasarından önce 7 gün boyunca günde 4 saat PEMF'e maruz bırakılmış hasardan 3 gün sonra PEMF'e maruz bırakılmadan izlenmişlerdir. Bu grupta rejenerasyonun önemli bir şekilde arttığı gözlenmiş ve bu ön maruziyetin koşullanma etkisi ileri sürülerek PEMF'in rejenerasyonu dolaylı olarak etkilediği bildirilmiştir (5). Diğer bir çalışmada ise pulslu elektromanyetik alanın intakt sinirler üzerine morfolojik etkileri olmadığı bulunmuştur (67).

Kanje ve ark. tarafından bu konuda yapılan bir başka çalışmada 300  $\mu$ T şiddetinde pulslu elektromanyetik alana maruz kalan sıçanlarda rejenerasyon mesafesinin arttığı gözlenmiştir. Bu artış yaklaşık % 20 civarındadır (31).

Bir başka çalışmaya göre sıçanlar 0.3-1.2 T arasında değişen elektromanyetik alana 15, 30 ve 60 s maruz bırakılıp, maruziyetten önce ve sonra kuyruk sinirinde BKAP'leri kaydedilmiştir. 15, 30 ve 60 s'lik maruziyetler öncesinde ve sonrasında elde edilen BKAP'ler karşılaştırıldığında, 0-1.2 T arasındaki değerlerde 30 ve 60 s için önemli farklılıklar olduğu fakat 15 s maruziyette ise fark olmadığı gözlenmiştir. Böylece yapılan çalışma sonucunda 0.5 T'dan daha büyük ve 30 s'den daha uzun süreli manyetik alana maruziyette önemli değişiklikler olabileceği ve sinir uyarılabilirliğinde ve iletiminde artışın önemli olduğu bulunmuştur. Bu bulgular manyetik alan etkilerinin doza bağlı olabileceğini ve 1.2, 1, 0.9, 0.8 ve 0.6 T şiddetlerine 30 s'den daha fazla maruziyetin güçlü etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Bu sonuç, statik manyetik alanın membran üzerinde bulunan anizotropik moleküllerde rotasyona sebep olabileceği ve böylece membran uyarılabilirliğini değiştirebileceği şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca manyetik alanların etkilerinin dozla ilişkili olduğu, dozun ise hem manyetik maruziyet süresini hem de yoğunluğunu içerdiği bildirilmiştir (11).

Kolosova ve ark.'nın düşük şiddetli elektromanyetik radyasyon etkisini araştırdıkları çalışmalarında sıçanların transekte edilen siyatik sinirleri zedelendikten sonra 54 GHz ve 4 mW/cm<sup>2</sup> şiddetindeki bir manyetik alana maruz bırakılmıştır. Yapılan aksiyon potansiyeli ölçümü ile parametreler belirlenmiş uygulamadan 7 gün sonra rejenerasyon mesafesi ölçülmüş ve kontrol grubuna karşılık manyetik alana maruz kalanlarda düzelmeye eğilim olduğu görülmüştür. Ancak deney grubu ile kontrol grubu arasındaki ölçüm farklılıkları istatistiksel olarak farklı bulunmamıştır. 20 gün süresince manyetik alana maruz kalanlarda yapılan ölçümlerde rejenerasyon mesafesinde

istatistiksel olarak anlamlı bir artış saptanmıştır. Sutur bölgesindeki femoral derinin MWR'ye maruz bırakılması sinir liflerinin rejenerasyonunu hızlandırdığı bulunmuştur. 20. gündeki son uygulamada kontrol hayvanlarıyla deney hayvanlarındaki rejenerasyon mesafeleri karşılaştırıldığında maruz kalanlardaki rejenerasyonda % 32'lik artış gözlenmiştir. Ayrıca maruz kalan hayvanlarda iletim hızı % 26 artmıştır. Bu çalışmada MWR'nin dokular üzerine etkilerinin frekans veya şiddete bağlı olduğu belirtilmektedir (49).

Manyetik alanın iletim hızına ilişkin etkilerinin çok farklı sonuçlar içerdiği yukarıda verilen çalışmalarda bildirilmiştir. Bu konunun netlik kazanması ek çalışmalar gerektirmektedir.

Çalışmamızda tablo 4.2'de görüldüğü gibi farklı şiddetlerde uygulanan manyetik alanların hem 3 günlük maruziyet döneminde hem de 7 günlük uygulama sonunda BKAP genliğinde kontrole göre istatistiksel olarak hiç bir değişiklik oluşturmadığı bulunmuştur. Ancak tablo incelendiğinde 20 ve 30 G şiddetinde manyetik alan uygulanan gruplarda 2. ölçüme göre 3. ölçümde genlikte ortalamalar açısından bir artış görülmekte olup bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı bulunmuştur.

54 GHz ve  $4 \text{ mW/cm}^2$  şiddetindeki bir manyetik alana maruz bırakılan sıçanlarda genlik açısından deney grubunda kontrol grubuna göre anlamlı bir fark bulunmamıştır (49). Cordeiro ve ark.'nın yaptığı çalışmada da 1 T şiddetinde uygulanan manyetik alanın BKAP genliğinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşturmadığı bulunmuştur (9). BKAP genliğinde istatistiksel olarak anlamlı farklılık oluşmaması bakımından her iki çalışma da bizim çalışmamızı desteklemektedir.

Statik manyetik alanın sıçan kuyruğu sinir fonksiyonu üzerine etkisinin araştırıldığı bir başka çalışmada kuyruk sinirinin 30 s'den daha uzun süre ve 0.5 T'den büyük yoğunluklu bir manyetik alana maruz bırakılması sonucu submaksimal olarak uyarılmış BKAP genliğindeki değişimlerin önemli bir şekilde arttığı ifade edilmiştir. Çalışmada manyetik alan uygulanan sinir liflerinde gözlenen rejenerasyonun  $\text{Ca}^{+2}$  iyon değişimleri sonucu olabileceği rapor edilmiştir (11). Bu çalışmada bizim çalışmamıza göre çok daha yüksek şiddette bir manyetik alan kullanıldığından dolayı genlikte artma bulunmuş olabilir.

Çalışmamızda BKAP süresine ilişkin analizler, 10 G'luk manyetik alan şiddetinin 3 gün boyunca uygulanmasının kontrol grubuna göre toplam süreyi

arttırdığını göstermiştir. Aynı zamanda 10 G'luk manyetik alan şiddeti 20 ve 30 G şiddetlerine göre de toplam süreyi arttırmıştır. 20 G şiddetinin de 30 G'a göre toplam süreyi arttırdığı söylenebilir. Bu sonuçlar uygulanan manyetik alan şiddeti arttıkça BKAP süresinin azaldığını göstermektedir. BKAP süresinde görülen artış ise tüm Na<sup>+</sup> kanallarının açık olmadığını ve Na<sup>+</sup> kanallarının açılma-kapanma kinetiklerinin yavaşlamış olduğunu düşündürmektedir. 7 günlük uygulama sonunda ise 20 G şiddetinde manyetik alan uygulanmasının kontrole göre toplam süreyi daha fazla azalttığı bulunmuştur. Toplam sürenin azalması daha fazla sayıda Na<sup>+</sup> kanlının açılması ve Na<sup>+</sup> kanallarının açılma-kapanma kinetiklerinin hızlanmış olabileceğini düşündürmektedir.

Yukarıda belirttiğimiz 54 GHz ve 4 mW/cm<sup>2</sup> şiddetinde manyetik alan uygulanan çalışmada maruz bırakılan sıçanlarda toplam süre açısından da deney grubunda kontrol grubuna göre anlamlı bir fark bulunmamıştır (49).

Çalışmamız sonucunda elde ettiğimiz veriler değişik şiddetlerde manyetik alanın 3 veya 7 günlük uygulanmasının kontrole göre area üzerine herhangi bir etki yapmadığını göstermiştir.

Orgel ve ark.'ı tarafından 1984 yılında yapılan bir çalışmada 15 Hz pulslu elektromanyetik alan uygulanan kedilerden kayıtlanan BKAP areasının kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturmadığı bulunmuştur (68).

Değişik şiddette manyetik alanların kalbin elektriksel aktivitesi üzerine etkilerini incelemek amacıyla kaydedilen EKG verileri, 20 G şiddetindeki manyetik alanın 3 gün boyunca uygulanmasının QRS kompleksinin genliğini diğer deney gruplarına oranla daha fazla arttırdığını göstermiştir. 7 günlük uygulama sonunda ise gruplar arasında istatistiksel olarak farklılık olmadığı gözlenmiştir. Bu sonuca göre QRS kompleksinin genliğinde sadece 3 günlük uygulama sonucunda değişiklikler olduğu söylenebilir ve QRS kompleksinin genliğinin artması ventriküllerde depolarizasyon genliğinin artması anlamına gelir. Depolarizasyonun artması ise membrandaki açık Na<sup>+</sup> iyon kanallarının sayısında bir artış olduğunu düşündürmektedir.

3 günlük uygulama sonucunda 10 G şiddetinin diğer dozlara göre QRS kompleksinin süresini daha etkin bir oranda azalttığı görülmektedir. 7 günlük uygulama sonucunda ise 10 G'luk manyetik alan uygulaması kontrol grubuna göre QRS kompleksinin süresini istatistiksel açıdan anlamlı olarak azaltmıştır. QRS kompleksinin

süresinin azalması ventrikül depolarizasyonunun süresinin azalması, anlamına gelmektedir.

30 G şiddetinde manyetik alanın 3 günlük uygulanması kontrol grubuna göre T dalgasının genliğini arttırmıştır. Ventriküllerin repolarizasyonu T dalgasıdır ve T dalgasının genliğinin artması ise ventrikül repolarizasyonun voltajının artması anlamına gelir. 7 günlük uygulama döneminin sonunda T dalgası genliğinde ise gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmamıştır. Değişimler sadece 3 günlük uygulama sonucunda ortaya çıkmıştır.

T dalgasının süresi için 3 veya 7 günlük uygulama sonuçlarına göre bütün gruplarda değişimlerin benzer olduğu ve uygulanan manyetik alan şiddetlerinin bu parametre üzerine hiç bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Sıçanlarda kalp atım sayısı için de 3 veya 7 günlük uygulama sonuçlarına göre uygulanan manyetik alan şiddetlerinin bu parametre üzerine hiç bir etkisinin olmadığı ve bütün gruplardaki değişimlerin benzer olduğu görülmüştür.

Bir çalışmada 2 T şiddetinde sabit manyetik alan uygulanan sıçanların EKG'lerindeki T dalgası genliklerinin % 408 oranında arttığı bulunmuştur. P dalgası ve QRS kompleksinde, kalp hızı ve solunum sayısında ise hiç bir değişiklik gözlenmemiştir. T dalgası genliğinin en düşük 0.3 T şiddetinde değişim gösterdiği bulunmuştur. Sabit manyetik alanda aortik kan akışı tarafından oluşan elektriksel potansiyelin T dalgası genliğini arttırdığı belirtilmektedir (69).

Bir grup gönüllü ile yapılan bir çalışmada ise 50 Hz. Frekanslı, 280 mG şiddetinde manyetik alanın kalp hızı üzerine etkileri araştırılmış ve kalp hızında küçük fakat % 2 oranında önemli bir azalma olduğu görülmüştür. Elektrik işçilerinde ve gönüllü kişilerde yapılan bazı çalışmalarda elektromanyetik alan maruziyeti sonucunda kalp hızının azaldığı, bazı çalışmalarda ise hiç bir etkinin olmadığı bildirilmektedir (70).

1.5 T şiddetinde akut olarak homojen sabit manyetik alan uygulanan dişi yetişkin maymunlarda EKG ve arter içindeki kanın basıncı ölçülmüş, 1 tesladan büyük şiddetlerde T dalgası genliğinde azalma olduğu gözlenmiştir (71).

Sabit manyetik alanın 0.5, 1 ve 1.5 T şiddetlerinin hayvanlar ve gönüllü kişilerde uygulandığı çalışmada sadece QRS kompleksinde değişim olduğu görülmüştür. T dalgasının kısmi artması veya azalması hastanın pozisyonundan kaynaklanmakta olup EKG'deki değişimlerin reversibile (uygulamadan sonra eski haline dönebilen) olduğu ve

ritim değişimlerinin olmadığı gözlenmiştir. 4 T şiddetinde sabit manyetik alanın insan EKG'si üzerine kalıcı bir etkisi olmadığı bulunmuştur (72).



## 6. SONUÇ

Çalışmamızda günlük maruz kalınan manyetik alan şiddetleri kullanarak, hasar oluşturulmuş sıçan siyatik sinirlerinde bu dozlardaki manyetik alanın sinir rejenerasyonu üzerine etkileri ve ayrıca bu dozlardaki manyetik alanın kalbin elektriksel aktivitesinde ve sıçan ağırlığında meydana getirebileceği değişiklikler incelenmiştir. Bu amaçla BKAP ve EKG kaydı olmak üzere elektrofizyolojik yöntemler kullanılmıştır.

Sonuç olarak çalışmamızda uygulanan değişik şiddetlerdeki manyetik alanlardan sadece 30 G'luk şiddetin 7 günlük uygulanmasının sıçan ağırlıklarını azalttığı bulunmuştur. Uyguladığımız şiddetlerden 10 G'luk şiddetin 3 günlük uygulanması BKAP parametrelerinden sadece toplam süreyi arttırdığı ve manyetik alan şiddeti arttıkça BKAP süresinde azalma olduğu görülmüştür. 7 günlük uygulama sonunda ise 20 G'luk manyetik alan BKAP süresini azaltmıştır. Diğer BKAP parametrelerinden genlik, area ve iletim hızı üzerinde ise herhangi bir etki oluşturmadığı bulunmuştur. Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan şiddet ve frekanstaki manyetik alanların sinir iletimi ve uyarılabilirliği üzerine etkisi olmadığı dolayısıyla periferik sinir rejenerasyonunu etkilemediği bulunmuştur.

QRS genişliğinde sadece 20 G'luk manyetik alanın 3 gün uygulanması sonucu artış olduğu görülmüştür. QRS kompleksinin süresi için ise 10 G'luk manyetik alan şiddetinin, 7 günlük uygulanmasının QRS kompleksinin süresinde azalmaya neden olduğu bulunmuştur. QRS kompleksinin süresindeki azalma kalp atım sayısındaki artışla ilişkilidir fakat sıçanlarda kalp atım sayılarında bir artış olmasına rağmen bu artışın anlamlı olmadığı gözlenmiştir. Bu sonuç 50 Hz frekansındaki 10, 20 ve 30 G şiddetlerinin kalbin elektriksel aktivitesi üzerinde etkili olmadığını göstermektedir.

Bu çalışmanın 10, 20 ve 30 G'luk şiddetler kullanılarak daha uzun maruziyet süreleri için tekrarlanması düşünülmektedir.

Manyetik alanların biyolojik sistemler üzerine etkileriyle ilgili çelişkili sonuçlar için daha ileri araştırmalara gereksinim vardır.

## KAYNAKLAR

1. **Pehlivan F.** Biyofizik. Ankara: Hacettepe Taş Kitapçılık, 1997.
2. **Canseven AG.** Değişik şiddet ve süreli magnetik alanların deri hidroksiprolin seviyesine etkisi. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 1998.
3. **Atalay NS.** Elektromanyetik kirlilik ve etkileri, korunma yöntemleri, WHO uluslararası elektromanyetik alan projesi, ulusal ve uluslar arası politikalar, 1999.
4. **Repacholi MH, Greenebaum B.** Interaction of static and extremely low frequency electric and magnetic fields with living systems: health effects and research needs. *Bioelectromagnetics*, 1999; 20:133-160.
5. **Sisken BF, Kanje M , Lundborg G, Herbst E, KURTZ W.** Stimulation of rat sciatic nerve regeneration with pulsed electromagnetic fields. *Brain Res.* 1989; 24:485(2):309-16.
6. **Mansouri B, Pakdaman H, Yassami S, Karimzadeh.** The changes in the transmission functioning of the ulnar nerve in a high power magnetic field. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2001; 41(5):269-71.
7. **Hong CZ.** Static magnetic field influence on human nerve function. *Arch Phys Med Rehabil* 1987; 68(3):162-4
8. **Leisner S, Shahar R, Aizenberg I, Lichovsky D, Levin-Harrus T.** The effect of short-duration, high-intensity electromagnetic pulses on fresh ulnar fractures in rats. *Plast Reconstr Surg* 1989; 83 (2):301 -8
9. **Cordeiro PG, Seckel BR, Miller CD, Gross PT, Wise RE.** Effect of a high-intensity static magnetic field on sciatic nerve regeneration in the rat. *Plast Reconstr Surg* 1989; 83(2):301-8
10. **Byers JM, Clark KF, Thompson GC** Effect of pulsed electromagnetic stimulation on facial nerve regeneration . *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1998; 124(4):383-9
11. **Hong CZ, Harmon D, Yu J.** Static magnetic field influence on rat tail nerve function. *Arch Phys Med Rehabil.* 1986; 67(10):746-9.
12. **Sandrey MA, Vesper DN, Johnson MT, Nindl G, Swez JA, Chamberlain J, Balcavage WX.** Effect of short duration electromagnetic field exposures on rat mass. *Bioelectromagnetics.* 2002; 23(1):2-6.

13. **Erdik E.** *Elektrik ve Manyetizma*. Cilt 3, İstanbul: Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Matbaa teknisyenleri Basımevi, 1975: 207.
14. **Bueche F, Wallach DL.** *Technical Physic*. 4th Edition, Canada: John Wiley& Sons, 1994: 426-431.
15. **Blatt Frank J.** *Principles of Physics*. 3th Edition Boston Allyn & Bacon 1989: 427-524.
16. **Demirtaş ÖC.** Çeşitli enerji türlerinin bakterilerin üremeleri üzerine etkileri. Doktora tezi, Dicle Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 2003.
17. **Guru Bhag Singh, Hızıroğlu Hüseyin R.** *Electromagnetic Field Theory Fundamentals* United States of America. International Thomson Publishing 1998.
18. Static Electromagnetic fields and human health: Intro, <http://www.mcw.edu/gcrc/cop/static-fields-cancer-FAQ/toc.html> ; Erişim tarihi: 1 Mart 2004.
19. **Serway RA , Beichner RJ , Fizik -2.** Editör: Çolakoğlu K. Beşinci Baskıdan Çeviri. Palme Yayıncılık, 2002: 911-945.
20. Definitions, Erişim: <http://www.umich.edu/~radinfo/introduction/terms.html> Erişim tarihi: 6 Şubat 2004.
21. Electromagnetic spectrum, Erişim: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html> Erişim tarihi: 1 Mart 2004.
22. İonizing Radiation, Erişim: <http://www.noradcorp.com/emfs101.htm> Erişim tarihi: 12 Şubat 2004.
23. Alpha Radiation, Erişim: <http://www.orau.gov/reacts/alpha.htm> Erişim tarihi: 12 Şubat 2004.
24. Beta Radiation, Erişim: <http://www.orau.gov/reacts/beta.htm> Erişim tarihi: 16 Şubat 2004.
25. Gamma Radiation, Erişim: <http://www.physics.isu.edu/radinf/gamma.htm> Erişim tarihi: 21 Şubat 2004.
26. **Önen S.** *Radyasyon Biyofiziği*. İstanbul: İ. Ü. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, 1993: 13-15.
27. **Şeker ŞS, Çerezci O.** *Elektromanyetik Alanların Biyolojik Etkileri, Güvenlik Standartları Ve Korunma Yöntemleri*. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, 1991: 134.
28. **Earth's Magnetic Field** Erişim: <http://members.efn.org/~biomag/def.html> Erişim tarihi: 9 Mart 2004.

29. Magnetic Field Erişim: <http://scienceworld.wolfram.com/physics/H.html> Erişim tarihi: 10 Mart 2004.
30. Coil Erişim: <http://webphysics.davidson.edu/faculty/dmb/Helmholtz/HelmholtzCoils.html> Erişim tarihi: 13 Nisan 2004.
31. Kanje M, Rusovan A, Sisken B, Lundborg G. Pretreatment of rats with pulsed electromagnetic fields enhances regeneration of the sciatic nerve. *Bioelectromagnetics*, 1993; 14:353-359.
32. Atef MM, Elhasat MSA, Elkareem A, Aida S, Fadel MS. Effects of a static magnetic field on haemoglobin structure and function. *Int J Biol Macromol* 1995; 17:105-111.
33. Azanza, MJ, Del Moral A. Cell membrane biochemistry and neurobiological approach to biomagnetism. *Prog Neurobiol*. 1994; 44:517- 601.
34. Kocatürk U. Açıklamalı Tıp Terimleri Sözlüğü, 3. Basım, Ankara: Sevinç Matbaası, 1986.
35. Al -Khlaiwi T, Sultan M. A. Association of mobile phone radiation with fatigue, headache, dizziness, tension and disturbance in Saudi population. *Saudi Med. J.* 2004; 25(6):732-736.
36. Hazırlayan TÜBİTAK Elektromanyetik Dalgalar Ve İnsan Sağlığı, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, 2001: ISBN 975 - 403 - 237 - 8.
37. Panagopoulos DJ, Karabarbounis A, Margaritis LH. Mechanism for action of electromagnetic fields on cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2002; 298: 95-102.
38. Savitz DA, Loomis DP. Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. *Am J Epidemiol*, 1996; 144(2):205.
39. Floderus B, Persson T, Stenlund C, Wennberg A, Ost A, Knave B. Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors: a case-control study in Sweden. *Cancer Causes Control*, 1993; 4(5):465-76.
40. Feychting M, Forssen U, Floderus B. Occupational and residential magnetic field exposure and leukemia and central nervous system tumors. *Epidemiology*, 1997; 8(4):384-9.
41. Sobel E, Dunn M, Davanipour Z, Qian Z, Chui HC. Elevated risk of Alzheimer's disease among workers with likely electromagnetic field exposure. *Neurology*. 1996; 47(6):1477-81.
42. Wilson BW. Chronic exposure to ELF fields may induce depression. *Bioelectromagnetics*. 1988; 9(2):195-205.

43. **Topçu C, Gürbilek M, Aköz M, Açıkgözoğlu S.** Effect of magnetik fields on the Na<sup>+</sup> K<sup>+</sup>-ATPase activity of eritrocyte membran and the levels of malondialdehyde and glutathione. *T Klin J MED Res*, 2002; 20:119-124.
44. **Hossmann KA, Hermann DM.** Neurological effects of microwave exposure related to mobile communication. *J Neurol Sci*, 1997; 6;152(1):1-14.
45. **Kim SS, Shin HJ, Eom DW, Huh JR, Woo Y, Kim H, Ryu SH, Suh PG, Kim MJ, Kim JY, Koo TW, Cho YH, Chung SM.** Enhanced expression of neuronal nitric oxide synthase and phospholipase C-gamma1 in regenerating murine neuronal cells by pulsed electromagnetic field. *Exp Mol Med*, 2002; 34(1), 53-59.
46. **Alberto Albertini, Patrizia Zucchini, Giorgio Noera** Protective Effect of Low Frequency Low Energy Pulsing Electromagnetic Fields on Acute Experimental Myocardial Infarcts in Rats. *Bioelectromagnetics*. 1999; 20(6):372-7.
47. **Tofani S, Ferrara A, Anglesio L, Gilli G.** Evidence for genotoxic effects of resonant ELF magnetic fields. *Bioelectrochem Bioenerg*, 1995; 36:9-13.
48. **Formica D, Silvestri S.** Biological effects of exposure to magnetic resonance imaging: an overview, *BioMedical Engineering OnLine*, 2004; 3:11.
49. **Kolosova LI, Akoev GN, Avelev VD, Riabchikova OV, Babu KS.** Effect of low-intensity millimeter wave electromagnetic radiation on regeneration of the sciatic nerve in rats. *Bioelectromagnetics*, 1996; 17(1):44-7.
50. **Eraslan G, Akdoğan M.** The effect of an elektromagnetik field (60-90 Hz and 5 m T) on blood electrolyte ( Ca<sup>++</sup>, P<sup>+++</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>) levels in male mice. *Türk J.Vet Anim Sci (Tübitak)*, 2002; (26): 1233-1236.
51. **Eraslan G, Akdoğan M.,** The effect of an elektromagnetik field (60-90 Hz and 5 m T) on blood electrolyte levels in diurnal rhythm. *Türk J.Vet Anim Sci*, 2002; (26): 1243-1247.
52. **Ichioaka S, Minegishi M, Iwasaka M, Shibata M, Nakatsuka T, Harii K, Kamiya A, Ueno S.** High-intensity static magnetic fields modulate skin microcirculation and temperature in vivo. *Bioelectromagnetics*. 2000; 21(3):183-8.
53. **Smith Thomas L, Wong-Gibbons D, Maulsby J.** Microcirculatory effects of pulsed electromagnetic fields. *Journal of Orthopaedic Research*, 2004; 22(1):80-84.
54. **Elbetieha A, AL-Akhras MA, Darmani H.** Long-Term Exposure of Male and Female Mice to 50 Hz Magnetic Field: Effects on Fertility. *Bioelectromagnetics*, 2002; 23:168-172.
55. **Black David R, Heynick Louis N,** Radiofrequency (RF) effects on Blood Cells, Cardiac, Endocrine, and Immunological Functions *Bioelectromagnetic.*, 2003; 6:187-195.

56. **Obo M, Konishi S, Otaka Y, Kitamura S.** Effect of magnetic field exposure on calcium channel currents using patch clamp technique. *Bioelectromagnetics*, 2002; 23:306-314.
57. **Çağatay G, Soydan İ.** *Klinik Kardiyoloji*. 1. Baskı, İzmir: Saray Medikal Yayıncılık, 1997:1-10.
58. **Uçak D.** *Elektrokardiyografi*. İstanbul Üniversitesi Alfa Basım Yayım Dağıtım, 1997: 9-11.
59. **Derivasyonlar Erişim:**  
[http://endeavor.med.nyu.edu/courses/physiology/courseware/ekg\\_pt1/ekgmenu.html](http://endeavor.med.nyu.edu/courses/physiology/courseware/ekg_pt1/ekgmenu.html) Erişim tarihi: 18 Mayıs 2004.
60. **EKG Kağıdı Erişim:** <http://www.utoledo.edu/~xflores/ekgs-interpretation.htm> Erişim tarihi: 21 Mayıs 2004.
61. **Ganong WF.** *Tıbbi Fizyoloji*., İstanbul: Barış Kitabevi, 1999: 54-66.
62. **Arthur C, Guyton MD.** *Fizyoloji*. Cilt 1, Güven Kitabevi Yayınları, 1977: 189-214.
63. **Aminoff Michael J.** *Electromyography in Clinical Practice*. 3th Edition, United States of America, *Churchill Livingstone*, 1998.
64. **Rusovan A, Kanje M.** Stimulation of regeneration of the rat sciatic nerve by 50 Hz sinusoidal magnetic fields. *Exp Neurol*. 1991; 112(3):312-6.
65. **Daube JR.** *Clinical Neurophysiology*. Philadelphia: FA Davis; 1996: 60-68.
66. **U.S. Department Of Health And Human Services -Toxicology And Carcinogenesis Studies Of 60-Hz Magnetic Fields In F344/N Rats And B6c3f Mice.** *NIH Publication*, 1999.
67. **Raji AM.** An experimental study of the effects of pulsed electromagnetic field (diapulse) on nerve repair. *Journal of Hand Surgery*. 1984; 9(2):105-112.
68. **Orgel MG, O'Brien WJ, Murray HM.** Pulsing electromagnetic field therapy in nerve regeneration: an experimental study in the cat. *Plast Reconstr Surg*. 1984; 73(2):173-83.
69. **Gaffey CT, Tenforde TS.** Alterations in the rat electrocardiogram induced by stationary magnetic fields. *Bioelectromagnetics*, 1981; 2(4):357-70.
70. **Sait ML, Wood AW, Sadafi HA.** A study of heart rate and heart rate variability in human subjects exposed to occupational levels of 50 Hz circularly polarised magnetic fields. *Medical Engineering & Physics*, 1999; 21(5):361-369.

71. **Tenforde TS, Gaffey CT, Moyer BR, Budinger TF.** Cardiovascular alterations in Macaca monkeys exposed to stationary magnetic fields: experimental observations and theoretical analysis. *Bioelectromagnetics*, 1983; 4(1):1-9.
72. **Weigl A, Moshage W, Hentschel D, Schittenhelm R, Bachmann K.** ECG changes caused by the effect of static magnetic fields of nuclear magnetic resonance tomography using magnets with a field power of 0.5 to 4.0 Telsa. *Z Kardiol.* 1989; 78(9):578-86.



## ÖZGEÇMİŞ

01 Mart 1971 yılında Mersin’de doğdu. İlkokulu, ortaokulu ve liseyi Mersin’de tamamladı. 1993-1998 yılları arasında Harran Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nde lisans eğitimini tamamladı. 2001 yılında Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyofizik Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi kadrosu ile Yüksek Lisans eğitimine başladı.

Halen Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyofizik Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.