

**4,5 G CEP TELEFONU RADYASYONUNUN GÖRME SİSTEMİ  
ÜZERİNE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ERKİN ÖZDEMİR**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİYOFİZİK  
ANABİLİM DALI**

**MERSİN  
OCAK - 2019**

# 4,5 G CEP TELEFONU RADYASYONUNUN GÖRME SİSTEMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ERKİN ÖZDEMİR**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİYOFİZİK  
ANABİLİM DALI**

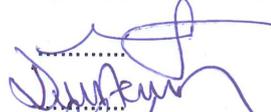
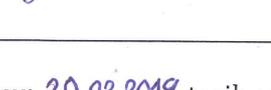
**Danışman  
Prof. Dr. Ülkü ÇÖMELEKOĞLU**

Bu tez, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından  
2017-1-TP2-2169 nolu proje olarak desteklenmiştir.

**MERSİN  
OCAK - 2019**

## ONAY

Erkin ÖZDEMİR tarafından Prof. Dr. Ülkü ÇÖMELEKOĞLU danışmanlığında hazırlanan "4,5 G Cep Telefonu Radyasyonunun Görme Sistemi Üzerine Etkileri" başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 3 Ocak 2019 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği/çokluğu ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Unvanı, Adı ve Soyadı	imza
Başkan	Prof. Dr. Ülkü ÇÖMELEKOĞLU	
Üye	Prof. Dr. Nurten ERDAL	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Selma YAMAN	

Yukarıdaki Jüri kararı Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20.02.2019 tarih ve 2019/65 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



*Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.*

## ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi

beyan ederim.

## ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

3 Ocak 2019 / 3 January 2019



Erkin ÖZDEMİR

## ÖZET

### 4,5 G Cep Telefonu Radyasyonunun Görme Sistemi Üzerine Etkileri

Farklı frekans bandındaki cep telefonlarının yaydığı radyofrekans(RF) dalgaların, insan ve çevre sağlığı üzerine etkilerine ilişkin çok sayıda çalışma mevcuttur. Tüm bu çalışmalar; elektromanyetik alan(EMA)'ların, canlılar üzerine olumsuz etkileri olabileceğini göstermektedir. Geniş frekans bandında çalışan 4,5 G uyumlu cep telefonları internet, haberleşme v.b. birçok işlevi yerine getirmektedir. Bu nedenle; bu tür telefonların kullanım süresinin uzaması, EMA'lara maruziyeti arttıracak bir faktördür. Bu tez çalışmasında 4,5 G uyumlu cep telefonlarının görme sistemi üzerine etkileri; elektrobiyofiziksel, biyokimyasal ve histolojik yöntemler kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmada; görsel uyarılmış potansiyel(GUP) ölçümü, optik sinir antioksidan enzim aktiviteleri ölçümü ve optik sinir ultra yapısı görüntülenmiştir. Deneylerde; 16 sham ve 16 deney grubu olmak üzere 32 adet Wistar albino erkek sıçan kullanılmıştır. Deney grubundaki sıçanlar 45 gün boyunca, günde 2 saat 4,5 G uyumlu cep telefonuna, maksimum 5,4 V/m'lik elektrik alan, maksimum 0,009W/kg'lık SAR ve 1800 MHz'lik EMA'ya maruz bırakılmıştır. Çalışma sonunda; ortalama deri sıcaklığında uygulama öncesi ve sonrası sıcaklık değerleri arasında, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir( $p>0,05$ ). MDA düzeyi; deney grubunda, sham grubuna göre önemli oranda artarken( $p=0,002$ ), antioksidan enzimlerden SOD ve CAT düzeyleri deney grubunda, sham grubuna göre önemli oranda azalmıştır( $p<0,05$ ). Göz içi basıncında; deney grubunda, sham grubuna göre yaklaşık %47 oranında bir azalma olduğu gözlenmiştir( $p<0,05$ ). GUP ölçümü sonucunda ise sham ve deney grupları arasında; P2 dalgasının genliği açısından önemli bir fark bulunmazken( $p>0,05$ ), N2 ve P3 genlikleri ile P2-N2 ve N2-P3 tepeden tepeye genlikleri istatistiksel olarak önemli oranda azalmıştır( $p<0,05$ ). Deney grubunda P2 ve N2 latansları, sham grubuna göre bir değişiklik göstermezken( $p>0,05$ ); P3 latansı, deney grubunda sham grubuna göre daha kısa bulunmuştur( $p<0,05$ ). Elektron mikroskopu ile yapılan incelemeler sonucunda ise; hem sham hem de deney grubunda miyelinli sinir liflerinin, aksonların ve glial hücrelerin normal morfolojiye sahip olduğu izlenmiştir. Sonuç olarak 4,5 G uyumlu cep telefonlarına her gün 2 saat ve 45 gün boyunca maruz kalınmasının; göz içi basıncında, görsel uyarılmış potansiyellerde ve optik sinir antioksidan sisteminde değişikliklere yol açarak görme sistemini olumsuz etkilediği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Radyofrekans dalga, elektromanyetik alan, görme sistemi, optik sinir ve 4,5 G cep telefonu.

**Danışman:** Prof.Dr. Ülkü ÇÖMELEKOĞLU, Mersin Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı, Mersin.

## ABSTRACT

### The Effects of 4,5 G Mobile Phones Radiation on the Vision System

There are many studies on the effects of radiofrequency(RF) waves emitted by mobile phones in different frequency bands on human and environmental health. All these studies; show that electromagnetic fields(EMF) may have negative effects on living organisms. 4,5 G compatible mobile phones, operating in wide frequency band, fulfill many functions,such as internet, communication. Therefore, prolongation of the use of such phones is a factor that increases exposure to EMFs. In this thesis study, the effects of 4,5 G compatible mobile phones on the visual system were investigated by using electrobiophysical, biochemical and histological methods.In this study, visual evoked potential(VEP) measurement, optic nerve antioxidant enzyme activities measurement and optic nerve ultra structure were visualized. In the experiments, 32 Wistar albino male rats (16 sham and 16 experimental groups) were used. The rats in the experimental group were exposed to 4,5 G compatible mobile phone, a maximum of  $5,4 \text{ V} / \text{m}^2$ , a maximum of  $0,009 \text{ W} / \text{kg}$  of SAR and 1800 MHz of EMF, 2 hours per dayfor 45 days.At the end of the study; there was no statistically significant difference in mean skin temperature between the groups before and after the application( $p>0,05$ ). While MDA levels were significantly increased in the experimental group compared to the sham group ( $p=0,002$ ), antioxidant enzymes, SOD and CAT levels were significantly decreased in experimental group compared to sham group ( $p<0,05$ ). In intraocular pressure; there was approximately 47% decrease in the experimental group compared to the control group ( $p<0,05$ ).As a result of VEP measurement between sham and experimental groups; while no significant difference is found in the amplitude of the P2 wave( $p>0,05$ ), the amplitudes of N2 and P3 and the peak-to-peak amplitudes of P2-N2 and N2-P3 decreased significantly( $p<0,05$ ). P2 and N2 latencies in the experimental group did not show a change compared to the control group ( $p>0,05$ ). P3 latency was found to be shorter in the experimental group than the control group( $p<0,05$ ). As a result of investigations made by electron microscope; Myelinated nerve fibers, axons and glial cells have normal morphology in both sham and experimental groups. As a result, exposure to 4,5 G compatible mobile phones for 2 hours each day and 45 days; changes in intraocular pressure, visual evoked potentials and the optic nerve antioxidant system were observed to adversely affect the visual system.

**Key Words:**Radiofrequency wave, electromagnetic field, visual system, optic nerve and 4,5 G mobile phone.

**Advisor:** Prof.Dr.Ulku COMELEKOGLU, Department of Biophysics, University of Mersin, Mersin.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca benim en iyi şekilde yetişmem için büyük çaba harcayan; ilgisi, yardım ve desteğiyle bana yol gösteren ve ışık tutan; insani değerleri ve akademik kişiliği ile de örnek aldığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ülkü ÇÖMELEKOĞLU'na tezimin hazırlanması sürecinde göstermiş olduğu titizlik ve bilimsel katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Anabilim dalımızda görev yapan değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Nurten ERDAL'a ve Sayın Prof. Dr. Belgin BÜYÜKAKILLI'ya yüksek lisans eğitimim boyunca verdikleri her türlü desteklerinden, bilimsel ve akademik katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Deney aşamasında beraber çalıştığım ve yardımlarını eksik etmeyen Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı'ndan Prof. Dr. Tolgay ERGENOĞLU'na ve Arş. Gör. Dilan Deniz KOYUNCU'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmamın uygulama ve analiz basamaklarında yanımda olup, özveriyle çalışması ve katkılarından dolayı Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden Dr. Öğr. Üyesi Evren DEĞİRMENCI'ye teşekkür ederim.

Tez çalışmamdaki spesifik soğurma hızı (SAR) ve elektrik alan dağılımı hesaplanmasında yapmış olduğu katkılarından dolayı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden Dr. Öğr. Üyesi Begüm KORUNUR ENGİZ'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamın deney aşamasında bana destek olan Mersin Üniversitesi Deneysel Araştırma Merkezi'nde görev yapan Sayın Dr. Vet. Hekim Taner YENER'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmamın analiz ve uygulama basamaklarındaki titiz çalışmalarından dolayı Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı'ndan Arş. Gör. Gülşen BAYRAK'a teşekkür ederim.

Tezimin analiz aşamasında bana yardımcı olan Mersin Üniversitesi Eczacılık Fakültesi'nden Arş. Gör. Metin YILDIRIM'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bölümümüzde birlikte ders aldığım ve laboratuvarında birlikte çalışma yaptığım anabilim dalımızdaki bölüm arkadaşlarımdan hepsine desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Doğumumdan bugüne kadariyi-kötü hayatımın her aşamasında maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan kıymetli babam Ahmet Sıtkı ÖZDEMİR'e, kıymetli annem Hanife ÖZDEMİR'e ve çok sevdiğim manevi kardeşim Emine GÖKÜŞ'e verdikleri ve verecekleri desteklerden dolayı sonsuz teşekkürlerimle...

Erkin ÖZDEMİR

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLOLAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR ve SİMGELER	xi
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b>	<b>3</b>
2.1. Elektromanyetik Dalgalar	3
2.2. Radyofrekans Alanlar, Cep Telefonları ve Biyolojik Etkileri	4
2.2.1. Radyofrekans Alanlar	4
2.2.1.1. 1 G Teknolojiler	5
2.2.1.2.2 G Teknolojiler	5
2.2.1.3.2,5 G Teknolojiler	5
2.2.1.4. 3 G Teknolojiler	5
2.2.1.5. 4 G Teknolojiler	6
2.2.1.6. 4,5 G Teknolojiler	6
2.2.2. Radyofrekans-Biyolojik Sistem Etkileşimi	6
2.2.2.1. Etkileşimin Biyofiziksel Mekanizması	7
2.2.2.2. Spesifik Soğurma Hızı (SAR)	8
2.3. Görme Sistemi	9
2.3.1. Anatomik Yapısı	9
2.3.2. Görme Biyofiziği	12
2.3.3. Görsel Uyarılmış Potansiyel	17
2.3.4. Göz İçi Basıncı	20
2.3.5. Radyofrekans (RF) Alanların Görme Sistemine Etkileri	21
2.3.5.1. Lens Üzerine Etkisi ve Katarakt Oluşumu	21
2.3.5.2. Diğer Oküler Etkiler	22
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b>	<b>24</b>
3.1. Deney Hayvanı	24
3.2. Deney Protokolü	24
3.3. Deri Sıcaklığının Ölçülmesi	25
3.4. Elektrik Alan Dağılımı ve SAR Değerinin Hesaplanması	25
3.5. Görsel Uyarılmış Potansiyellerin Kayıtlanması	27
3.6. Göz İçi Basıncının Ölçülmesi	28
3.7. Antioksidan Aktivitenin Ölçümü	29
3.7.1. Lipid Peroksidasyon Ölçümü	29
3.7.2. Glutasyon Peroksidaz Enzim Aktivitesinin Ölçümü	30
3.7.3. Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi	30
3.7.4. Katalaz Aktivitesi	30
3.8. Optik Sinirin Histolojik Olarak Değerlendirilmesi	30
3.8.1. Dokuların Elde Edilişi	30
3.8.2. Elektron Mikroskopik İncelemeler	30
3.9. İstatistiksel Analiz	31
<b>4. BULGULAR</b>	<b>32</b>
4.1. Tüm Vücut Elektrik Alan ve SAR Dağılımı	32

4.2. Deri Sıcaklığı	33
4.3. Biyokimyasal Bulgular	34
4.4. Göz İçi Basıncı	35
4.5. Fizyolojik Bulgular	35
4.6. Histolojik Bulgular	36
<b>5. TARTIŞMA</b>	<b>39</b>
<b>6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b>	<b>43</b>
<hr/>	
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ	50
<hr/>	



## TABLolar DİZİNİ

	SAYFA
<b>Tablo 2.1.</b> Dalgaların frekanslarına göre sınıflandırılması	4
<b>Tablo 4.1.</b> Sham ve deney gruplarında MDA düzeyleri ile SOD ve CAT enzim aktiviteleri	34



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	SAYFA
Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum	3
Şekil 2.2. Elektromanyetik dalgaların yayılım şekli	4
Şekil 2.3. Orbita çukuru	9
Şekil 2.4. Göz küresinin yapıları	10
Şekil 2.5. Gözün yardımcı organları	11
Şekil 2.6. Gözün ön ve arka segmentindeki yapılar	13
Şekil 2.7. Retinada bulunan koni ve rod (çubuk) hücreleri	14
Şekil 2.8. Konveks lensin içinden geçen ışığın kırılması	14
Şekil 2.9. Konveks lensin içinden geçen ışığın oluşturduğu görüntü	14
Şekil 2.10. Gözdeki miyop ve hipermetrop durumu	14
Şekil 2.11. Retinalin izomerizasyonu	15
Şekil 2.12. Işık iletimi	16
Şekil 2.13. Görme yolları	17
Şekil 2.14. GUP'ta izlenecek örnek uyarıcılar	19
Şekil 2.15. GUP'ta kayıtlama olayı	19
Şekil 2.16. GUP'ta elde edilen kortikal yanıt	19
Şekil 2.17. Goldmann aplanasyon tonometresi	20
Şekil 2.18. Tonopen	21
Şekil 3.1. RF enerji uygulama düzeneği	25
Şekil 3.2. CST programıyla SAR hesaplama basamakları	26
Şekil 3.3. Görsel uyarılmış potansiyelleri kaydetme tekniği	28
Şekil 3.4. Elektroansefalogram kayıt tekniğinin şematik gösterimi	28
Şekil 3.5. Tonometre	29
Şekil 4.1. (a) Simulasyonla elde edilen elektrik alan değerleri ve (b) Simulasyonla elde edilen SAR değerleri	32
Şekil 4.2. (a) Deney öncesi sham grubu sıcaklık değerleri, (b) Deney öncesi deney grubu sıcaklık değerleri, (c) Deney sonrası sham grubu sıcaklık değerleri ve (d) Deney sonrası deney grubu sıcaklık değerleri	33
Şekil 4.3. Her iki grup için uygulama öncesi ve sonrasındaki sıcaklık dağılımı	34
Şekil 4.4. Sham ve deney gruplarında ortalama göz içi basıncı değişimleri	35
Şekil 4.5. Fizyolojik bulgular sonucunda sham ve deney grubuna ait GUP yanıtları	36
Şekil 4.6. Sham grubuna ait fotomikrograf. Normal görünümlü miyelinli sinir lifleri (ok), akson (asterisk) ve oligodendrosit. A X5000, B X7500 ve C X15000.	37
Şekil 4.7. Deney grubuna ait fotomikrograf. Normal görünümlü miyelinli sinir lifleri (ok), akson (asterisk) ve oligodendrosit. A ve B X5000, C X10000.	38

## KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
EMA	Elektromanyetik Alan
Hz	Hertz
GHz	Gigahertz
ELF	Extremely Low Frequency-Aşırı Derecede Düşük Frekans
RF	Radyofrekans
Tv	Televizyon
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
G	Generation-Jenerasyon
MHz	Megehertz
m	metre
kHz	kilohertz
kbits/s	kilobit/saniye
Mbit/s	Megabit/saniye
MP3	MPEG-1 Audio Layer III - Film Uzmanlar Grubu Ses Katmanı 3
MB	Megabayt
CD	Compact Disc
IMT-Advanced	International Mobile Telecommunications-Advanced
Gbits/s	Gigabit/saniye
eV	elektron volt
J	Joule
SAR	Specific Absorption Rate - Spesifik Soğurma Hızı
EA	Elektrik Alan
RMS	Root Mean Square – Karelerinin Ortalamasının Karekökü
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
FIT	Sonlu İntegrasyon Tekniği
FDTD	Zamanda Sonlu Farklar Yöntemi
MoM	Moment Yöntemi
FE	Sonlu Elemanlar Yöntemi
TLM	İletim Hatları Yöntemi
mm	milimetre
g	gram
PDE	Fosfodiesteraz
GMP	Guanozin Monofosfat
cGMP	Siklik 3',5'-Guanozin Monofosfat
mV	milivolt
ERG	Elektroretinografi
EOG	Elektrookulografi
GUP	Görsel Uyarılmış Potansiyeller
EEG	Elektroensefalografi
µV	mikrovolt
ms	milisaniye
MR	Manyetik Rezonans
GİB	Göz İçi Basıncı
mmHg	milimetre Civa
mW/cm <sup>2</sup>	miliwatt/santimetre kare
W/kg	watt/kilgram
dk	dakika
CW	Pulsu Dalga

PW	Kesikli Dalga
kW/m <sup>2</sup>	kilowatt/metre kare
°C	derece santigrat
mT	mili Tesla
CST	Computer Simulation Technology
mg/kg	miligram/kilogram
kOhm	kilo Ohm
MDA	Melondialdehid
NADP	Nikotinamid adenin dinükleotit fosfat
SOD	Süperoksit Dismutaz
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hidrojen Peroksit
CAT	Katalaz
nm	nanometre
FCC	Federal İletişim Komisyonu
HSP	Isı Şok Proteini
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
miRNA	Mikro Ribo Nükleik Asit
ROS	Reaktif Oksijen Türleri
mmHg	milimetre Civa

---

## 1.GİRİŞ

Elektromanyetik alan (EMA), birbirine dik elektrik ve manyetik alanlardan oluşan alanlardır. EMA'lar; mikrodalgalar dahil olmak üzere 0 Hz ile 300 GHz arasında frekansa sahip statik alanları, dalga boyu çok uzun (ELF, Extremely Low Frequency-Aşırı Derecede Düşük Frekans) alanları ve radyofrekans (RF) alanlarını kapsar. Doğal EMA kaynakları; güneş, bazı uzak yıldızlar ve yıldırımlardır. Doğal olmayan EMA kaynakları ise elektrik akımı taşıyan yeraltı ve yerüstü elektrik hatları, TV (televizyon) ve bilgisayarlar, elektrikli ev aletleri (elektrikli süpürge, saç kurutma makinesi, tıraş makinesi vb.), mikro dalga fırınlar, radyo ve TV vericileri, telsiz haberleşme sistemleri, kablosuz iletişim araçları ve hücresel telefon sistemleridir.

Ülkemizde elektronik haberleşme sektörü giderek büyümektedir. Cep telefonu ve kablosuz iletişim araçları günlük yaşamda yoğun olarak kullanılmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye'deki cep telefonu abone sayısı 2015 yılı sonunda 73,6 milyon olmuştur. Ülkemizin 4,5G (Generation) teknolojisini kullanmaya başlamasıyla, bu teknolojiyi kullanan abone sayısının da giderek artması beklenmektedir. Cep telefonları çalışma frekansları çoğunlukla 900-1800 MHz aralığındadır. Bu da, RF enerjiye karşılık gelmektedir. 4,5G teknolojisiyle birlikte RF EMA'lara maruz kalma olasılığı artmaktadır. Farklı çalışmalarda cep telefonu kullanımının bellek bozukluğu [1], parasempatik sinir aktivitesinde artış [2], tiroid fonksiyonlarında bozulma [3], oksidatif strese artış [4], sinir impulslarında distorsiyon [5], bağışıklık sisteminde zayıflama [6], kan-beyin bariyerinin geçirgenliğinde artış [7], periferik sinirlerde oksidatif stres ve morfolojik değişiklikler [8] gibi fizyolojik fonksiyonlarda bozulmaya yol açtığı bildirilmiştir.

Görme, insan ve hayvanlar için çok önemli bir duyudur. Çevreyle ilgili bilgilerin %70-80 kadarı görme yoluyla edinilir. Görme sistemi; gözler, görme yolu ve görme merkezinden oluşur. Göz, dış ortamla doğrudan ilişkili bir organ olduğundan dolayı; RF alanlara maruz kalma ve bu alanlardan olumsuz etkilenme olasılığı yüksektir. Bizim bilgilerimize göre literatürde 4,5G uyumlu cep telefonlarının görme sistemi üzerine etkisini inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasında, 4,5G uyumlu cep telefonu kullanımının görme sistemi üzerine etkilerinin elektrobiyofiziksel, biyokimyasal ve histolojik yöntemler kullanılarak araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında; görsel uyarılmış potansiyel teknikleri kullanılarak görsel uyarılmış potansiyeller kaydedilmiş, optik sinir antioksidan enzim aktiviteleri ve lipid peroksidasyonu ölçülmüş ve optik sinir ultra yapısında oluşan değişiklikler değerlendirilmiştir.

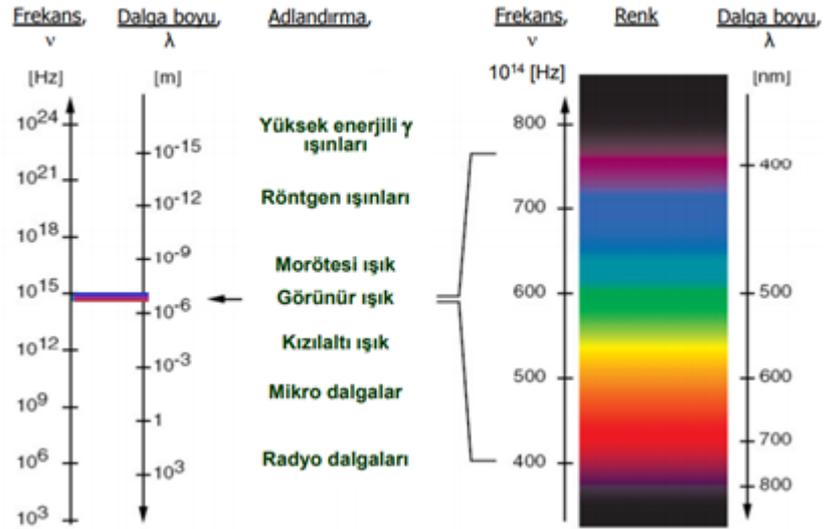
Dünyada ve ülkemizde 4,5/5G teknolojisi kullanımı oldukça yenidir. Bu tez çalışmasında; bu teknolojinin, görmeden sorumlu optik sinir yapısı ve işlevi üzerine etkileri ilk kez gösterilmiştir.



## 2.KAYNAK ARAŞTIRMALARI

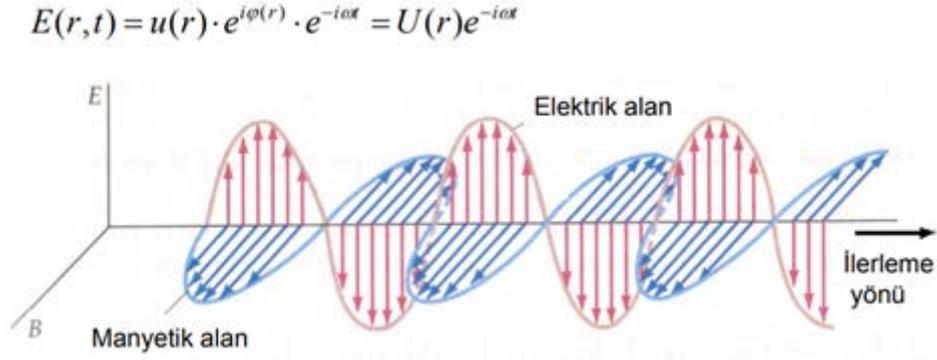
### 2.1. Elektromanyetik Dalgalar

Elektromanyetik dalgaların dalga boyu  $10^5$  m ile  $10^{-13}$  m aralığında değişmektedir (Şekil 2.1) [9].



Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum [9].

Elektromanyetik dalgalar boşlukta  $c=3 \times 10^8$  m/s hızla ve birbirine dik doğrultudaki elektriksel ve manyetik alan değişimleri şeklinde yayılır (Şekil 2.2) [9]. Elektromanyetik dalgalar, hem dalga hem de tanecik özelliği gösterirler [10]. Polarize olabilirler, hızları buldukları ortama göre değişiklik gösterir. Enerji taşıyabilme özelliğine sahiptirler. Boşlukta, bu enerjiyi çok uzaklara taşıyabilirler. Küçük frekanslı dalgaların, dalga teorisine; yüksek frekanslı dalgaların ise tanecik teorisine uygun hareket ettiği bildirilmiştir [9].



Şekil 2.2. Elektromanyetik dalgaların yayılım şekli [9].

## 2.2. Radyofrekans Alanlar, Cep Telefonları ve Biyolojik Etkileri

### 2.2.1. Radyofrekans Alanlar

Radyofrekans, elektromanyetik spektrumda yer alan ve radyo iletiminde kullanılan bir frekanstır. Genel olarak; frekansları 3 kHz ile 300 GHz arasında olan dalgalar radyofrekans dalga olarak isimlendirilir. Bu dalgaların frekanslarına göre sınıflandırılması Tablo 2.1'de verilmiştir [11].

Tablo 2.1. Dalgaların frekanslarına göre sınıflandırılması [11].

Frekans	Bant kodu	Bant tanımı
3kHz-30 kHz	VLF	Çok düşük Frekans
300 kHz-3 MHz	MF	Orta Frekans
30 MHz-300 MHz	VHF	Çok yüksek Frekans
300 MHz-300 GHz	UHF	Ultra Yüksek Frekans
3 GHz-30 GHz	SHF	Süper Yüksek Frekans
30 GHz-300 GHz	EHF	Aşırı yüksek Frekans

Teknolojinin gelişimiyle birlikte günlük yaşamda cep telefonu ve diğer kablosuz iletişim araçlarının kullanımı büyük bir hızla artmıştır. Cep telefonları verdikleri hizmetler için (sesli arama, mesaj gönderme, e-posta, web, TV ve program indirme ve diğerleri) çoğunlukla 900-1800 MHz frekanstaki radyofrekans alanları kullanmaktadır [12].

Hücreli mobil iletişim teknolojilerinin gelişimi 1980'li yıllarda başlamış ve gelişimini hızla sürdürmüştür. Bu gelişime paralel olarak farklı cep telefonu jenerasyonları geliştirilmiştir. Cep telefonu jenerasyonları 1. Jenerasyon (1G); 2. Jenerasyon (2G); 2,5 ve 2,75. Jenerasyon (2,5G ve 2,75G); 3. Jenerasyon (3G); 4. Jenerasyon (4G); 4,5. Jenerasyon (4,5G) ve 5. Jenerasyon (5G) teknolojileri olarak sınıflandırılmaktadır [12].

### **2.2.1.1. 1G Teknolojiler**

Birinci jenerasyon mobil telefonlar hücreli ağ sistemi ve analog veri bağlantı sistemi kullanmaktadır. Güvenlikle ilgili çözümler içermediğinden rahatlıkla dinlenme potansiyeline sahiptir. Veri aktarım olanağına sahip değildir. Bu sorunlara rağmen; geniş kapsama alanı, yeterli iletişim kapasitesi, dolaşım ve hücreler arası geçiş desteğiyle 1980'li yıllarda oldukça kullanışlı bir iletişim sistemi olmuştur. 450 MHz veya 800-900 MHz frekans modülasyonu ile çalışmıştır [12].

### **2.2.1.2. 2G Teknolojiler**

İkinci jenerasyon sistemi de 1G sisteminde olduğu gibi hücreli ağ sistemi kullanır. 1G sisteminden en önemli farkı, analog veri yerine sayısal veri kullanmasıdır. 1990'lı yılların başından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Daha yüksek ses kalitesi, daha büyük kapasite, sesleri ve verileri şifreleme olanağı, kısa veri iletimi gibi olanaklar sağlamaktaydı. Ancak yetersiz hatlar ve bu teknolojinin hatları sürekli meşgul etmesi, kullanımda sorunlara yol açmıştır. 900 veya 1800 MHz frekanslarında çalışmıştır. Herbir frekans kanalının bant genişliği 200 kHz ve veri aktarım hızı 9,6 kbits/s'dir [12].

### **2.2.1.3. 2,5 G Teknolojiler**

İnternet kullanımındaki artış, daha hızlı bilgi indirme kapasitesine sahip kablosuz iletişim ağlarının geliştirilmesiyle sonuçlanmıştır ve bunun sonucunda 2,5G teknolojisi doğmuştur. 2,5G'de veri aktarım hızı 140,8 kbits/s'ye çıkmıştır [12].

### **2.2.1.4. 3G Teknolojiler**

Üçüncü jenerasyon sistemler 1900-2200 MHz frekanslarda çalışmaktadır. Cep telefonu kullanıcılarına bu teknolojiyle video izleme, oyun oynama, internet kullanımı, internetten veri indirme gibi hizmetlerde büyük hız olanağı sağlamıştır. Bu teknolojiye veri aktarım hızı ise

384 kbits/s ile 2 Mbits/s arasında değişmektedir [12]. En önemli dezavantajlarından biri, bazistasyonu sayısını arttırmasıdır.

#### 2.2.1.5. 4G Teknolojiler

Dördüncü jenerasyon sistemler 100 Mbit/s veri aktarım kapasitesine sahiptir. Bu hızla; 100 MP3 dosyasını (yaklaşık 300 MB) 2,4 saniyede, bir film CD'sini (800 MB) 5,6 saniyede aktarabilme özelliğine sahiptir. Bu hız kapasitesiyle çok kanallı yüksek çözünürlüklü TV yayınlarının izlenebilmesi ve cep telefonları aracılığıyla evlerdeki cihazların kontrol edebilme olanağı yakalanmıştır [12].

#### 2.2.1.6. 4,5 G Teknolojiler

Dördüncü jenerasyonun bir üst nesli olan 4,5G olarak bilinen IMT-Advanced, dünyada kullanılan en son mobil haberleşme teknolojisinin genel adıdır. Bu teknoloji daha yüksek hızda, daha düşük gecikme süresi ve yüksek kapasitede mobil internet sağlayan mobil iletişim teknolojisidir. Veri aktarım hızı ise 100Mbit/s'den 1 GBit/s'ye ulaşabilmektedir [12].

#### 2.2.2. Radyofrekans-Biyolojik Sistem Etkileşimi

Radyofrekans dalgalar, diğer elektromanyetik dalgalarda olduğu gibi biyolojik sistemlerle çeşitli etkileşimlere girmektedirler. Bu dalgalar biyolojik dokulardan geçebilmekte, yansıtılabilmekte, kırılabilenkte veya alanın yönünden farklı yönlerde saçılmaya uğrayabilmektedirler. Bu etkileşimler, Maxwell'in elektromanyetik alan denklemleriyle açıklanmaktadır [9]. Genel biçimde Maxwell denklemleri aşağıdaki gibi yazılır:

$$\nabla \times H = \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times E = -\mu_0 \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot E = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \cdot H = 0 \quad (4)$$

$$\epsilon_0 \approx \left(\frac{1}{36\pi}\right) \times 10^{-9} \left[\frac{F}{m}\right] \text{ elektrikgeçirgenlik} \quad (5)$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \left[\frac{H}{m}\right] \text{ manyetikgeçirgenlik} \quad (6)$$

$$\text{Elektrikalan} : E = E_x \hat{X} + E_y \hat{y} + E_z \hat{z} \quad (7)$$

$$\text{Manyetikalan} : H = H_x \hat{x} + H_y \hat{y} + H_z \hat{z} \quad (8)$$

Bu denklemlere göre; zamana bağlı değişen bir manyetik alan, zamana bağlı değişen bir elektrik alanını endüklemektedir. Bir ideal iletken olmayan malzeme içine elektrik alan nüfuz edebilmekte ve bir iletkenlik akımı oluşturabilmektedir ( $J=\sigma E$ ). Bir iletken malzemenin herhangi bir kesitinden geçen akım şiddeti, malzemenin iletkenliğine ve frekansına bağlıdır [9].

Dokularla etkileşen RF dalgaları; hücrelerde RF dalgaının enerjisine, dalga boyuna ve şiddetine bağlı değişikliklere yol açmaktadır. Bu değişiklikler, termal ya da termal olmayan değişiklikler şeklinde olabilmektedir. Termal etkileşimde RF enerji biyolojik sistemler tarafından soğurulmakta ve bu soğurulma sıcaklık artışına yol açabilmektedir [12]. Termal olmayan etkilerde ise sıcaklık artışının bir rolü yoktur.

RF enerji kullanımı; antenler, aplikatörler ve radyatörler aracılığı ile sağlanmaktadır. RF enerjisinin etkisi, uzaklığa bağlı olarak değişmektedir. Enerji, uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Antenden yeterince uzak mesafelerde RF etkisi; sadece uzaklıkla değişmektedir, açığa ve konuma bağlı değildir. Daha kısa mesafelerde enerji uzaklığa ve açığa bağlıdır. Uzak ve yakın alanlarda RF dalgaların biyolojik etkileri farklılık göstermektedir [11].

### 2.2.2.1. Etkileşimin Biyofiziksel Mekanizması

Elektromanyetik enerji, fotonlar ya da kuantalar halinde taşınmaktadır. Fotonun enerjisi  $E=hf$  ile ifade edilmektedir.  $h$  Planck sabiti olup, değeri  $h = 6,625 \times 10^{-34}$  J·s'dir. Bağlıdaki  $f$  ise frekanstır. 1 eV,  $1,602 \times 10^{-19}$  J olup; 1 eV'lik fotonun frekansı ise  $2,418 \times 10^{14}$  Hz'dir. Bu nedenle, daha yüksek frekanslarda foton başına enerji de daha yüksektir. İyonizasyon için veya orbitallerden elektron sökmek için belirli miktarda enerjiye ihtiyaç vardır. Suda, atomik karbon, oksijen ve hidrojen de iyonizasyon oluşturmak için gerekli minimum foton enerjisi 10 ila 25 eV arasında değişmektedir. Bir RF fotonunun enerjisi  $1,24 \times 10^{-5}$  eV'den azdır. Bu nedenle RF dalgalar, iyonizasyon oluşturmamaktadırlar [12].

Radyofrekans alanlar, biyolojik sistemlerde elektriksel yüklerin dağılımını değiştirmektedirler. Doku arayüzlerinde yük birikimi oluşmaktadır. Bu birikim, denge durumuna kadar devam etmekte ve bu olay dipol gevşemesi adı verilen bir duruma yol

açmaktadır. Polar moleküller ve membran yükleri nedeniyle, biyolojik sistemlerde birçok gevşeme süreci gerçekleşmektedir. 100 MHz'in üzerindeki alanlar, doku ve hücreleri etkileyerek alan yönünde yeni osilatör dipollerin oluşumuna neden olmaktadır. Bu olay, hücreler arasında etkileşimlere yol açarak eritrositlerde çökmeye yol açmaktadır. Ayrıca; dipol-dipol etkileşimine neden olabilmektedirler. Dipoller, elektrik alan yönünde yönelmekte ve moleküllerde değişikliğe neden olmaktadır [12].

### 2.2.2.2. Spesifik Soğurma Hızı (SAR)

Kayıplı bir dielektrik malzeme, bir elektrik alan içerisinde bulunursa; iletkenlik akımı

$$J = \sigma E \quad (9)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Canlı için tanımlanan böyle bir ortam ve akımda, canlı bir elektromanyetik alan soğurmaktadır. Soğurulan enerji miktarı, spesifik soğurma hızıyla (SAR) tanımlanır. SAR değeri

$$SAR = \sigma \cdot \frac{E_{RMS}^2}{\rho} \quad (W/kg) \quad (10)$$

bağıntısından hesaplanmaktadır [12]. Burada E, elektrik alan (EA)'ın RMS (Root Mean Square) değeri (V/m);  $\sigma$ , elektriksel iletkenlik (S/m);  $\rho$ , doku yoğunluğudur ( $kg/m^3$ ).

SAR, canlıların elektromanyetik dalga maruziyeti ve bunun oluşturduğu risklerin belirlenmesinde kullanılan önemli bir değişkendir. SAR değeri noktasal değişim göstermekte ve doku yoğunluğuna, doku iletkenliğine, dielektrik sabitine ve doku içindeki EA'yabaglıdır. Bunlar içinde en belirleyici değişken EA'dır. Vücut tarafından absorbe edilen elektromanyetik enerjinin dokularda olumsuz biyolojik etkiler meydana getirmemesi için, SAR değerinin standartlarda belirtilen sınır değerlerini geçmemesi gerekmektedir. Bu sınır değerleri, ICNIRP klavuzu ve ANSI/IEEE standardında tüm vücut için 0.08 W/kg, herhangi küp şeklindeki 10 gramlık doku için 2W/kg ve herhangi küp şeklindeki 1 gramlık doku için 1,6W/kg'dır [12].

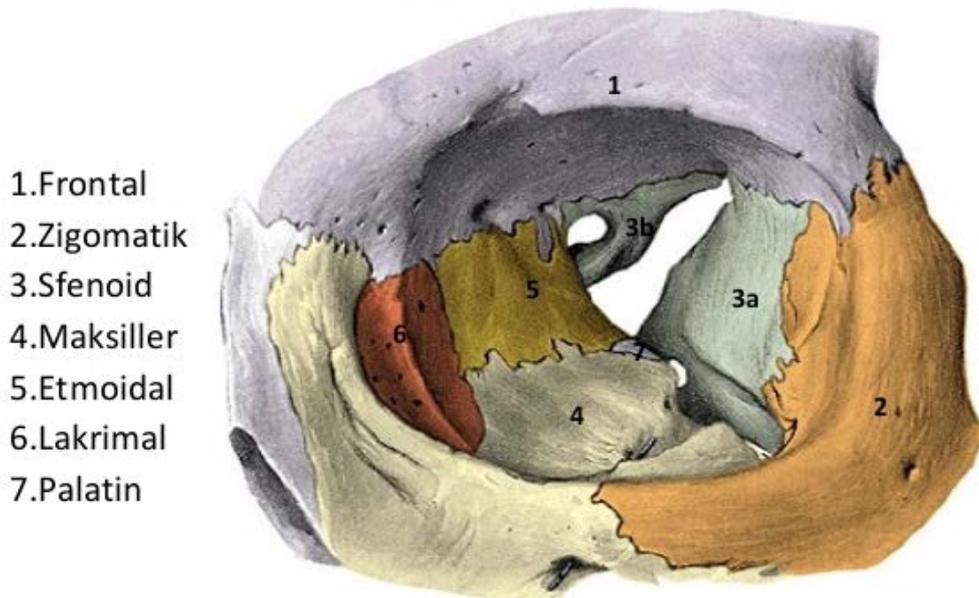
SAR değeri doku iletkenliği, elektrik alan ve dokuların yoğunluğu ölçülerek doğrudan yukarıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilmektedir [13]. Ancak günümüzde, sayısal elektromanyetik simülasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Sayısal elektromanyetik simülasyon yöntemleri kullanılarak yapılan SAR hesabında, insan vücudu ve onun anatomik özellikleri ayrıntılarıyla modellenabilmektedir. SAR hesabı için farklı simülasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar; sonlu integrasyon tekniği (FIT), zamanda sonlu farklar yöntemi (FDTD),

moment yöntemi (MoM), sonlu elemanlar yöntemi (FE) ve iletim hatları yöntemi (TLM)'dir. Bu yöntemler arasında FIT ve FDTD yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [14].

## 2.3. Görme Sistemi

### 2.3.1. Anatomik Yapısı

Gözün anatomik adı organum visuale'dir. Göz, orbita çukuru içerisinde yağ yastıklarıyla desteklenmiş biçimde yer almaktadır. Orbita çukuru ise yüzün her iki yanında, taban kısmı laterale ve öne bakan piramit şeklinde bir yapıdır (Şekil 2.3) [15].

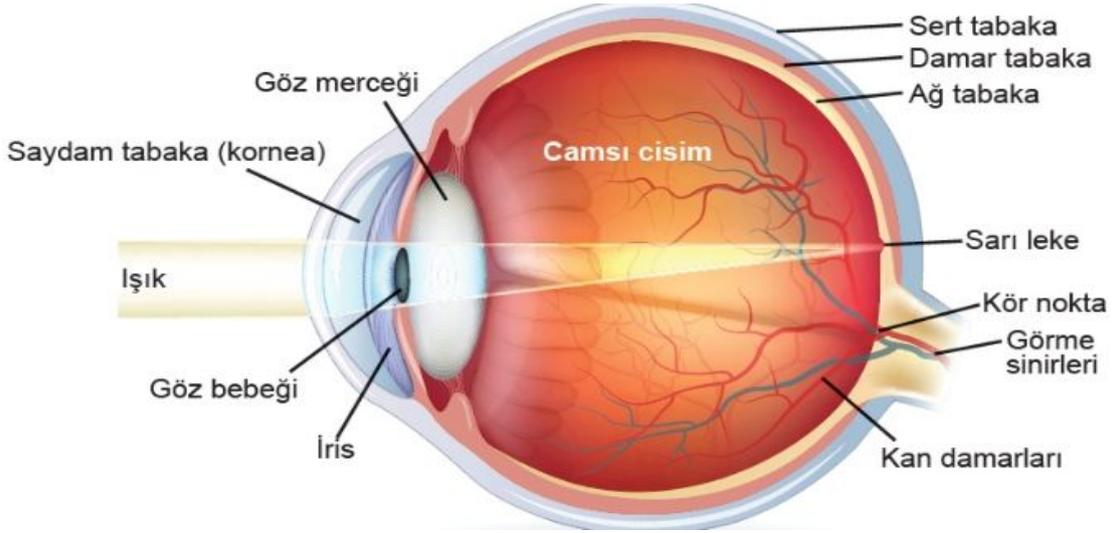


Şekil 2.3. Orbita çukuru [16].

Göz iki bölümde incelenmektedir. Bunlar bulbus oculi (göz küresi) ve organa oculi accessoria (gözün yardımcı organları)'dır [15].

Bulbus oculi ortalama 24 mm çap ve 10 g ağırlığındadır [15].

İlk olarak göz küresine bakıldığında; gözün 3 tabakası bulunmaktadır. Bunlar; tunica fibroza, tunica vasculoza ve tunica nervosa'dır. Tunica fibrozanın içerisinde kornea (saydam tabaka) ve sklera (sert tabaka) bulunmaktadır; tunica vasculozanın içerisinde silier cisim, iris ve koroid (damar tabaka) bulunmaktadır; tunica nervosanın içerisinde ise retina (ağ tabaka) bulunmaktadır (Şekil 2.4) [15].



**Şekil 2.4.** Göz küresinin yapıları [17].

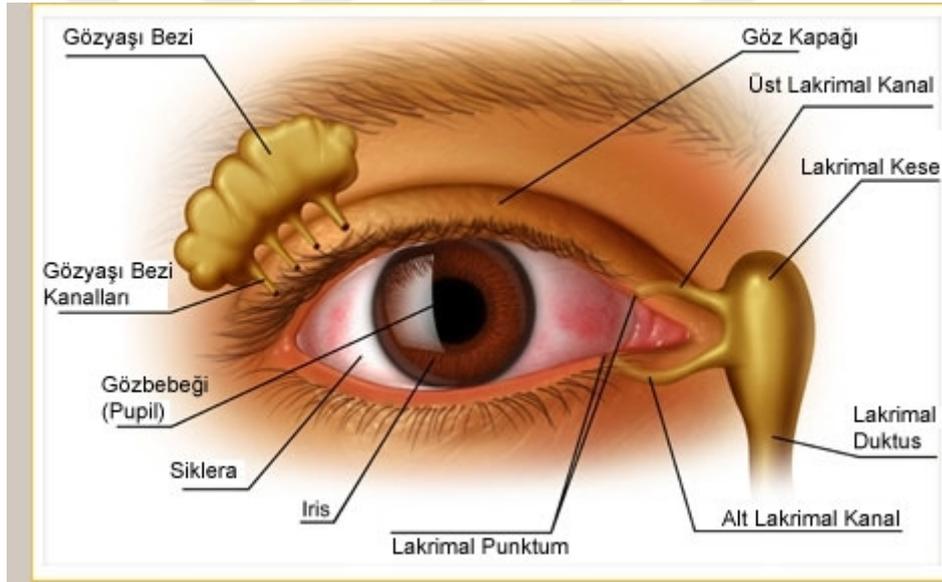
Tunica fibrozaya ait organlardan biri olan kornea; şeffaf, saydam ve damarsız yapıdadır. Sklerokorneal bileşke (limbus) ile skleradan ayrılmaktadır. Yatay olarak çapı 12 mm iken dikey olarak çapı 11 mm'dir. Kornea; kornea epiteli, bowman zarı, stroma (substansiapropria), descemet membranı (ince kollojen teller içeren homojen tabaka) ve kornea endotelinden oluşmaktadır. Tunica fibrozaya ait organlardan ikincisi olan sklera ise; opak, beyaz renkte, sert ve sağlam bir yapıdadır. Yüksek yoğunluk ve sertlik içermektedir. Göz küresine şeklini vermektedir. Dış yüzeyi beyaz renkte, ön bölümü tenon kapsülünün iç yüzeyiyle temas halinde konjonktiva (ince ve şeffaf zar) ile kaplı bulunmaktadır. Sklera; lamina kribroza (arka kısım) ve episklera (ön kısım) denen iki kısımdan oluşmaktadır [15].

Tunica nervosaya ait organlardan biri olan retina ise; dış yüzeyi koroidle temas halinde iken, iç yüzeyi vitrenin hyaloid (camsı jel) membranıyla temas halindedir. Arkada, optik sinir (görme sinirleri) olarak devam ederken; tam arkada merkezde ise keskin görmeyi sağlayan makula lutea (sarı leke) ile sonlanmaktadır. Arkadan öne doğru geldikçe retinanın kalınlığı azalmaktadır. Retina 10 katmandan oluşmaktadır. Bunlar; retina pigment epiteli, vizüel (görsel) hücreler tabakası, dış limitan (sınırlı) membran, dış nükleer tabaka, dış pleksiform (ağımsı şekil), iç nükleer tabaka, iç pleksiform tabaka, ganglion hücre tabakası, stratum optikum ve iç limitan membrandır [15].

Bir diğer önemli yapı olan optik sinir (nervus opticus) ise, görme bilgilerini retinadan beyine taşımaktadır. Diensefal (ara beyin)'da yer almakta olup bir divertikül (ucu kapalı kanal) olan embriyonik retinal gangliyon hücrelerinden köken aldığından dolayı, kesildikten sonra rejenerere (yenilenme) olamaz. 12 kafa sinirinden biri olan optik sinir aynı zamanda merkezi sinir sisteminin de bir parçası sayılmaktadır. Çünkü; embriyonal gelişim esnasında diensefalondan tomurcuklanan bir keseden oluşmaktadır. Bunun sonucunda ise; sinir liflerinin

myelini, perifer (dış yüzey)'de bulunan Schwann hücrelerince de oligodendrositlerce (beyin destek hücrelerince) oluşturulmaktadır. Optik sinir 3 meninks (beyin ve omurilik zarı) katmanından oluşmaktadır. Bunlar; dura, araknoid ve pia materdir. Retinadan çıkmakta olan lifler, optik sinir aracılığıyla beyindeki 9 görsel nukleusa ulaştırılmaktadır. Gelen bu bilgiler, bu noktalardan primer görsel kortekse aktarılmaktadır. Optik kanal ile orbitayı terketmekte ve arkadaki optik kiazmaya ulaşmaktadır. Bu kısımda; nazal (burun) tarafa ait görsel bilgiyi taşımakta olan sinirler çaprazlaşır. Liflerin birçoğu lateral genikülat (ganglionlu) çekirdekte sonlanmaktadır. Bir kısmı ise pretektal çekirdeğe gitmekte ve reflekslerde rol almaktadır. Lateral genikülat çekirdekten çıkmakta olan lifler ise oksipital lobtaki görme merkezine gitmektedir [18].

İkinci olarak ise gözün yardımcı organlarına bakıldığında; orbita içi oluşumlar, supercilium (kaş), palpebrae (göz kapakları), konjonktiva, gözyaşı sistemi, gözyaşı bezi, gözyaşı bezesi ve nazolakrimal (burun ve gözyaşı) kanaldan oluştuğu belirtilmektedir (Şekil 2.5) [15].



Şekil 2.5. Gözün yardımcı organları [19].

Orbita içi oluşumlar; periorbita, septum orbitale, tenon kapsülü (elastik membran), corpus adiposum (oluşumlararası yağ dokusu), external (dış) göz kaslarından oluşmaktadır [15].

Göz kapakları ise; cilt, orbikularis oküli (dairesel göz) kası, tarsus (sert bağ dokusu), orbital septum ve tarsal bezlerden oluşmaktadır. Tarsal bezler; tarsların iç yüzünde bulunan oluklara gömülü, birbirine paralel şekilde dizilmiş incilerdir. Gözün üst kapağında 30 tane, alt kapağında ise 30'dan daha az sayıda bulunmaktadır [15].

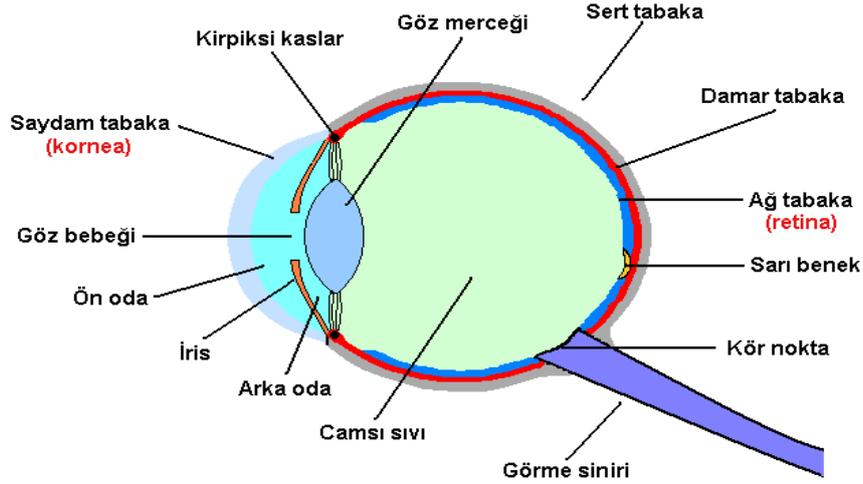
Konjonktiva; gözün müköz membranıdır. Konjonktivanın epitelyum kısmı 2 ila 5 hücre tabakası kalınlığındadır. Bazal hücreleri, küboid yapıda olup yüzeye yaklaştıkça polihedral (çok taraflı) yapıya dönüşmektedirler. Konjonktiva; stroma, palpebral, forniks ve bulber olmak üzere 4 kısımdan oluşmaktadır [15].

Lakrimal sistem ise lakrimal bez, lakrimal kanalikül, lakrimal kese ve nazolakrimal kanaldan oluşmaktadır. Bunlardan ilki olan lakrimal bez; oval biçimde lakrimal fossada bulunan 6 ila 12 kanala sahip üst konjonktival forniksin, üst ve dış yarısına açılan bir yapıdır. İkincisi olan lakrimal kanalikül; her alt ve üst göz kapaklarında birer tane olmak üzere ortalama 8 mm uzunluğunda olan ve içten dışa mukoz membran, çok katlı yassı epitel, bazal membran ve çizgili kas liflerinden oluşan bir yapıdır. Üçüncüsü olan lakrimal kese; 12 ila 15 mm uzunluğunda olan, fossa lakrimalis üzerinde bulunan ve müköz membranla döşenmiş fibroelastik bir yapıdır. Dördüncüsü olan nazolakrimal kanal ise; 15 ila 18 mm uzunluğunda olup içerisinde maksilla (üst çene kemiği), lakrimal kemik, alt nazal konka barındıran lakrimal kesenin devamı şeklinde olan ve inferior (alt) nazal meatusa açılan bir yapıdır [15].

### **2.3.2. Görme Biyofiziği**

Lens (göz merceği) denilen yapı, göz organının iç kısmını ön ve arka olmak üzere 2 segmente ayırmaktadır. Arka segmentin içi, vitröz hümör adı verilen şeffaf bir jelle doludur. Bu vitröz hümörün görevi ise; ışığı iletmek, nöral retinanın pigmental tabakaya sıkı bir şekilde tutunmasını sağlamak, lensin arka yüzünü desteklemek ve intraokuler (göz içi) basınca katkıda bulunmaktır. Ön segment ise, kendi içerisinde ön ve arka olmak üzere iki odadan oluşmaktadır. Ön oda, kornea ve iris arasını kapsarken; arka oda, iris ve lens arasını kapsamaktadır. Ön segmentin içi aköz hümör denilen plazma benzeri bir sıvıyla doludur. Bu sıvı, Schlemm kanalından drene olmaktadır. Bu sıvının görevi ise; destek ve beslenmeyi sağlamak ve de atıkları uzaklaştırmaktır (Şekil 2.6) [20].

Lensin yapısı; bikonveks, şeffaf, damarsız ve esnektir. Lens fibrilleri ve epitelden oluşmaktadır. Lensin görevi, ışığın retina üzerine uygun bir şekilde odaklanmasını sağlamaktır. Yaş ilerledikçe lensin elastikiyeti ve şeffaflığı azalmakta, lens daha yoğun hale gelmektedir [20].

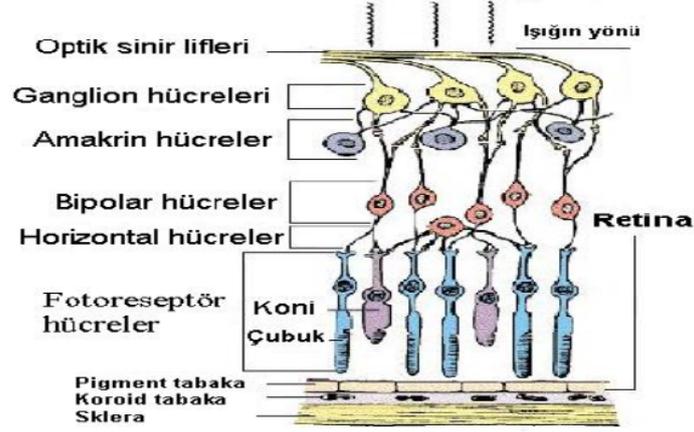


Şekil 2.6. Gözün ön ve arka segmentindeki yapılar. [21].

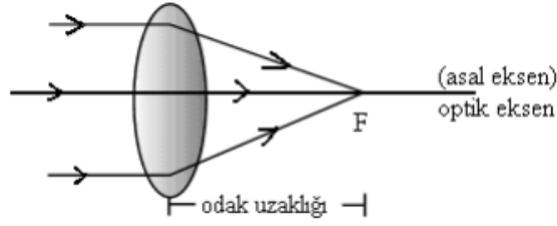
Gözler; elektromanyetik spektrumun görülebilir ışık sınırı içerisinde bulunan dalgalara cevap vermektedir. Bu sınır içerisindeki farklı dalgalara cevap veren yapı ise retinada bulunan farklı koni hücreleridir (Şekil 2.7) [20].

Işık, saydam bir ortamdan diğer ortama geçtiği zaman hızı değişmekte ve kırılmaktadır. Konveks olan lensin içinden geçmekte olan ışık, odak noktasında birleşmek üzere kırılmaktadırlar (Şekil 2.8). Konveks lensin oluşturduğu görüntünün; ters olmakla beraber sol kısmı sağa, sağ kısmı ise sola gelmektedir (Şekil 2.9). Işığın göze giriş yolu sırasıyla; ilk olarak kornea, sonra aköz hümör, sonra lens, daha sonra da vitröz hümör ve nöral retinadır. Işık; korneada, lense girerken ve lensten çıkarken toplam 3 kere kırılmaktadır. Işığın uygun bir şekilde odaklanmasını sağlayan ise, lensin şekli ve kavisliğidir. Yakın cisme odaklanırken; kırılma gücünün artırılması için uyuma, pupiller refleksinin pupillayı kasıp dağılmakta olan ışık dalgalarının gözün içine girmesini önlemek için kasılmaya ve göz kürelerinin bakmakta olduğu cisme doğru medial olarak dönmesi için de convergence (yakınsama)'e ihtiyaç duyulmaktadır. Uzak cisme odaklanırken; küçük ayarlamalar gerekmektedir. Görmenin uzaktaki noktası, lensin odaklanması için şeklini değiştirmesine gerek olmayan uzaklıktır. Bu uzaklık ise 6,10 m'dir[20].

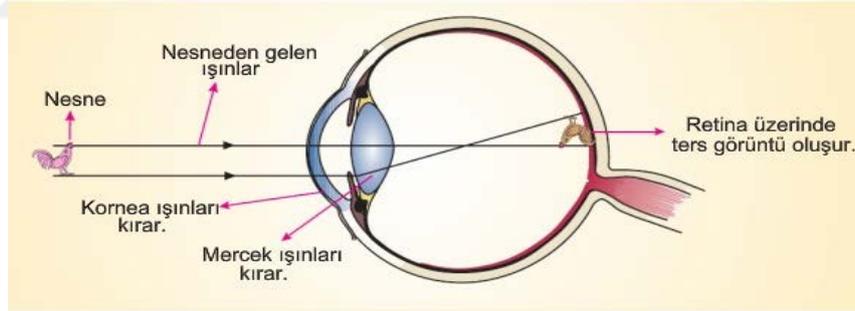
Gözde kırılma sorunları meydana gelebilmektedir. Işığın uygun bir şekilde odaklandığı göze emetropik göz denmektedir. Odak noktası retinanın önünde olduğu göze ise miyop göz denmektedir. Miyop göz, konkav lensle düzeltilebilmektedir. Odak noktası retinanın arkasında olduğu göze ise hipermetrop göz denmektedir. Hipermetrop göz, konveks lensle düzeltilebilmektedir (Şekil 2.10) [20].



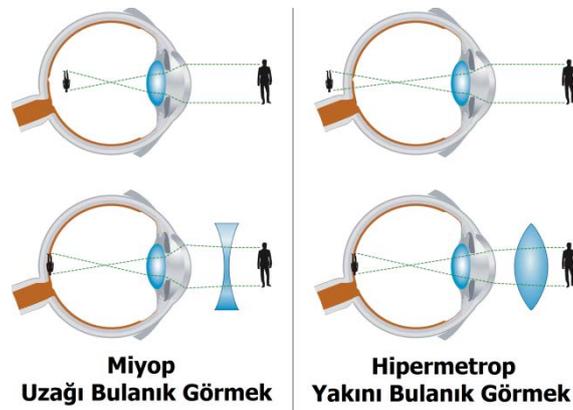
Şekil 2.7. Retinada bulunan koni ve rod (çubuk) hücreleri [22].



Şekil 2.8. Konveks lensin içinden geçen ışığın kırılması[23].



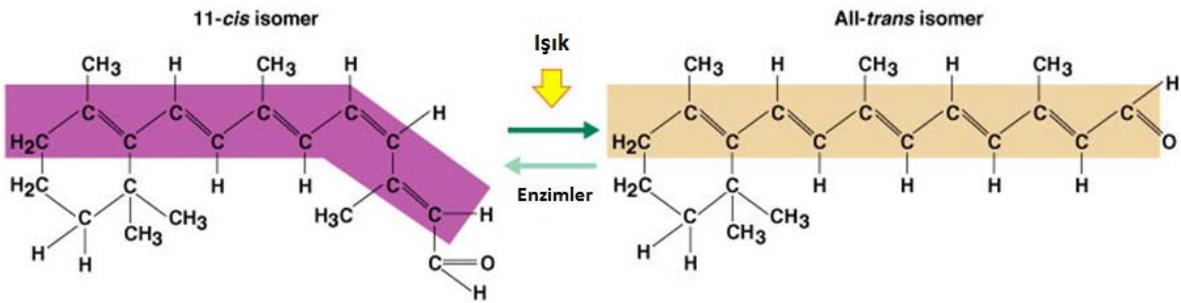
Şekil 2.9. Konveks lensin içinden geçen ışığın oluşturduğu görüntü [24].



Şekil 2.10. Gözdeki miyop ve hipermetrop durumu [25].

Gözlerin ışık enerjisini algılama işlemine ışığı algılama denmektedir. Burada; koni ve rod hücreleri fotopigmentler denilen görme pigmentleri içerdikleri için önemli bir yere sahiptir. Bunlar; ışık geldiği zaman şekil değiştirmekte olan membran kalıntıları olarak organize olmaktadır. Koni hücrelerinin işlevsel özelliklerini sıralamak gerekirse; renkli görüntü vermektedirler, duyarlılıkları düşük olup aktivasyon için parlak ışık gerektirmektedirler, görüntü burada ayrıntılı olmakla beraber çözünürlüğü yüksektir ve her bir koni tek bir ganglionla sinaps yapmaktadır. Rod hücrelerinin işlevsel özelliklerini sıralamak gerekirse; görülebilir ışık dalgalarını absorbe etmektedirler, gece görüşü için özelleşmiş durumdadırlar ve düşük loş ışığa karşı hassastırlar, algıladıkları uyarılar ise sadece gri tondadır, rodlarda net olmayan görüntü oluşmaktadır ve diğer rod hücrelerinden gelmekte olan görsel uyarılar tek bir ganglion hücresinde birleşmektedir (Şekil 2.7) [20].

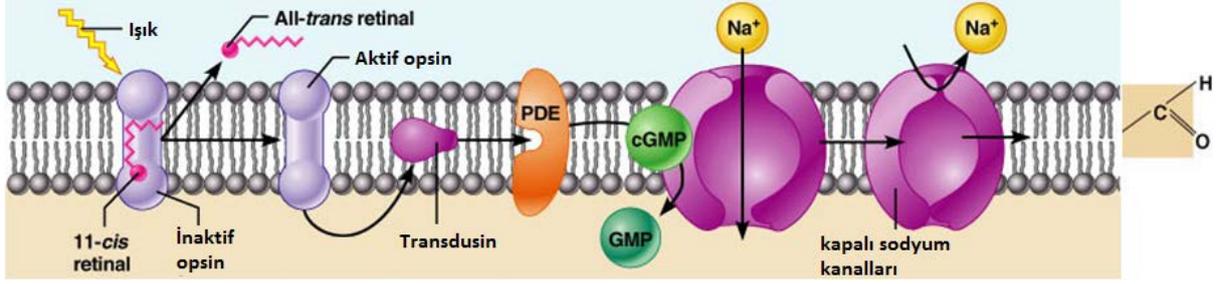
Görüntü pigmentleri, retinal ışığı absorbe etmekte olan moleküllerdir. Opsinlerle birleşip görme pigmentlerini yapmaktadırlar. A vitaminine benzemekte olup bu vitaminden sentezlenmektedirler. Burada; optik sinirde elektriksel aktiviteyi başlatan, retinalin izomerizasyonudur. Rodların görme pigmentinin adı rodopsindir (11-cis retinal + opsin). Aydınlık evrede; rodopsin, opsin+all trans retinal'e yıkılmaktadır. Bu duruma, pigmentin beyazlatılması da denmektedir. Karanlık evrede ise; all trans retinal, 11-cis'e dönüşmektedir. 11-cis retinal ise A vitamininden yapılmaktadır. Sonra da; opsin+11 cis retinal, tekrardan rodopsini oluşturmaktadır. Koni hücrelerinde bulunan görme pigmenti, rodlardaki pigmente benzemektedir (retinal+opsin). Kırmızı, yeşil ve mavi olmak üzere 3 çeşit koni hücre bulunmaktadır. Birden fazla koni hücresi uyarılarak ara renkler algılanmış olur. Uyarılma ise gene rod hücrelerindeki benzemektedir (Şekil 2.11) [20].



**Şekil 2.11.** Retinalin izomerizasyonu [20].

Işık iletiminde ise; ışık enerjisi aktive olan opsini açığa çıkartmak için rodopsini, all trans retinale parçalamaktadır. Bu bağımsız olan opsin ise G protein transdusini aktive etmektedir. Transdusin de PDE (fosfodiesteraz) aktivitesini katalize etmektedir. PDE; cGMP (siklik 3',5'-guanozin monofosfat)'yi, GMP (guanozin monofosfat)'ye hidrolize edip sodyum kanallarından

ayırmaktadır. Üzerinde cGMP bağlı olmayan sodyum kanalları kapanmakta ve membran da hiperpolarize olmaktadır. Böylece nörotransmitter salgılanmamaktadır (Şekil 2.12) [20].



Şekil 2.12. Işık iletimi [20].

Karanlıktan aydınlığa geçerken yani parlak ışığa uyum durumunda ise; retinal duyarlılık oldukça düşmektedir ve rod işlevi kaybedilmiş olur. Dolayısıyla da rod sisteminden konininkine geçilmektedir. Böylece, görüntü tekrardan kazanılmış olunur. Aydınlıktan karanlığa geçerken yani karanlığa uyum durumunda ise; tam tersi olaylar olmaktadır. Düşük ışıkta koni hücreleri işlev yapamayıp, rodopsin karanlıkta çoğalmaya başlar ve retina hassasiyeti geri gelmiş olur [20].

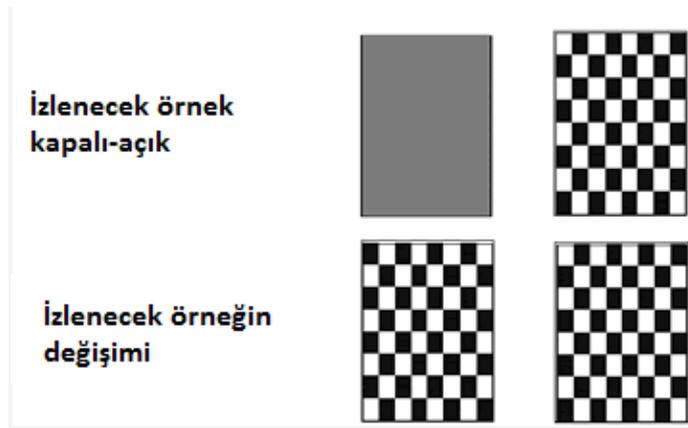
Görme yollarında ise; retinal ganglion hücrelerinin aksonları, optik siniri oluşturmaktadır. Optik sinirin medial lifleri ise optik kiazmada çaprazlaşmaktadırlar. Optik traktus (demet) liflerinin geneli, talamusun lateral genikulat cisimciğine gitmektedirler. Diğer kalan optik sinirler ise; görme reflekslerini başlattıkları superior colliculusta (üst tepecik) ve pupiller (göz bebeği) reflekslerle alakalı olan pretektal çekirdeklerde sonlanmaktadırlar. Sonra da optik ışınlar, talamustan görme korteksine gitmektedir. Birkaç sinir lifi, orta beyindeki superior colliculuslarda sonlanan yollar göndermektedir. Görme liflerinin çok az bir kısmı melanopsin içermektedir ve bu melanopsin, pupilla ışık reflekslerine aracılık etmekte ve günlük biyoryitmleri ayarlamaktadır (Şekil 2.13) [20].

Derinliğin algılanması ise; aynı cisme her 2 gözün hafifçe farklı açılardan bakmasıyla başarılmaktadır. Hafifçe farklı olan bu görüntüler kortikal düzeyde birleştirilir ve 3 boyutlu görüntü elde edilmiş olunur. Eğer sadece tek bir göz kullanılmakta ise derinlik algılanması bozulmaktadır. Bu durumda kişi ancak önceden edinmiş olduğu bilgilere güvenerekten derinlik tahminini yapmaktadır [20].

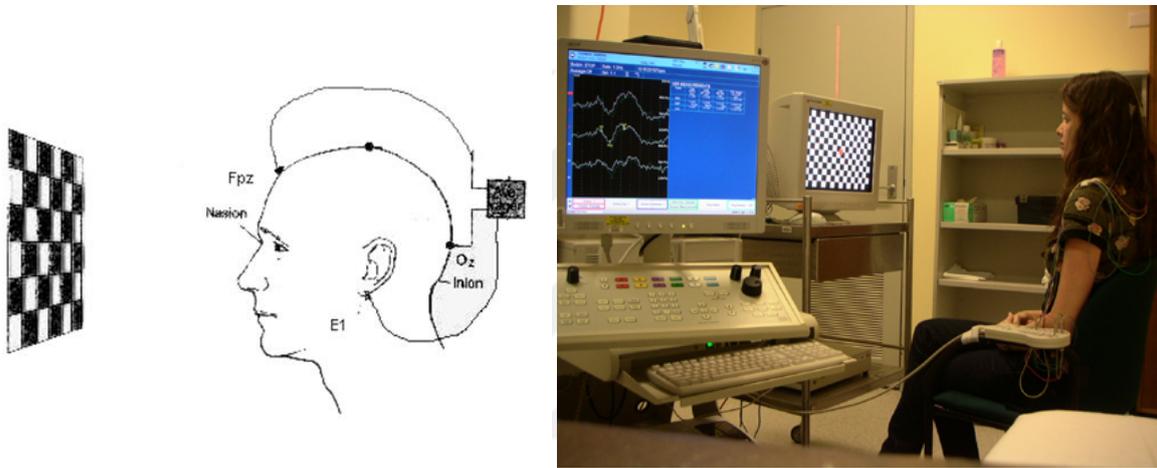


çıkabilirken, GUP'un genlikleri 40  $\mu V$ 'a kadar çıkabilmektedir. Bu genlikleri görünür hale getirmek için ortalama tekniği kullanılarak spontan aktivite kayıtları zayıflatılmaktadır [27].

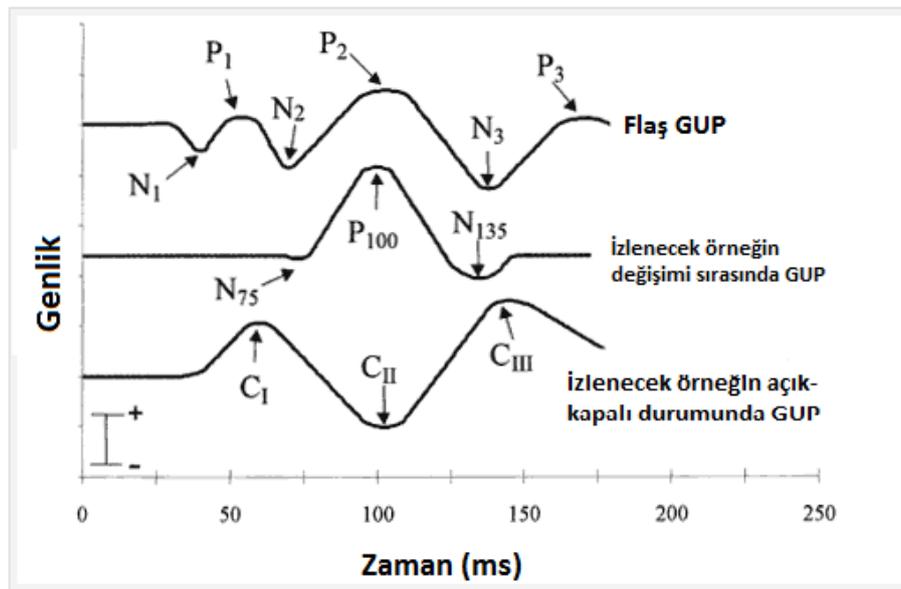
Görsel uyarılmış potansiyeller incelemesi, retinadan başlayıp oksipital kortekse kadar olan görme yollarının işlevini yansıtmakla beraber ön görme yollarındaki iletim bozukluklarını ortaya çıkarmada daha duyarlıdır. Aralıklarla parlayan flaş veya patern (izlenecek örnek) uyarıcılar, görsel uyaran kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ancak patern uyarıcı, lezyonları göstermede daha duyarlı olması nedeniyle daha yaygın kullanılmaktadır ve bu patern uyarıcı, video monitörde hastaya gösterilen siyah ve beyaz renklerdeki dama tahtası şeklindedir. Saniyede 1-2 defa bu dama tahtası üzerindeki beyaz kareler siyaha, siyah kareler de beyaza dönmektedir (Şekil 2.14). Bu dönüşümlerle aynı anda hastanın baş kısmına yerleştirilmiş elektrotlardan kaydedilip ortalama almak için gönderilmekte olan traselerin (karelerin çizilmiş olduğu şekil) başlangıcı tetiklenmiş olmaktadır. Refraksiyon kusurları düzeltilmiş olan hasta 1 m kadar mesafede monitör karşısına oturtulmaktadır ve sırasıyla bir gözünü örtüp öbür gözüyle monitörün tam ortasındaki fiksasyon (sabitlenme) noktasına bakması istenmektedir. Kayıtlama olayları genel olarak oksipital orta hat denilen Oz ve paramedian denilen O1 ve O2 bölgesinden yüzeyel elektrotlarla yapılmaktadır (Şekil 2.15). Bazen de, daha lateral yerleşimli olan T5 ve T6 kayıt elektrotları gerekmektedir. Çünkü, retrokiazmatik iletim kusurlarını gösterebilmek gerekmektedir. Genel olarak 100 ila 300 kayıttın averajlanması ve ayrıca bu işlemin 2 defa daha tekrar edilmesi yeterli olabilmektedir. Elde edilmiş olan bu kortikal yanıt, genellikle bir ilk negatif pik dediğimiz N75, ardından onu izlemekte olan büyük bir pozitif dalga olan P100 ve sonrasında da bir negatif pik dediğimiz N145 (duruma göre N135)'ten oluşmaktadır (Şekil 2.16). GUP latansını okumak için, P100 dalgasına ait tepe latansı okunur. Bu latans değeri 60 yaş altı kişiler için normalde 115 ms'nin altında olmaktadır. Anormal olan GUP ise; P100 latansının anormal seviyede uzun olduğu veya iki göz arasındaki latans farkının normal değerden daha yüksek çıktığı durumlardır. GUP'lar; akut optik nörit (sinir iltihaplanması) denilen rahatsızlıkta bozuk şekilde bulunabildikleri gibi, daha önceden geçirilmiş fakat hastanın kendisi tarafından fark edilmeyen bir optik nörit denilen rahatsızlığı da ortaya çıkarmakta başarılı olabilmektedir. Bu sebeple GUP'ların, optik sinire ait lezyonları göstermede manyetik rezonans (MR) yöntemine oranla daha ucuz ve de daha duyarlı olduğu söylenebilmektedir. Normal bir GUP incelemesinde ise GUP'ların, hastaya ait bir optik sinir lezyonunun olma olasılığını neredeyse tamamen ekarte ettirebildiği söylenebilmektedir [28].



Şekil 2.14. GUP'ta izlenecek örnek uyarıcılar [27].



Şekil 2.15. GUP'ta kayıtlama olayı [27].



Şekil 2.16. GUP'ta elde edilen kortikal yanıt [27].

#### 2.3.4. Göz İçi Basıncı

Normal bir gözde göz içi basıncı (GİB) değeri 9-20 mmHg sınırları arasındadır. Ancak bu sınırlar kişiye ve risk faktörlerine bağlı değişebilir [29].

Değeri yükselmiş göz içi basıncı, vasküler veya mekanik mekanizmalarla glokomatözhasara neden olmaktadır. Mekanik teoriye göre, yükselmiş GİB değeri doğrudan sinir liflerine zarar verirken; vasküler teoriye göreyse, yükselmiş GİB optik sinir başındaki mikrodolaşımı bozup sinir liflerinde kayba yol açmaktadır. Glokomatöz optik sinir hasarı, retinada bulunan gangliyon hücrelerinin apoptozis ile geri dönüşümsüz hasara uğraması sonucu gerçekleşmektedir. En çok görülen glokom türü, primer açık açılı glokom olup; yaş sebebiyetiyle aközün, trabeküler drenajına karşı direnç oluşturmasıyla beraber GİB artmaktadır. Bunun yanında, genetik faktörler ve de aile öyküsü glokom rahatsızlığı için diğer risk faktörleri olabilmektedir [30].

Glokom çeşitleri arasında; primer açık açılı glokom, kapalı açılı glokom, oküler hipertansiyon, normotansifglokom, pigmenter glokom, pseudoeksfoliatif glokom, neovasküler glokom ve primer konjenital glokom bulunmaktadır [30].

Normalde GİB günlük değişimi ortalama 4-5 mmHg olup, glokomatöz olan gözlerde daha fazla olmaktadır. GİB ölçümünde esasen standart biomikroskoba bağlı olarak Goldmann aplanasyon tonometresi (Şekil 2.17) ile ölçüm yapılmaktadır. Göze temas etmeyen non-kontakt tonometre, hasta yatma pozisyonundayken kullanılan tonopen (Şekil 2.18) ve el tipi Goldmann aplanasyon tonometresi klinik koşullarında en çok kullanılmakta olan tonometrelerdir. GİB ölçüm sonuçlarını, korneanın rigiditesi (katılığı) ve kalınlığı etkileyebilmektedir. Eğer kornea kalınsa, GİB değeri olduğundan yüksek ölçülürken; kornea ince olduğunda ve korneada ödem olduğunda, GİB değeri olduğundan düşük çıkmaktadır. Bu yüzden GİB değerlendirmesi yapılırken, santral (merkezi) kornea kalınlığı dikkate alınmaktadır [30].



Şekil 2.17. Goldmann aplanasyon tonometresi [31].



**Şekil 2.18.** Tonopen [32].

### 2.3.5. Radyofrekans (RF) Alanların Görme Sistemine Etkileri

Radyofrekans radyasyonunun görme sistemi üzerine etkileri ile ilgili çalışmalar 1960'lı yıllarda başlamıştır. Bu dönemde yapılan çalışmalarda fasiyal ve oküler yapısının insana benzerliği nedeniyle daha çok tavşan kullanımı tercih edilmiştir. Çalışmalarda daha çok RF radyasyonunun lens üzerine etkisine yoğunlaşmıştır. Lense ek olarak retina ve gözün diğer bölümlerinde de RF radyasyonunun etkileri araştırılmıştır.

#### 2.3.5.1. Lens Üzerine Etkisi ve Katarakt Oluşumu

Guy ve arkadaşlarının 1975 yılında yapmış olduğu çalışmada; tavşanlara 2450 MHz (CW-sürekli dalga) frekansında, 150 mW/cm<sup>2</sup> güçte, maksimum 138 W/kg SAR değerinde ve 100 dk boyunca RF radyasyon uygulanmış ve bu radyasyonun katarakt oluşumu ve diğer oküler etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda RF radyasyon etkisiyle tavşanlarda kataraktın ve geçici oküler etkilerin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir [33]. Kramar ve arkadaşlarının 1978 yılında yapmış olduğu çalışmada ise; tavşanlara 2450 MHz (CW) frekansında, 1,8 kW/m<sup>2</sup> güçte, maksimum 100 W/kg SAR değerinde ve 140 dk boyunca RF alan uygulanmış ve katarakt oluşumuna etkisine bakılmıştır. Sonuçta, Guy ve arkadaşlarının bulgularına benzer şekilde tavşanlarda katarakt oluştuğu gözlemlenmiştir [34]. Her iki çalışmada da; kataraktın, RF alanın lenste oluşturduğu yüksek sıcaklık sonucunda ortaya çıktığı bildirilmiştir.

Ancak, McAfee ve arkadaşları RF radyasyonun gözdeki etkilerini inceledikleri çalışmalarında farklı sonuçlar elde etmişlerdir. McAfee ve arkadaşlarının 1979 yılında yapmış olduğu çalışmada; maymunlara 9310 MHz (PW-pulslu dalga) frekansında, 1,5 kW/m<sup>2</sup> güçte ve

30-40 ay boyunca toplamda 294-665 dk RF radyasyon uygulanmıştır. Burada, bilinci açık maymunlarda oküler dokular üzerine RF alanın etkilerine bakılmıştır. Bir yıllık gözlem sonucunda, kataraktın ve oküler etkilerin olmadığı gözlemlenmiştir [35]. Yine McAfee ve arkadaşlarının 1983 yılında yapmış oldukları bir başka çalışmada; maymunlara önce 9310 MHz (PW) frekansında, 1,5 kW/m<sup>2</sup> güçte ve 34 ay boyunca 408-946 dk; sonra 9310 MHz (PW) frekansında, 3 kW/m<sup>2</sup> güçte ve 34 ay boyunca 275-594 dk; daha sonra da 2450 MHz (PW) frekansında, 1,5 kW/m<sup>2</sup> güçte ve 4 ay boyunca 549-750 dk RF alan uygulanmış ve katarakt, oküler etkiler ve görüş yeteneği üzerine etkilerine bakılmıştır. Sonuçta; 9310 MHz uygulamasından 4 ay sonra ve 2450 MHz uygulamasından 1 yıl sonra, katarakt oluşumu; görme kaybı; korneada, sulu ve vitröz humörlerde veya retina üzerinde RF alanın etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir [36].

Daha sonraki dönemlerde; Saito ve arkadaşlarının 1998 yılında yapmış oldukları çalışmada; tavşanların gözlerine 2450 MHz (CW) frekansında, 26,5 W/kg SAR değerinde 160-240 dk boyunca RF radyasyon uygulanmış ve sürekli dalga ışınlanmasının kornea, ön boşluk, lens ve diğer oküler dokular üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda araştırmacılar geçici konjunktival ve korneal ödem, pupil kontraksiyonu, pupiller tıkanıklık ve lensin ön bölümünde fibrinogenezis geliştiğini rapor etmişlerdir [37]. Kojima ve arkadaşları ise 2004 yılında tavşanlara 2,45 GHz frekansında, 108 W/kg lokalize SAR değerinde ve 20 dk boyunca RF alan uygulanmışlar ve bilinci açık ve anestezi altındaki tavşanların oküler dokuları üzerine akut RF uygulamasının etkilerini incelemişlerdir. Sonuçta, korneal ödem, iris iltihaplanması ve ön lens korteksinden ışık saçılmasında artış olduğu gözlemlenmiştir ve bu değişikliklerin anestezi altındaki hayvanlarda daha belirgin olduğu ortaya çıkmıştır [38].

Balcı ve arkadaşlarının 2007 yılında yapmış olduğu bir başka çalışmada ise; sıçanlara kafesin üzerine yerleştirilen cep telefonu aracılığıyla 4 hafta boyunca 900 MHz frekansta GSM cep telefonu sinyali uygulanmış ve bu sinyalin lens dokularında oksidatif stres üzerine etkisine bakılmıştır. Sonuçta, deney grubunda lens ve korneal dokulardaki malondialdehit seviyesinin önemli derecede arttığı rapor edilmiştir [39].

### **2.3.5.2. Diğer Oküler Etkiler**

Pulsu RF alanların kullanılmasıyla yapılan çalışmalar sonucunda, farklı göz dokularında dejeneratif değişikliklerin olduğu bildirilmiştir.

Kues ve arkadaşlarının 1985 yılında yapmış oldukları bir çalışmada; maymunlara 5,3-7,8 W/kg lokalize SAR değerinde, 200-300 W/m<sup>2</sup> güçte, 2,45 GHz (CW) frekansında veya 2,6 W/kg lokalize SAR değerinde 2,45 GHz (100 pps'de ve 10 µs) frekansında RF alan 4 gün boyunca uygulanmış ve RF radyasyonun anestezili maymunlarda korneal endotelyuma etkisine

bakılmıştır. Sonuçta, korneal endotelyumda RF kaynaklı geçici lezyonların oluştuğu ve pulslu RF'nin, sürekli dalgadan daha etkili olduğu gözlemlenmiştir [40]. Kamimura ve arkadaşlarının 1994 yılında yapmış oldukları çalışmada ise; maymunlara 4 saat boyunca, 430 W/m<sup>2</sup>'ye kadar birgüçte ve 2,45 GHz (CW) frekansında RF alan uygulanmış ve korneal endotelyum, lens, vitröz salgı ve retina üzerinde RF radyasyonun etkisine bakılmıştır. Sonuçta, korneal endotelyumda, lenste, vitröz salgıda ve retinada anormallik olmadığı gözlemlenmiştir [41].

Kues ve arkadaşlarının 1999 yılında yapmış oldukları bir başka çalışmada; tavşan ve maymunlara 5 gün boyunca, günde 4 ve 8 saat olmak üzere, 100 W/m<sup>2</sup> güçte, 60 GHz frekansında RF radyasyon uygulamışlar ve oküler doku üzerindeki histolojik etkilerini incelemişlerdir. Sonuçta, kornea, iris veya lenste histopatolojik etkilerin görülmediğini bildirmişlerdir [42]. Lu ve arkadaşları 2000 yılında; maymunlara 3 haftalık süre içerisinde toplam 9 gün, günde 4 saat, 20 W/kg'a kadar (puls başına pik değeri 130 mW/kg) bir retinal ortalama SAR değerinde ve pulslu 1,25 GHz (en fazla 2,8 pps'de ve 5,6 µs) frekansında RF uygulamışlardır. Çalışma sonunda; histopatolojik etkinin görülmediği, elektroretinogramlarda geçici fonksiyonel değişikliklerin olduğu ve fotoreseptör glikojen depolanmasında artış olduğu gözlemlenmiştir [43].

Literatürde hayvan çalışmalarının yanı sıra RF enerjinin insan gözüne etkilerine ilişkin çalışmalar da mevcuttur. Cleary ve Pasternak 1966 yılında, mikrodalga alanında çalışan 736 işçide 559 kontrolden farklı olarak lenste subklinik değişiklikler gözlemişlerdir. Ancak katarakt varlığına ilişkin bir bulguya rastlamamışlardır [44]. İlk retinal lezyon 1973 yılında Aurell ve Tengroth tarafından rapor edilmiştir. Araştırmacılar radar/mikrodalga endüstrisinde çalışan 68 işçide retinal lezyon ve lenste opasite artışı olduğunu bildirmişlerdir [45]. Holly ve arkadaşları tarafından 1996 yılında, RF enerji endüstrisinde çalışan işçilerde yapılan bir çalışmada uveal melanoma riskinin kontrollere göre yaklaşık 3 kat daha fazla olduğu bildirilmiştir [46]. Stang ve arkadaşları 2001 yılında, cep telefonu kullanıcılarında bu riskin 4 kat daha fazla olduğunu rapor etmişlerdir. Ancak cep telefonu kullanımının göz ve beyin kanserlerinin görülme sıklığında herhangi bir etkisinin olmadığını bildiren çalışmalar da rapor etmişlerdir [47].

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Deney Hayvanı

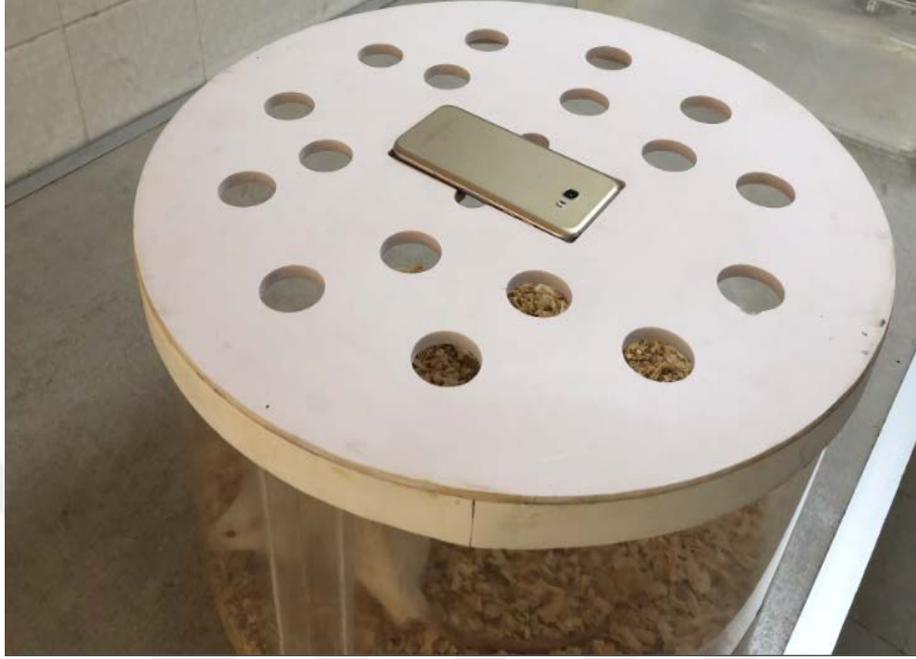
Deney hayvanı olarak, yaklaşık 200-250 g ağırlığında 32 adet Wistar albino erkek sıçan kullanıldı. Sıçanlar, Mersin Üniversitesi Deneysel Araştırma Merkezi'nden sağlandı. Deneylerden önce sıçanlar ortama uyum sağlamaları için 12 saat gece ve 12 saat gündüz olmak üzere, sıcaklığı  $25 \pm 1,5$  °C ve nem oranı %55 olan laboratuarda 1 hafta boyunca bekletildiler. Tel kafeste barındırılan sıçanlar, standart pellet yem ile beslendiler ve suları ad libitum olarak verildi. Tez çalışması için, Mersin Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'ndan onay alındı (22/08/2016 tarihli ve 2016/32 sayılı etik kurul kararı).

#### 3.2. Deney Protokolü

Sıçanlar, deney (n=16) vesham (n=16) olmak üzere iki gruba ayrıldı. Deney grubundaki hayvanlar; deney için tasarlanmış olan 30 cm yarıçapında ve 30 cm yüksekliğe sahip, yan yüzlerinde ve üstünde havalandırma delikleri olan, üst yüzeyin tam orta noktasında cep telefonunun yerleştirilebileceği çentiği bulunan ve cep telefonu ekranının sıçanlar tarafından tam olarak görünebileceği büyüklükte bir delik içeren silindir biçiminde pleksiglastan yapılmış bir kutu içine yerleştirildi(Şekil 3.1).45gün boyunca, her gün 2 saat olmak üzere 0,50 W/kg SAR değerine sahip Samsung SM-G600F Galaxy On7 marka 4,5G uyumlu cep telefonuna maruz bırakıldı. Bumaruziyet sırasında, skype uygulaması üzerinden görüntülü görüşme yapıldı. Bu görüntülü skype görüşmesinde Turkcell hat kullanıldı. Bu hattın tercih edilme nedeni, çalışma süresince 1.800 MHz frekansında ve 29,8 MHz bant genişliğinde veri alışverişi yapabilme kapasitesine sahip olmasıydı.Şamgrubundaki sıçanlar ise sadece cep telefonu kapalı konumdayken diğer şartların aynı kalması koşuluyla, aynı süre ve aynı ortamda tutuldular. Deney odacığına aynı anda 8 sıçan alınabildi. Bununla birlikte her grup için uygulamalar sıçanların ikiye bölünmesiyle gerçekleştirildi. Deneylere başlamadan önce, ortamın çevresel EMA'lardan etkilenip etkilenmediğini belirlemek için elektrik ve manyetik değerleri ölçüldü. Elektrik alanını ölçmek için taşınabilir elektrik alan probu (TES 593, TES Electrical, Electronic Co, Taipel, Taiwan) ve manyetik alanı ölçmek için de gauss/teslametre (Sypris 6010, F.W. Bell, San Diego, CA) kullanıldı. Deney ortamındaki ortalama elektrik alan değeri  $0,35 \pm 0,002$  V/m, ortalama manyetik alan değeri ise  $0,028 \pm 0,002$  mT olarak ölçüldü.

45gün sonunda, sıçanlardan anestezi altında göziçi basıncı ve görsel uyarılmış potansiyeller kayıtları. Bu kayıtlar tamamlandıktan sonra sıçanlar, yüksek doz anesteziyle

sakrifiye edilip optik sinirleri izole edildi. İzole optik sinirlerin bir parçası biyokimyasal analizler için, diğer parçası ise histolojik incelemeler için kullanıldı.



**Şekil 3.1.**RF enerji uygulama düzeneği.

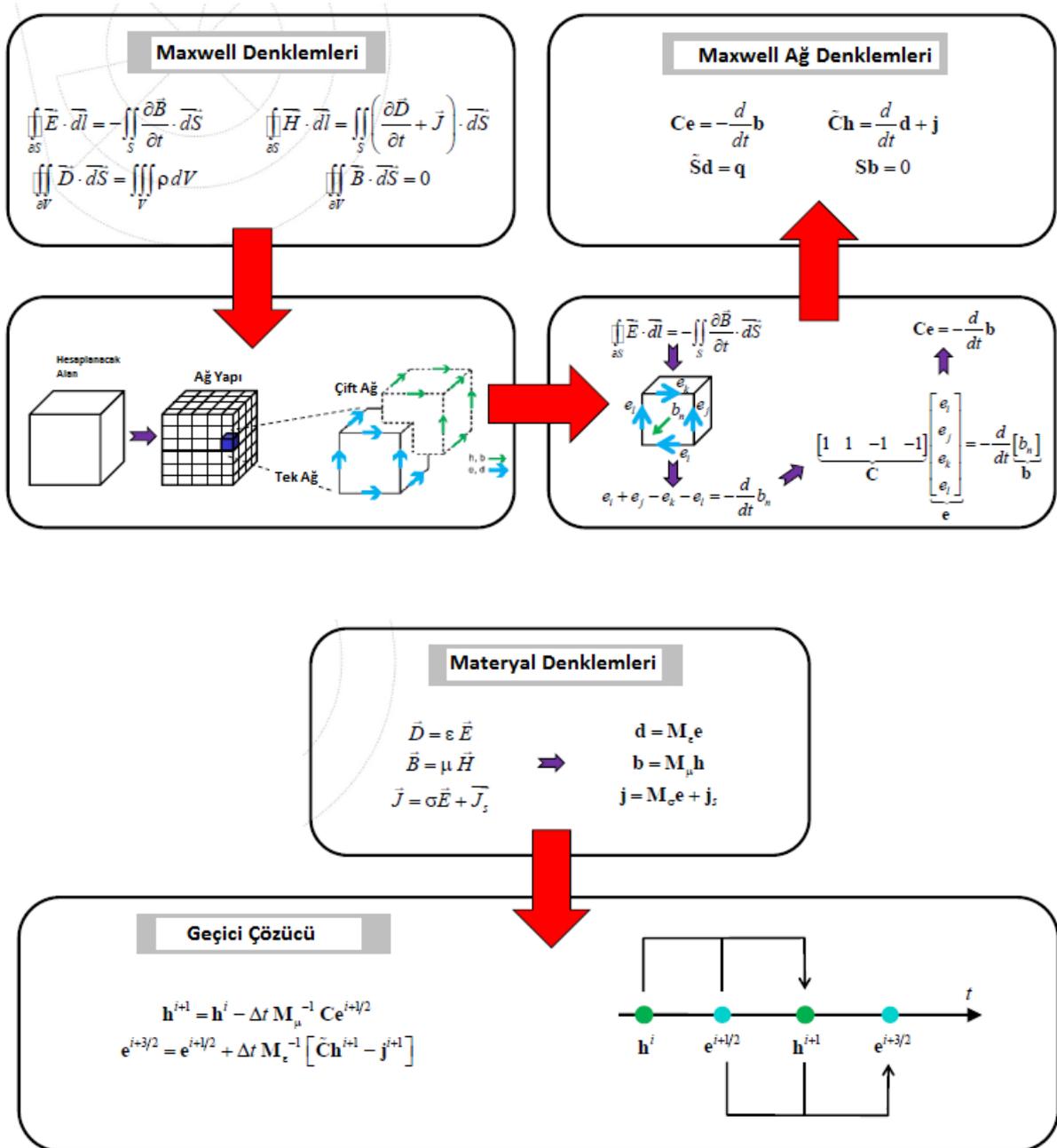
### 3.3. Deri Sıcaklığının Ölçülmesi

Deney ve sham grubundaki sıçanların deri sıcaklığını ölçmek için termal kamera (Fluke Ti100, Everett, Washington) kullanıldı. Her iki grupta deri sıcaklığı, uygulama başlamadan önce ve uygulama sonunda kaydedildi. Elde edilen görüntüler, USB kablo aracılığıyla termal kameradan bilgisayara aktarıldı. Alınan görüntüler Smartview 3,5 programı kullanılarak analiz edildi. Analiz sonucunda, deney ve sham grupları uygulama öncesi ve sonrasına ait ortalama sıcaklık değerleri elde edildi.

### 3.4. Elektrik Alan Dağılımı ve SAR Değerinin Hesaplanması

Deney sırasında, deney odacığının farklı bölümlerinde elektrik alan probu kullanılarak elektrik alan ölçümleri yapıldı. Sistem aktif halde iken ortamın elektrik alan değeri, bu ölçülen değerlerin ortalaması alınarak hesaplandı. Ortalama elektrik alan değeri, elektrik alan dağılımının belirlenmesinde ve SAR değerinin hesaplanmasında kullanıldı. Vücuttaki EMA dağılımının sayısal olarak doğrudan ölçülmesi mümkün olmadığından, bu çalışmada elektrik alan dağılımı ve SAR değerini hesaplamak için Bilgisayar Simülasyon Teknolojisi CST Microwave Studio® 2018 (Computer Simulation Technology, Darmstadt, Almanya) yazılımı kullanıldı. CST

programında zaman düzleminde sonlu integrasyon tekniği (FIT) kullanılmaktadır. FIT yöntemi ilk olarak 1977 yılında Weiland tarafından ortaya atılmış ve Maxwell integral denklemleri ayrık formda oluşturularak formül haline getirilmiştir. Bu yöntemde, farklı geometrik cisimler ağ yapı (mesh) şeklinde parçalara ayrılarak bilgisayarlar ile işlenebilir bir yapıya dönüştürülmekte ve sayısal modellemeleri yapılmaktadır[48]. FIT yönteminde sayısal bir yapıya dönüştürmenin ilk adımı; elektromanyetik bir alanı, sınırlı bir yapıya dönüştürmektir. İkinci adım ise çalışma alanı olarak belirlenmiş kısmı, dörtyüzlü (tetrahedra) veya altı yüzlü (hexahedra) daha küçük hücrelere bölmektir. Hücrelerin kesiştiği kısımlar boş kabul edilebilir(Şekil 3.2) [49].



Şekil3.2. CST programıyla SAR hesaplama basamakları [49].

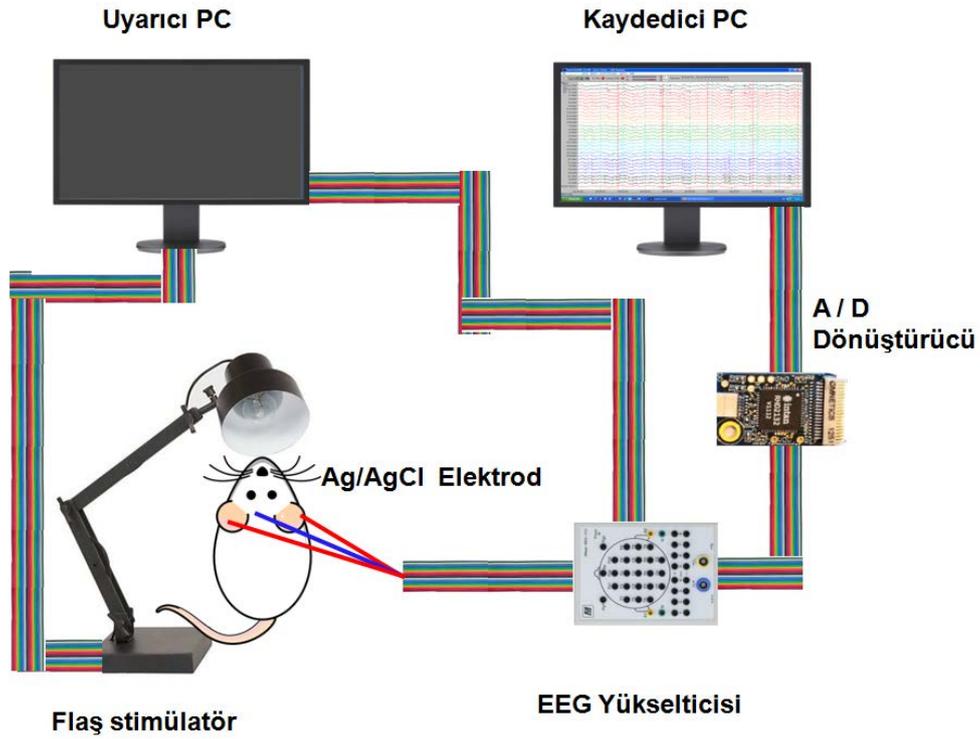
CST programı ile önce, kullanılan cep telefonu modelinin birebir tasarımı yapıldı. Tasarımdan sonra, program üzerinde tanımlı modelleme yöntemleri kullanılarak ölçümler gerçekleştirildi. Ölçümler sırasında geçici çözücü (transient solver) yöntemi kullanıldı. Sıçanlardaki elektrik alan ve SAR dağılımını hesaplamak için, CST programı ile sıçanların bilgisayarlı tomografi kesitlerinden voksel sıçan modeli oluşturuldu. Model, 6 yüzlü küçük hücrelere bölündü. 1 g ve 10 g doku kütlesi için SAR değeri, IEEE/IEC 62704-1 ortalama yöntemi kullanılarak hesaplandı.

### **3.5. Görsel Uyarılmış Potansiyellerin Kayıtlanması**

Deney ve sham grubundaki sıçanların, ketamin (80 mg/kg) ve ksilazin (8 mg/kg) anestezisi altında; görme korteksi üzerindeki oksipital bölgeye yerleştirilen Ag-AgCl (gümüş-gümüşklorür) disk elektrot aracılığıyla, ses ve elektromanyetik yalıtımı olan, karanlık bir odada flaş uyarılara karşı sol, sağ vebilateral görsel uyarılma potansiyelleri (GUP) kaydedildi (Şekil 3.3). Referans ve toprak elektrotlar kulaklara yerleştirildi. Kayıt öncesinde tüm elektrot dirençleri 30 kOhm'un altında tutuldu. Bilgisayar programı aracılığıyla tetiklenen flaş uyarılar, LED (lightemitting diode) tabanlı bir fotostimülatör(Şekil 3.3)ile uygulandı. Uyarıların süresi 30 ms ve uyarılar arası süre 1.100 ms olarak ayarlandı. Her bir kayıt dönemi 100 adet uyarıdan oluştu. Elektroansefalogram kayıtları, La Mont Medical Inc. Şirketi'nin 32 kanallı EEG Yükselticisi ile sürekli ve dijital olarak alınıp; 0,1 Hz yüksek geçiren ve 70 Hz alçak geçiren filtre uygulanarak 256 nokta/s örnekleme hızıyla kaydedici bilgisayarın hard diskine off-line analiz için aktarıldı(Şekil 3.4).Artefakt eliminasyonunun ardından, kayıtlar 100 ms uyarı öncesi ve 400 ms uyarı sonrası olmak üzere toplam 500 ms'lik EEG dilimlerine ayrılıp ve bu dilimlerin ortalamaları alındı. Sonra da; GUP yanıtlarının (P2, N2 ve P3) latans, genlik ve tepeden-tepeye genlik değerleri ölçüldü.



Şekil 3.3. Görsel uyarılmış potansiyelleri kaydetme tekniği.

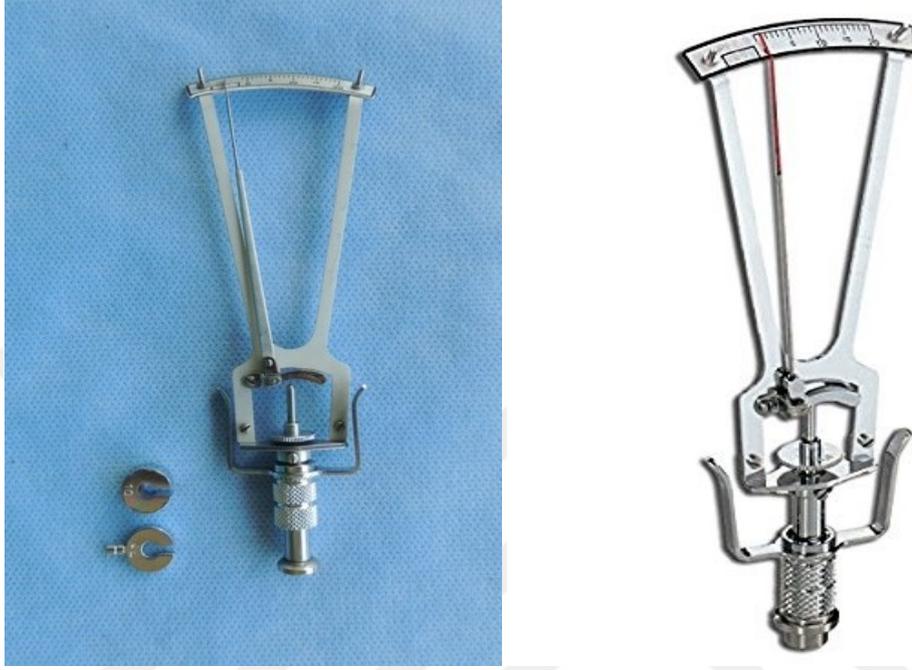


Şekil 3.4. Elektroansefalogram kayıt tekniğinin şematik gösterimi.

### 3.6. Göz İçi Basıncının Ölçülmesi

Kırkbeş (45)gün sonunda; göziçi basıncı ve optik sinir ilişkisini göstermek amacıyla deney ve sham grubundaki sıçanlarda göziçi basıncı, sıçanlar için özel olarak tasarlanmış

Riester No. 5112 Schiötz C marka tonometre (Şekil 3.5) ile ölçüldü. Sıçanlar anestezi altındayken; önce deney grubu sonrasham grubu olmak üzere, el yardımıyla göz kapakları iyice açıldı ve göz yuvarlağı tam olarak ortaya çıkarıldı. Tonometrenin ölçüm yapan kısmı, göz yuvarlağının üzerine ayarlı olarak konulup tonometre üzerinde gösterilen değerler kaydedildi.



Şekil 3.5. Tonometre.

### 3.7. Antioksidan Aktivitenin Ölçümü

Görsel uyarılmış potansiyellerin ölçümünden sonra sıçanlar anestezi altında sakrifiye edilerek optik sinir izole edildi. Doku lipid peroksidasyonu ve antioksidan enzim düzeyleri ölçüldü. Ölçümler için aşağıdaki işlemler uygulandı.

#### 3.7.1. Lipid Peroksidasyon Ölçümü

Optik sinirde, lipid peroksidasyon ürünü olan malondialdehid (MDA) ölçümü yapıldı. MDA ölçümü, Okhawa tarafından önerilen yöntemle yapıldı. Yöntemde prensip olarak, lipid peroksidasyon ürünleri ile tiyobarbitürük arasındaki reaksiyon sırasında oluşan pembe rengin spektrofotometrik olarak ölçülmesi prensibi kullanıldı.

### **3.7.2. Glutasyon Peroksidaz Enzim Aktivitesinin Ölçümü**

Beutler tarafından önerilen yönteme göre çalışıldı. Yöntem olarak; redükte glutasyonun, okside glutatyonla dönüşümü esnasında oluşan NADPH'nin 340 nm dalga boyunda ölçülmesi prensibi kullanıldı.

### **3.7.3. Süperoksit Dismutaz (SOD) Aktivitesi**

Pirogallol akuatik, çözeltilerde 420 nm'de okunabilir sarı renk oluşturmaktadır. Bu işlem süperoksit iyonlarının varlığına dayanmaktadır. SOD enzimi; pirogallolu, süperoksit anyonlarını yıkarak oto-oksidasyondan korumaktadır. Buna göre; pirogallolun, SOD tarafından oksidasyonunun inhibisyonu 420 nm'de ölçüldü ve enzimin ürettiği %50 inhibisyonun, bir ünite enzim aktivitesine denk geldiği görüldü.

### **3.7.4. Katalaz Aktivitesi**

Katalaz (CAT), hidrojen peroksiti ( $H_2O_2$ ) suya ve moleküler oksijene yıkmaktadır.  $H_2O_2$  yıkımı, 230 nm'de spektrofotometrede okunmaktadır. Bu sebeple; oluşan hemolizatin stabilizasyonu için, katalazın kompleks II bölgesini yıkan etanol eklendi [50].

## **3.8. Optik Sinirin Histolojik Olarak Değerlendirilmesi**

### **3.8.1. Dokuların Elde Edilişi**

Deney sonunda; denekler, ksilazin (8 mg/kg) ve ketamin (80 mg/kg) (i.p.) anestezisi ile uyutuldu. Deneklerin ağırlı uyaranlara yanıt vermemesi beklendikten sonra, optik sinirleri çıkarıldı ve denekler sakrifiye edildi. Çıkarılan dokular, elektron mikroskopik incelemeler için %2,5'lük gluteraldehit fiksatifine alındı.

### **3.8.2. Elektron Mikroskopik İncelemeler**

Elektron mikroskopik inceleme için %2,5'lük gluteraldehit fiksatifine alınan optik sinir örnekleri  $+4^{\circ}C$ 'de dört saat bekletildi. Bu sürenin sonunda fikse olan dokular, fosfat tamponu ile yıkayıp fiksatifin uzaklaştırılması sağlandı ve dokular fosfat tamponuna alındı. Daha sonra aşağıdaki işlemler uygulanarak doku takibi yapıldı:

- % 1'lik osmium tetraoksit solüsyonunda +4 °C' de 1 saat,
- Tamponla yıkama +4 °C' de 10 dakika (dk),
- % 50 Alkol +4 °C' de 10 dk,
- % 60 Alkol +4 °C' de 10 dk,
- % 70 Alkol +4 °C' de 10 dk,
- % 80 Alkol +4 °C' de 10 dk,
- % 90 Alkol +4 °C' de 10 dk,
- % 96 Alkol +4 °C' de 15 dk,
- % 96 Alkol +4 °C' de 15 dk,
- % 96 Alkol +4 °C' de 20 dk,
- % 96 Alkol +4 °C' de 20 dk,
- Propilen oksitte oda sıcaklığında 15 dk (rotatorda),
- Propilen oksitte oda sıcaklığında 15 dk (rotatorda),
- 3 propilen oksit + 1 epoksi rezin oda sıcaklığında 1 saat (rotatorda),
- 2 propilen oksit + 2 epoksi rezin oda sıcaklığında 1 saat (rotatorda),
- 1 propilen oksit + 3 epoksi rezin oda sıcaklığında 1 saat (rotatorda),
- Epoksi rezinde oda sıcaklığında bir gece bekletildi.

Bu işlemlerden sonra, dokular gömme kapsülleri içerisindeki epoksi rezine(EMBed-812 Embedding Kit)gömüldü ve 60°C'lik etüvde 24 saat polimerizasyona bırakıldı. Bu bloklardan ultramikrotom (Leica UCT125, Leica GmbH, Almanya) ile 70 nm kalınlığında kesitler bakır gridlere alındı ve uranil asetat ile kurşun sitrat solüsyonlarında sırasıyla 5'er dakika bekletilerek kontrastlama yapıldı. Kontrastlanan kesitler, transmisyon elektron mikroskobu (JEOL JEM1011, JEOL Corp., Tokyo, Japonya) ile incelendi. Daha sonra aynı mikroskoba takılı bir dijital kamera (Megaview III, Olympus GmbH, Almanya) ile fotoğraflanarak değerlendirmeler yapıldı.

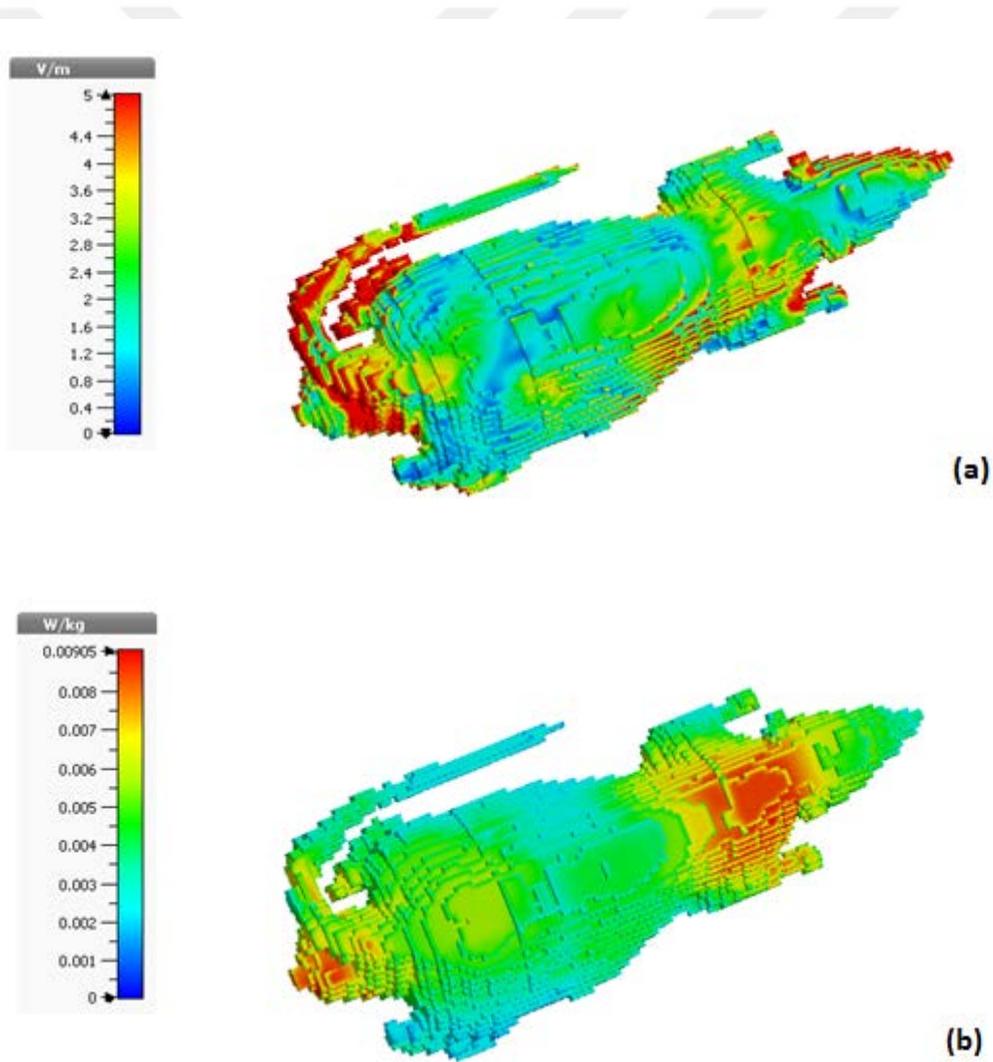
### 3.9. İstatistiksel Analiz

Gruplar arasındaki farklar, istatistiksel analizle belirlendi. Verilerin normal dağılıma uygunluğu test edildikten sonra; normal dağılım gösterdiğinde student-t testi, normal dağılım göstermediğinde ise Mann-Whitney U testi kullanıldı.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Tüm Vücut Elektrik Alan ve SAR Dağılımı

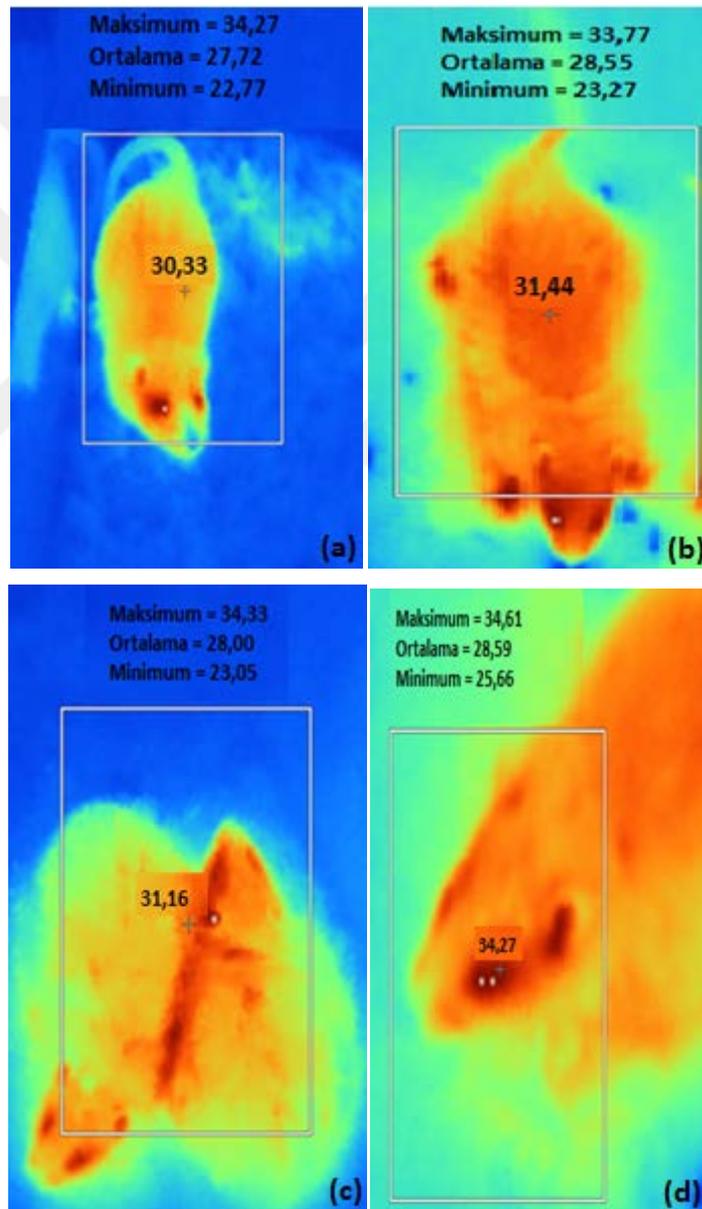
Uygulama odacığının farklı bölümlerinde taşınabilir elektrik alan probuyla ölçülen elektrik alanı değerlerinden hesaplanan ortalama elektrik alan değeri 6,0 V/m'dir. Simulasyonla elde edilen maksimum elektrik alan değeri 5,4 V/m ve maksimum SAR değeri 0,009 W/kg'dır (10 g doku kütlesi için) (Şekil 4.1).



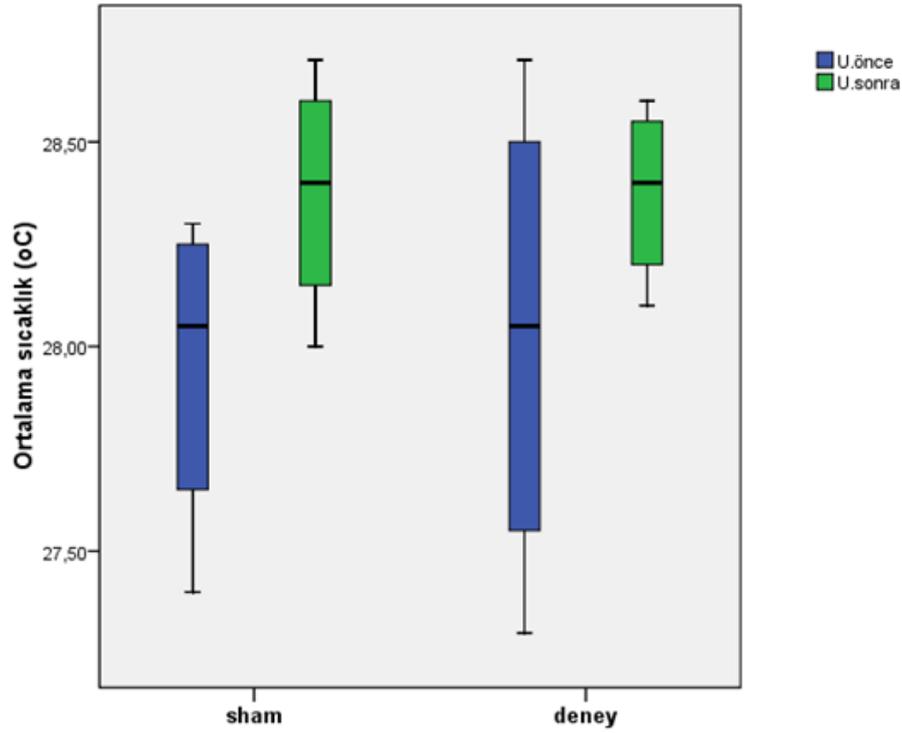
**Şekil4.1.** (a) Simulasyonla elde edilen elektrik alan değerleri. (b) Simulasyonla elde edilen SAR değerleri.

## 4.2. Deri Sıcaklığı

Şekil 4.2, sham ve deney gruplarından deney öncesi ve deney sonrası kaydedilen termal kamera görüntülerinden birer örnek; şekil 4.3 ise, her iki grup için uygulama öncesi ve sonrasındaki sıcaklık dağılımını göstermektedir. Ortalama deri sıcaklığı uygulama öncesinde sham grubunda  $27,95\pm 0,40^{\circ}\text{C}$  deney grubunda  $28,37\pm 0,29^{\circ}\text{C}$  olarak uygulama sonrasında ise sham grubunda  $28,02\pm 0,60^{\circ}\text{C}$  deney grubunda  $28,38\pm 0,22^{\circ}\text{C}$  olarak hesaplanmıştır. Deri sıcaklığında uygulama öncesi ve sonrası sıcaklık değerleri arasında grup içinde ve gruplar arasında önemli bir fark gözlenmemiştir ( $p>0,05$ ).



**Şekil 4.2.** (a) Deney öncesi sham grubu sıcaklık değerleri. (b) Deney öncesi deney grubu sıcaklık değerleri. (c) Deney sonrası sham grubu sıcaklık değerleri. (d) Deney sonrası deney grubu sıcaklık değerleri (Sayısal değerler  $^{\circ}\text{C}$  cinsinden yazılmıştır).



**Şekil 4.3.** Her iki grup için uygulama öncesi ve sonrasındaki sıcaklık dağılımında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır ( $p>0,05$ ).

### 4.3. Biyokimyasal Bulgular

Optik sinir MDA düzeyi ile SOD ve CAT aktiviteleri ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi; MDA düzeyi, deney grubunda sham grubuna göre önemli oranda artmıştır ( $p=0,002$ ). Antioksidan enzimlerden SOD ve CAT düzeyleri ise deney grubunda sham grubuna göre önemli oranda azalmıştır ( $p<0,05$ ).

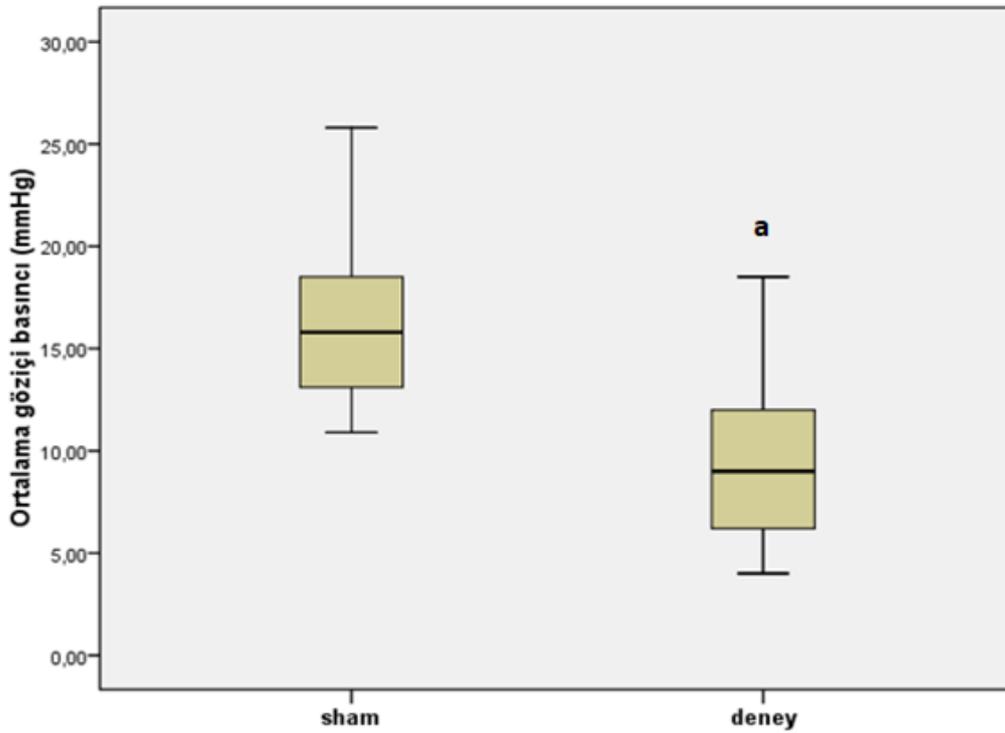
**Tablo 4.1.** Sham ve deney gruplarında MDA düzeyleri ile SOD ve CAT enzim aktiviteleri.

Değişkenler	Sham	Deney	p değeri
MDA (nmol/mgprotein)	3,49±1,89	7,62±1,03	0,002
SOD(U/mgprotein)	12,37±2,43	5,94±0,46	0,001
CAT(U/mgprotein)	24,03±14,21	11,11±1,33	0,049

#### 4.4. Göz İçi Basıncı

Göz içi basıncına ait değerler karşılaştırıldığında; göz içi basıncının deney grubunda sham grubuna göre yaklaşık %47 oranında azaldığı ve bu azalmanın istatistiksel olarak önemli olduğu gözlenmiştir ( $p < 0.05$ ) (Şekil 4.4).

Çalışma sonucunda; 45 gün boyunca, günde 2 saat 4,5 G uyumlu cep telefonu radyofrekans alana maruz kalan sıçanların göz içi basınçlarında önemli değişiklikler gözlenmiştir.



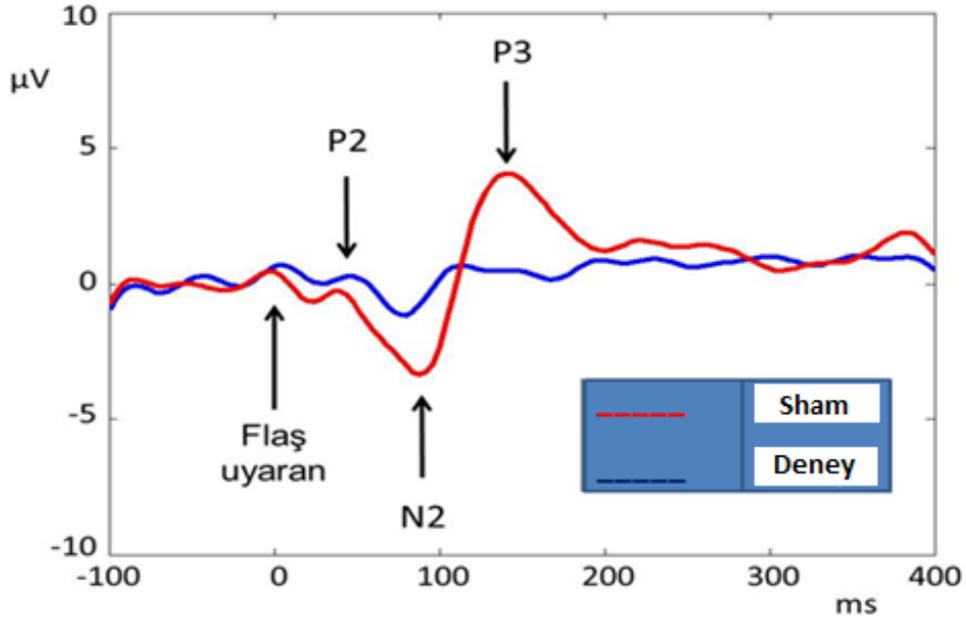
**Şekil 4.4.** Sham ve deney gruplarında ortalama göziçi basıncı değişimleri. <sup>a</sup>Sham grubu ile deney grubu arasındaki istatistiksel farkı temsil etmektedir. Göz içi basınç değerleri bakımından; deney grubunda, sham grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmaktadır ( $p < 0,05$ ).

#### 4.5. Fizyolojik Bulgular

Sham ve deney grupları arasında P2 dalgasının genliği açısından önemli bir fark bulunmazken ( $p > 0.05$ ); N2 ve P3 genlikleri ile P2-N2 ve N2-P3 tepeden tepeye genlikleri istatistiksel olarak önemli oranda azalmıştır ( $p < 0.05$ ) (Şekil 4.5).

Deney grubunda P2 ve N2 latansları, sham grubuna göre bir değişiklik göstermezken ( $p > 0.05$ ); P3 latansı, deney grubunda sham grubuna göre daha kısa bulunmuştur ( $p < 0.05$ ) (Şekil 4.5).

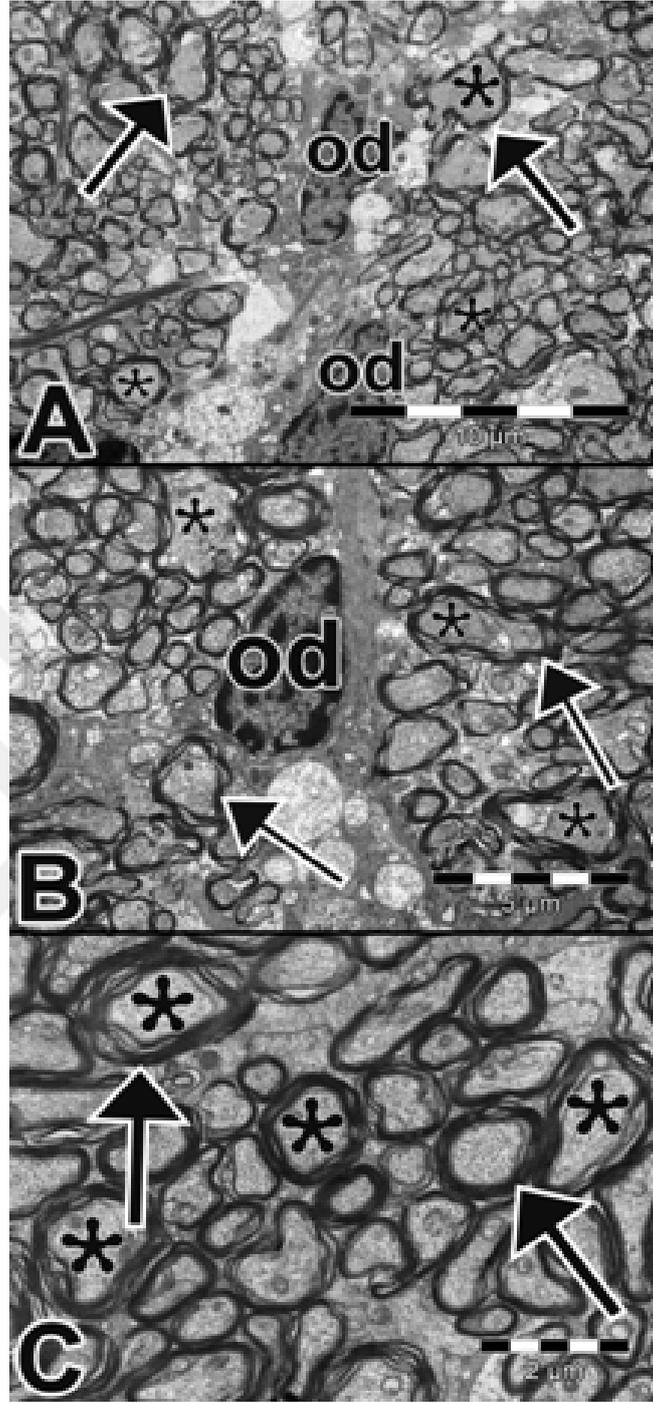
Çalışma sonucunda; 45 gün boyunca günde 2 saat 4,5 G uyumlu cep telefonuyla radyofrekans alana maruz kalan sıçanların görsel uyarılmış potansiyellerinde önemli değişiklikler gözlenmiştir.



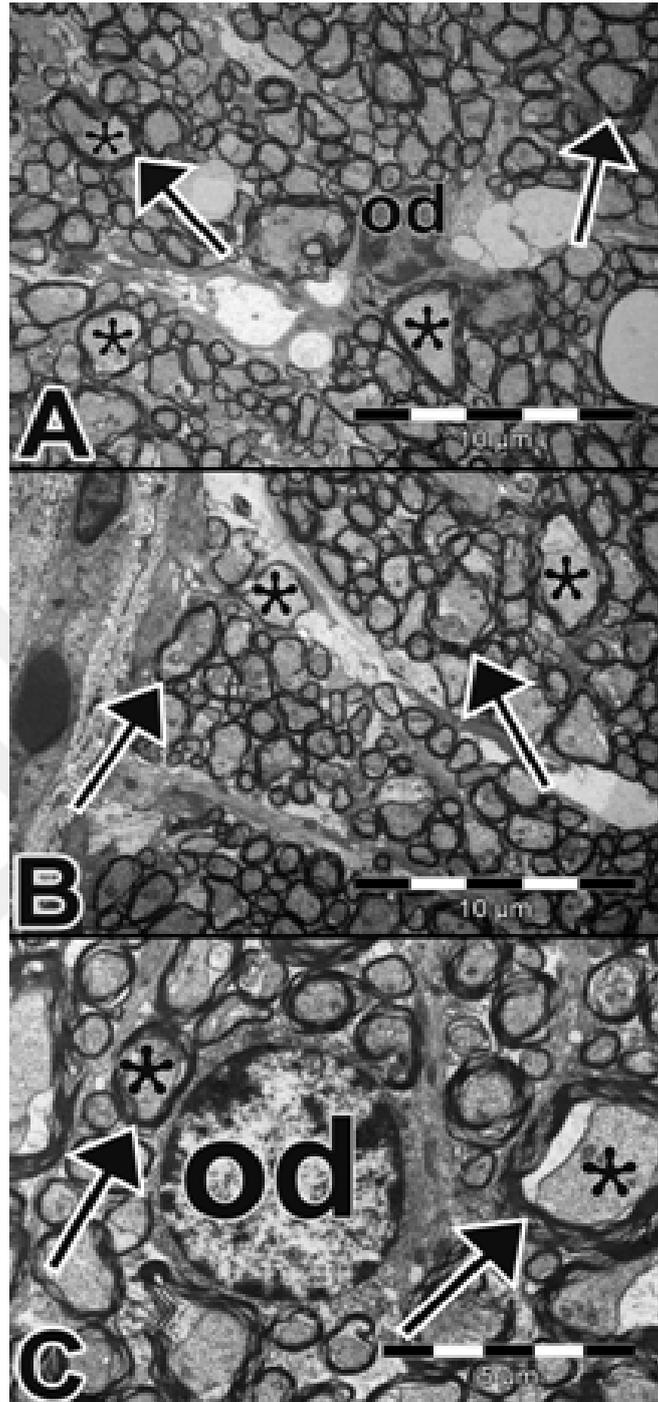
Şekil 4.5. Fizyolojik bulgular sonucunda sham ve deney grubuna ait GUP yanıtları.

#### 4.6. Histolojik Bulgular

Elektron mikroskopu ile yapılan incelemeler sonucunda; hem sham hem de deney grubunda miyelinli sinir liflerinin, aksonların ve glial hücrelerin normal morfolojiye sahip olduğu izlendi (Şekil 4.6 ve 4.7).



**Şekil 4.6.** Sham grubuna ait fotomikrograf. Normal görünümlü miyelinli sinir lifleri (ok), akson (asterisk) ve oligodendrosit. A X5000, B X7500, C X15000.



**Şekil 4.7.** Deney grubuna ait fotomikrograf. Normal görünümlü miyelinli sinir lifleri (ok), akson (asterisk) ve oligodendrosit. A ve B X5000, C X10000.

## 5.TARTIŞMA

Bu çalışmada; 4,5 G teknolojisine sahip cep telefonunun görme sistemi üzerine etkileri elektrobiyofiziksel, biyokimyasal ve histolojik yöntemler kullanılarak araştırılmıştır. Çalışma sonunda; 45 gün boyunca günlük 2 saat cep telefonu kullanımının göz içi basıncında azalmaya, GUP genliğinde azalma ve latansında kısalmaya, MDA düzeyinde artışa, SOD ve CAT düzeyinde azalmaya yol açtığı ancak optik sinir ultra yapısında herhangi bir değişikliğe neden olmadığı gözlenmiştir.

Bu tez çalışmasında 4,5 G uyumlu telefon kullanılmıştır. 4,5-5 G sistemleri yaklaşık 1000 kat daha hızlı veri aktarım kapasitesine, 10-100 kat daha fazla cihaza bağlanma ve bu cihazları kontrol etme kapasitesine ve 5 kat daha düşük gecikme hızına sahiptir [51]. Bu teknolojiyi kullanan cep telefonunun; diğer telefonlardan en önemli farklarından biri, tek bir frekans değerinde değil bir frekans bandında çalışıyor olmasıdır. Bu telefonların yaydığı RF enerji değerinde, frekans bandının genişliğiyle orantılı bir artış söz konusudur. Ayrıca bu telefonların sorunsuz çalışmasını destekleyen alt yapı da, bu teknolojiye bağlı kirlenmenin ve dolayısıyla sağlık risklerinin artışında rol oynamaktadır [52]. Özetle; bu teknolojinin günlük yaşamda kullanılan çok sayıda cihaza bağlanarak bu cihazları çalıştırması, kısa mesafelerde etkili olması nedeniyle ortalama 10-12 konutu kapsayacak yeni antenlere ihtiyaç duyması çevresel elektromanyetik kirliliğin üst boyutlara çıkmasına neden olmaktadır.

Cep telefonu araştırmalarının en önemli basamaklarından biri, dozimetrisinin doğru biçimde saptanmasıdır. Çünkü;cep telefonunun oluşturacağı sağlık riskleri, dozimetri ile yakından ilişkilidir [12]. Doku kütlesine ve vücudun kaynağa olan mesafesine bağlı olarak, farklı SAR değerinin hesaplanmasında farklı teknikler kullanılmaktadır [53, 54]. Bunlar; tüm vücut ortalama SAR değeri, lokal SAR değeri ve noktasal SAR değeridir. Tüm vücut ortalama SAR değeri ile lokal SAR değerinin en önemli özelliklerinden biri, güç hesaplanmasında vücut hacminin dikkate alınmasıdır. Bu çalışmada, SAR değerini hesaplamak için FIT tekniği kullanılmış ve 10 g doku için ortalama vücut SAR değeri 0,009 W/kg olarak hesaplanmıştır. SAR değeri içintüm dünyada en yaygın kullanılan iki standarttan biri Federal İletişim Komisyonu (FCC), diğeri ise Amerika Birleşik Devletleri ve Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon Koruması Komisyonu (ICNIRP)'dir. Yakın alan SAR limiti ICNIRP'ye göre 2 W/kg (10 g doku için; 10-10.000 MHz), FCC'ye göre 1,6 W/kg (1 g doku için; 0,1-6000 MHz) olarak belirlenmiştir. Ancak; 2012 yılında uluslar arası bağımsız araştırmacılar tarafından yayınlanan biyoinitativ raporda [55], bu alanda yapılan çalışmalar tekrar değerlendirilerek bu limitler yeniden belirlenmiştir. Belirlenen bu limitler, FCC ve ICNIRP'nin belirlediği limitlere göre yüzlerce kat daha düşüktür [55]. Literatürde, düşük yoğunluklu RF etkileniminin yol açtığı hasarlara ilişkin çok sayıda çalışma mevcuttur.Deshmukh ve arkadaşları tarafından sıçanlarda yapılan bir

çalışmada; sıçanlara 90 gün boyunca, 900 MHz frekans ve  $5,953 \times 10^{-4}$  W/kg SAR değerinde, 1.800 MHz frekans ve  $5,835 \times 10^{-4}$  W/kg SAR değerinde, 2.450 MHz frekans ve  $6,672 \times 10^{-4}$  W/kg SAR değerinde RF radyasyon uygulanmıştır. Tüm hayvanların öğrenme performansları ölçülmüş, izole beyin dokusunda HSP70 düzeyleri ve DNA hasarı saptanmıştır. Çalışma sonucunda, düşük yoğunluklu RF radyasyonun beyin hasarına yol açtığı öne sürülmüştür [56]. Dasdağ ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada; sıçanlara 1 yıl boyunca, günde 24 saat, 2.450 MHz frekansında RF radyasyon uygulanmış ve sıçanların tüm vücut SAR değeri maksimum 0,001 W/kg (10 g doku için) olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonunda, beyin dokusu miRNA ekspresyonunda değişiklik olduğu bildirilmiştir [57]. Bu ve benzeri çalışmalar [58]; ICNIRP ve FCC tarafından belirtilen limitlerin çok altındaki etkilenimlerde, sağlık sorunlarının ortaya çıkabileceğini desteklemektedir.

Uygulamaya başlamadan önce ve iki saatlik uygulama sırasında derideki sıcaklık dağılımı termal kamera aracılığıyla hem sham grubunda hem de deney grubunda ölçülmüştür. Deri sıcaklık değişimi açısından, her iki grupta uygulama öncesi ve sonrası arasında önemli bir fark bulunmamıştır. Deney grubundaki sıçanlarda, deri sıcaklığında uygulamaya bağlı önemli bir değişim olmaması birkaç nedene bağlı olabilir. Bunlardan biri, mesafedir. Pleksiglas deney odacığında, cep telefonu yerleşim yeri ile sıçanların sırtları arasındaki mesafe yaklaşık 20 cm'dir. Ayrıca; odacık, üstten ve yanlardan çok sayıda havalandırma deliği içermektedir. Bu mesafe ve havalandırma sistemi, deride olası bir sıcaklık yükselmesini engellemiş olabilir. Bir diğer neden, cep telefonunun sıçanlarda oluşturduğu düşük ortalama tüm vücut SAR değeridir. Oldukça düşük olan bu 0,009 W/kg'lık SAR değerinin, deride termal stres oluşturma olasılığı çok düşüktür. Buna ek olarak; vücudun, RF enerjisi dahil olmak üzere her türlü enerji artışına karşı bir termoregülatör cevabı söz konusudur [59].

Bu tez çalışmasında; 4,5 G teknolojisine sahip cep telefonlarının görme sistemi üzerine etkisini belirlemek için kullanılan yöntemlerden biri, tonometre ile göziçi basıncının ölçülmesidir. Deney grubunda göziçi basıncı, sham grubuna göre yaklaşık %50 oranında azalmıştır. Oküler hipotoni olarak adlandırılan bu durumun etyolojisinde, fiziksel ve kimyasal ajanlar da rol oynamaktadır. Hipotoninin görmede azalmaya yol açtığı, katarakt ve makülopati gelişimini hızlandırdığı rapor edilmiştir [60].

Göz içi basıncı, aköz sıvısı tarafından oluşturulur. Doğal aköz üretimi, dakikada 2,5 mikrolitredir; bunun %90'ı konvansiyonel trabeküler yolla, geri kalanı uvea-skleral yolla sistemik dolaşıma katılır. Hipotoni, aköz sıvısının dışarı akışındaki artışa bağlı olarak gelişir. Ayrıca; inflamasyon, kan-aköz bariyerini bozarak permeabiliteyi artırır. Aköz üretimi düşer. Hipotoni bazen de retinal dekolmana bağlı olarak ortaya çıkar. Retina dekolmanı,retinanın en dış katı olan retina pigment epiteli ile fotoreseptör katları arasında sıvı birikerek nörosensoryel

retinanın yani sinir-duyu katmanının retinal pigment epitelinden ayrılmasıdır. Ayrılmış retina bölgesinde görme fonksiyonunun kaybı, tam görme kaybına kadar ilerleyebilir [60].

Literatürde, RF radyasyonun göziçi basıncına etkisini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak; hipotoninin, katarakt ve makülopatiyi hızlandırdığı bilgisine dayanarak yüksek yoğunluklu RF radyasyonun yol açtığı bildirilen katarakt gelişiminde [61] düşük intraoküler basıncın da etkisi olabileceği varsayılmıştır.

Bu tez çalışmasında; RF radyasyonun gözdeki etkisini belirlemek için kullanılan yöntemlerden bir başkası, GUP ölçümüdür. GUP, görsel yollar ve oksipital korteksteki işlevsel bozuklukları yüksek zamansal çözünürlükle ve objektif olarak yansıtan EEG temelli elektrofizyolojik bir tanı yöntemidir [54]. Akson hasarında olduğu gibi nöronal iletimde kesintiye neden olan patolojiler, GUP yanıtlarının genliğinde azalmaya neden olurken; demiyelinizasyon gibi iletim hızında azalma yapan bozukluklar, GUP yanıtlarının latanslarında anormal uzamalara yol açarlar [62, 63]. Çalışmamızda; sıçanlarda, radyasyonun GUP genlik ve latansları üzerine olan etkileri incelendi. Deney grubunda elde edilen GUP yanıtlarında, N2 ve P3 genlikleri ile tepeden-tepeye P2-N2 ve N2-P3 genlikleri sham grubu ile karşılaştırıldığında anlamlı olarak daha küçük bulundu. P3 latansının ise deney grubunda, sham grubuna göre kısaldığı gözlemlendi. Literatürde, cep telefonlarının görsel uyarılmış potansiyeller üzerine etkisini inceleyen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Urban ve arkadaşlarının yaptığı bir pilot çalışmada; 20 sağlıklı birey, 5 dakika, çıkış gücü 1,5 W olan Motorola 8700 cep telefonunun akut etkisine maruz bırakılmış ve görsel uyarılmış potansiyelleri kayıtlanmıştır. Maruziyet öncesi GUP kayıtları, kontrol olarak alınmıştır. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda; GUP latansları ve amplitüdüleri arasında, uygulama öncesi ve sonrası arasında önemli bir fark bulunmamıştır [64]. Kaushik ve arkadaşları tarafından; yaşları 18-40 arasında değişen 50 sağlıklı bireyde yapılan bir çalışmada, cep telefonu kullanım süresinin görsel uyarılmış potansiyeller üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 6 yıl ve daha az cep telefonu kullanan denekler, grup 1; 6 yıldan fazla kullananlar ise grup 2 olarak ayrılmışlardır. Çalışma sonunda; iki grup arasında, GUP amplitüdüleri ve latansları açısından istatistiksel farklılık olduğu bildirilmiştir. Grup 2'de, ortalama latans daha uzun ve amplitüd daha düşük bulunmuştur. Araştırmacılar sonuç olarak, cep telefonları tarafından yayılan RF enerjinin kullanım süresine bağlı olarak görme sistemini etkilediğini öne sürmüşlerdir [65]. Sıçanlarda yapılan bir çalışmada ise maruziyet süresinin görsel uyarılmış potansiyeller üzerine etkisi incelenmiştir. Araştırma sonunda; 2.100 MHz RF enerjiye 1 hafta maruz kalan sıçanlarda GUP latanslarının kısaldığı, 10 haftalık maruziyet sonunda ise GUP latanslarının uzadığı bulunmuştur [66]. Bu çalışmalarla birlikte bu tez çalışmasında elde edilen bulgular; RF enerjinin, görme yolları ve görme merkezinde patolojik değişikliklere yol açabileceğine işaret etmektedir.

Serbest radikal olarak isimlendirilen süperoksit radikali, hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ), geçiş metal iyonları ve hidroksil radikalleri hücrel metabolizma sırasında üretilir. Reaktif oksijen türleri (ROS) olarak da isimlendirilen bu moleküller, serbest radikal zincir reaksiyonlarını başlatabilir; başta lipidler olmak üzere hücrel makro moleküllerle reaksiyona girerler. Bu reaksiyonlar sonucunda oksidatif stres oluşur. Oksidatif stres; lipid peroksidasyonu ve hücre ölümüne neden olabilir. Oksidatif stresin etkisi, antioksidan sistemle engellenir [67].

Elde edilen elektrobiyofiziksel bulgularda oksidatif stresin rolünü belirlemek için bu çalışmada, optik sinirde MDA düzeyi ile antioksidan sistem enzimlerinden SOD ve CAT aktiviteleri ölçülmüştür. MDA, lipid peroksidasyonunun bir göstergesidir. SOD enzimi süperoksit radikali hidrojen peroksit ve moleküler oksijene katalizlerken, CAT enzimi hidrojen peroksidi su ve moleküler oksijene dönüştürerek ortamdan uzaklaştırır. Bu çalışmada; deney grubunda optik sinir MDA düzeyinde önemli bir artış, SOD ve CAT düzeylerinde ise önemli azalma olduğu gözlenmiştir. SOD ve CAT aktivitesindeki azalmalar; süperoksit ve hidrojen peroksit moleküllerinin ortamdan yeterince temizlenememesine ve bunun sonucunda oksidatif strete artışa neden olur. Bu sonuçlar 4,5 G uyumlu cep telefonunun, optik sinirde oksidatif hasarı arttırdığını düşündürmüştür ve bu çalışmada oksidatif hasara ilişkin bulgular, literatürde RF radyasyonun oksidatif hasara yol açtığını gösteren çok sayıdaki çalışmayla uyumludur [39, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74]. Yapılan çalışmalarda; oksidatif hasarın, birçok sinir sistemi hastalığında rol oynayabileceği bildirilmiştir [75].

Bu çalışmada; elektrobiyofiziksel ve biyokimyasal bulguların işaret ettiği hasarların, optik sinirde yapısal değişikliklere yol açıp açmadığını belirleyebilmek için optik sinir ultrayapısı değerlendirilmiştir. Ancak optik sinir ultrayapısında, deney ve sham grupları arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Literatürde radyofrekans radyasyonun optik sinir üzerine histopatolojik etkisini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Gözün farklı bölümlerindeki değişikliklerin incelendiği çalışmalar ise sınırlı sayıdadır. Kues ve arkadaşları; tavşan ve maymunlarda yaptıkları çalışmada 5 gün boyunca, günde 4 ve 8 saat olmak üzere uygulanan  $100 W/m^2$  güçte ve 60 GHz frekansında RF radyasyonun kornea, iris veya lenste histopatolojik etkiye yol açmadığını bildirmişlerdir [42]. Lu ve arkadaşları ise yine maymunlarda yaptıkları bir çalışmada; 3 hafta boyunca uyguladıkları  $130 mW/kg$  SAR değerindeki RF radyasyonun retinada herhangi bir histopatolojik değişikliğe yol açmadığını bildirmişlerdir [43].

## 6.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada; sıçanlar 45 gün boyunca, günde 2 saat, maksimum 5,4 V/m'lik elektrik alanına, maksimum 0,009W/kg'lık SAR'a ve 1800 MHz'lik EMA'ya sahip 4,5 G cep telefonu radyasyonuna maruz bırakılmıştır. Bunun sonucunda; sıçanların görme sisteminde meydana gelebilecek elektrobiyofiziksel, biyokimyasal ve histolojik bulgular değerlendirilmiştir.

Bu değerlendirmeler sonucunda;

1) Ortalama deri sıcaklığı uygulama öncesinde; sham grubunda  $27,95 \pm 0,40^{\circ}\text{C}$ , deney grubunda  $28,37 \pm 0,29^{\circ}\text{C}$  olarak bulunmuştur. Uygulama sonrasında ise sham grubunda  $28,02 \pm 0,60^{\circ}\text{C}$ , deney grubunda  $28,38 \pm 0,22^{\circ}\text{C}$  olarak bulunmuştur. Sonuçta; deri sıcaklığında uygulama öncesi ve sonrası sıcaklık değerleri arasında, grup içinde ve gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark gözlenmemiştir ( $p > 0,05$ ).

2) Optik sinir MDA düzeyi; deney grubunda, sham grubuna göre önemli oranda artmıştır ( $p = 0,002$ ). Antioksidan enzimlerden SOD ve CAT düzeyleri ise deney grubunda, sham grubuna göre önemli oranda azalmıştır ( $p < 0,05$ ).

3) Göz içi basıncına ait değerler karşılaştırıldığında; göz içi basıncının deney grubunda, sham grubuna göre yaklaşık %47 oranında azaldığı ve bu azalmanın istatistiksel olarak önemli olduğu gözlenmiştir ( $p < 0,05$ ).

4) GUP yanıtlarında, sham ve deney grupları arasında P2 dalgasının genliği açısından önemli bir fark bulunmazken ( $p > 0,05$ ); N2 ve P3 genlikleri ile P2-N2 ve N2-P3 tepeden tepeye genlikleri açısından deney grubunda, sham grubuna göre istatistiksel olarak önemli oranda azalmıştır ( $p < 0,05$ ). Deney grubunda P2 ve N2 latansları, sham grubuna göre bir değişiklik göstermezken ( $p > 0,05$ ); P3 latansı, deney grubunda sham grubuna göre daha kısa bulunmuştur ( $p < 0,05$ ).

5) Elektron mikroskobu ile yapılan histolojik incelemeler sonucunda ise; hem sham hem de deney grubunda miyelinli sinir liflerinin, aksonların ve glial hücrelerin normal morfolojiye sahip olduğu izlenmiştir. Yani; optik sinir ultrayapısında, deney ve sham grupları arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir.

Sonuç olarak; her gün 2 saat olmak üzere, 45 gün boyunca, 1.800 MHz frekansında ve 29,8 MHz bant genişliğinde 4,5 G uyumlu cep telefonuna maruz bırakılan sıçanlardaki göz içi basıncındaki azalma, GUP genliklerindeki azalma ve optik sinirde oksidatif stres artışı; 4,5 G uyumlu cep telefonu kullanımının, görme sisteminde hasara yol açarak olumsuz etkilediğini düşündürmüştür. Bu nedenle; 4,5 G özelliğine sahip cep telefonlarıyla konuşma, görüntülü görüşme, internet iletişimi gibi gündelik hayattaki işleri kolaylaştıran işlemleri mümkün

olduğunca kısa süre içerisinde yapmanın, görme sisteminde oluşabilecek sağlık risklerini azaltma açısından önemli olduğu düşünülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1]. Kalafatakis, F.; Bekiaridis, M. D.; Gkioka, E.; Tsolaki, M., Mobile phone use for 5 minutes can cause significant memory impairment in humans. *Hell J Nucl Med***2017**, 146-154.
- [2]. Misek, J.; Belyaev, I.; Jakusova, V.; Tonhajzerova, I.; Barabas, J.; Jakus, J., Heart rate variability affected by radiofrequency electromagnetic field in adolescent students. *Bioelectromagnetics* **2018**, 39, (4), 277-288.
- [3]. Baby, N. M.; Koshy, G.; Mathew, A., The effect of electromagnetic radiation due to mobile phone use on thyroid function in medical students studying in a Medical College in South India. *Indian J Endocrinol Metab***2017**, 21, (6), 797-802.
- [4]. Dasdag, S.; Akdag, M. Z.; Ulukaya, E.; Uzunlar, A. K.; Yegin, D., Mobile phone exposure does not induce apoptosis on spermatogenesis in rats. *Archives of Medical Research***2008**, 39, (1), 40-44.
- [5]. Yegin, K.; Yegin, E. G.; Dasdag, S., Effect of mobile phone signals on electrical impulses of myelinated nerve fibres. *J Int Dent Med Res***2017**, 10, (1), 186-192.
- [6]. El-Gohary, O. A.; Said, M. A., Effect of electromagnetic waves from mobile phone on immune status of male rats: possible protective role of vitamin D. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology***2017**, 95, (2), 151-156.
- [7]. Sıray, B.; Seyhan, N., Effects of GSM modulated radio-frequency electromagnetic radiation on permeability of blood-brain barrier in male & female rats. *J Chem Neuroanat***2016**, 75, 123-127.
- [8]. Kerimoğlu, G.; Güney, C.; Ersöz, Ş.; Odacı, E., A histopathological and biochemical evaluation of oxidative injury in the sciatic nerves of male rats exposed to a continuous 900-megahertz electromagnetic field throughout all periods of adolescence. *Journal of Chemical Neuroanatomy***2018**, 91, 1-7.
- [9]. [www.yildiz.edu.tr/~oscg/dersnotlari/holografi/D2.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~oscg/dersnotlari/holografi/D2.pdf)(26.11.2018).
- [10]. Pehlivan, F., *Biyofizik*. Yenilenmiş 8. baskı; Ankara, 2015; p 360.
- [11]. Kuhn, S.; Kelsh, M.; Kuster, N.; Sheppard, A.; Shum, M., Analysis of mobile phone design features affecting radiofrequency power absorbed in a human head phantom. *Bioelectromagnetics***2013**, 34, 479-488.

[12]. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). *Health Phys* **1998**, 74, (4), 494-522.

[13]. Daşdağ, S., *Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalında "iyonlaştırmayan elektromanyetik alanlar ve insan sağlığı" üzerine yapılmış araştırma sonuçlarının değerlendirilmesi*, Çevre ve Halk Sağlığı için Emanet 2011, 7-8 Ekim 2011, pp. 229-232.

[14]. Otin, R.; Gromat, H., Specific absorption rate computations with a nodal-based finite element formulation. *Progress In Electromagnetics Research* **2012**, 128, 399-418.

[15]. <https://www.dicle.edu.tr/Contents/0c966fc8-a6a4-47a5-9ef8-7156e81ed49c.pdf>(29.11.2018).

[16]. <https://www.slideshare.net/sefayasar12/orbita-anatomisi>(29.11.2018).

[17]. <https://fen-hocasi.blogspot.com/2017/03/duyu-organlari.html>(29.11.2018).

[18]. <http://sosyoloji.com/optik-sinir-nervus-opticus-nedir-anatomisi-yapisi/12556.html>(30.11.2018).

[19]. <http://www.emrullahtasindi.com/tr/icerik/14/retina-dekolmani>(30.11.2018).

[20]. <https://www.ogretmenlersitesi.com/egitimdokumanlari/indir.php?id=43537>(30.11.2018).

[21]. <http://soru.mobi/wp-content/uploads/gozun-yapisi.png>(04.12.2018).

[22]. <https://docplayer.biz.tr/45093652-Goz-ve-gorme-duyusu-hazirlayanlar-vildan-gaye-bala-silan-aktas-selin-bilgin-fen-bilgisi-egitimi-a-b-d.html>(04.12.2018).

[23]. [www.optikgazete.com/images/upload/Konkav Konveks Lensler Taylan Kucuker.pdf](http://www.optikgazete.com/images/upload/Konkav_Konveks_Lensler_Taylan_Kucuker.pdf)(04.12.2018).

[24]. <https://www.eokultv.com/duyu-organlari-goz-11-sınıf/23276>(04.12.2018).

[25]. <https://www.venividigoz.com/goz-hastaliklari/kirilma-refraksiyon-kusurlari/>(04.12.2018).

[26]. <https://aybu.edu.tr/sinancanan/contents/files/271ozel-duyular.pdf>(04.12.2018).

- [27]. [www.ofthalmoskop.net/?p=5205](http://www.ofthalmoskop.net/?p=5205)(05.12.2018).
- [28]. <http://www.itfnoroloji.org/uyandırılmış/ep.htm>(05.12.2018).
- [29]. <http://www.gozvakfi.com/normal-goz-ci-basinci-ne-kadardir.html>(06.12.2018).
- [30]. Ermiş, S. S.,*Glokom*. Derman Medical Publishing, 2016; p 109-113.
- [31]. <https://turkish.alibaba.com/product-detail/MCE-T170MW-Slit-Lamp-Goldman-Appplanation-60059124985.html>(06.12.2018).
- [32]. <http://www.eyecareandcure.com/ECC-Products/Tonometers/Tono-Pen-Avia-Appplanation-Tonometer>(06.12.2018).
- [33]. Guy, A. W.; Lin, J. C.; Kramar, P. O.; Emery, A. F., Effect of 2450-MHz Radiation on the Rabbit Eye. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques***1975**, 492-498.
- [34]. Kramar, P.; Harris, C.; Emery, A. F.; Guy, A. W., Acute microwave irradiation and cataract formation in rabbits and monkeys. *J Microw Power***1978**, 13, (3), 239-249.
- [35]. McAfee, R. D.; Longacre, A. Jr.; Bishop, R. R.; Elder, S. T.; May, J. G.; Holland, M. G.; Gordon, R., Absence of ocular pathology after repeated exposure of unanesthetized monkeys to 9.3-GHz microwaves. *J Microw Power***1979**, 14, (1), 41-44.
- [36]. McAfee, R. D.; Ortiz, L. R.; Bishop, R.; Gordon, R., Absence of deleterious effects of chronic microwave radiation on the eyes of rhesus monkeys. *Ophthalmology***1983**, 90, (10), 1243-1245.
- [37]. Saito, K.; Saiga, T.; Suzuki, K., Reversible irritative effect of acute 2.45GHz microwave exposure on rabbit eyes- a preliminary evaluation. *J Toxicol Sci***1998**, 23, (3), 197-203.
- [38]. Kojima, M.; Hata, I.; Wake, K.; Watanabe, S.; Yamanaka, Y.; Kamimura, Y.; Taki, M.; Sasaki, K., Influence of anesthesia on ocular effects and temperature in rabbit eyes exposed to microwaves. *Bioelectromagnetics***2004**, 25, (3), 228-233.
- [39]. Balci, M.; Devrim, E.; Durak, I., Effects of mobile phones on oxidant/antioxidant balance in cornea and lens of rats. *Curr Eye Res***2007**, 32, (1), 21-25.
- [40]. Kues, H. A.; Hirst, L. W.; Lutty, G. A.; D'Anna, S. A.; Dunkelberger, G. R., Effects of 2.45-GHz microwaves on primate corneal endothelium. *Bioelectromagnetics***1985**, 6, (2), 177-188.
- [41]. Kamimura, Y.; Saito, K.; Saiga Toshikazu, Amemiya Yoshifumi, Effect of 2.45 GHz microwave irradiation on monkey eyes. *IEICE Trans. Comm***1994**, 77, (6), 762-765.

- [42]. Kues, H. A.; D'Anna, S. A.; Osiander, R.; Green, W. R.; Monahan, J. C., Absence of ocular effects after either single or repeated exposure to 10 mW/cm<sup>2</sup> from a 60 GHz CW source. *Bioelectromagnetics***1999**, 20, (8), 463-473.
- [43]. Lu, S. T.; Mathur, S. P.; Stuck, B.; Zwick, H.; D'Andrea, J. A.; Ziriaux, J. M.; Merritt, J. H.; Luty, G.; McLeod, D. S.; Johnson, M., Effects of high peak power microwaves on the retina of the rhesus monkey. *Bioelectromagnetics***2000**, 21, (6), 439-454.
- [44]. Cleary, S. F.; Pasternack, B. S., Lenticular changes in microwave workers. A statistical study. *Archives of Environmental Health: An International Journal***1966**, 12, (1), 23-29.
- [45]. Aurell, E.; Tengroth, B., Lenticular and retinal changes secondary to microwave exposure. *Acta Ophthalmol (Copenh)***1973**, 51, (6), 764-771.
- [46]. Holly, E. A.; Aston, D. A.; Ahn, D. K.; Smith, A. H., Intraocular melanoma linked to occupations and chemical exposures. *Epidemiology***1996**, 7, (1), 55-61.
- [47]. Stang, A.; Anastassiou, G.; Ahrens, W.; Bromen, K.; Bornfeld, N.; Jöckel, K. H., The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. *Epidemiology***2001**, 12, (1), 7-12.
- [48]. Weiland, T., *A discretization model for the solution of Maxwell's equations for six component fields*. Archiv fuer Elektronik und Uebertragungstechnik, 1977; p 116-120.
- [49]. Costa, J. R.; Guterman, J., *Introduction to antenna and near-field simulation in CST Microwave Studio® software*. IEEE Communications Society Portugal Chapter: Lisbon, IT, 2010.
- [50]. Aebi, H., *Catalase in vitro*. Methods in Enzymology, 1984; p 121-126.
- [51]. Lubecke, O. B.; Lubecke, V. M.; Jokanovic, B.; Singh, A.; Shahhaidar, E.; Padasdao, B., *Microwave and wearable technologies for 5G*. 12th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS), Sirbistan, 14-17 Ekim 2015.
- [52]. Di Ciaula, A., Towards 5G communication systems: are there health implications?. *International Journal of Hygiene and Environmental Health***2018**, 221, (3), 367-375.
- [53]. Niedermeyer, E.; Lopes, S. F. H., *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. 6th ed.; Philadelphia: London, 2011; p 923-934.
- [54]. Heckenlively, J. R.; Arden, G. B., *Principles and Practice of Clinical Electrophysiology of Vision*. 2nd ed.; London: The MIT Press, 2006; p 207-234.
- [55]. <http://www.biointiative.org>(03.12.2018).

- [56]. Deshmukh, P. S.; Megha, K.; Nasare, N.; Banerjee, B. D.; Ahmed, R. S.; Abegaonkar, M. P.; Tripathi, A. K.; Mediratta, P. K., Effect of low level subchronic microwave radiation on rat brain. *Biomed Environ Sci***2016**, 29, (12), 858-867.
- [57]. Dasdag, S.; Akdag, M. Z.; Erdal, M. E.; Erdal, N.; Ay, O. I.; Ay, M. E.; Yilmaz, S. G.; Tasdelen, B.; Yegin, K., Effects of 2,4 GHz radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi equipment on microRNA expression in brain tissue. *Int J Radiat Biol***2015**, 91, (7), 555-561.
- [58]. Yorgancilar, E.; Dasdag, S.; Akdag, M. Z.; Akkus, Z.; Akdag, M.; Topcu, I., Does all-day and long-term exposure to radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi affect hearing?. *Biotechnology & Biotechnological Equipment***2017**, 31, (6), 1204-1209.
- [59]. Adair, E. R.; Black, D. R., Thermoregulatory responses to RF energy absorption. *Bioelectromagnetics***2003**, 6, 17-38.
- [60]. <https://emedicine.medscape.com/article/1207657-clinical>(04.12.2018).
- [61]. Elder, J. A., Ocular effects of radiofrequency energy. *Bioelectromagnetics***2003**, 6, 148-161.
- [62]. Diem, R.; Tschirne, A.; Bahr, M., Decreased amplitudes in multiple sclerosis patients with normal visual acuity: a VEP study. *J Clin Neurosci***2003**, 10, 67-70.
- [63]. Trip, S. A.; Schlottmann, P. G.; Jones, S. J.; Retinal nerve fiber layer axonal loss and visual dysfunction in optic neuritis. *Ann Neurol***2005**, 58, 383-391.
- [64]. P. Urban, E. Lukas, Z. Roth, Does acute exposure to the electromagnetic field emitted by a mobile phone influence visual evoked potentials?. *Cent Eur J Public Health***1998**, 6, (4), 288-290.
- [65]. Kausnik, N. K.; Singh, K., Effect of duration of usage of mobile phone on visual evoked potentials. *International Journal of Health Sciences and Research (IJHSR)***2016**, 6, (4), 204-208.
- [66]. Hidişoğlu, E., 3 G Cep Telefonlarından Yayılan Elektromanyetik Radyasyonun Görsel Uyarılma Potansiyellerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 2015.
- [67]. Bakonyi, T.; Radak, Z., High altitude and free radicals. *Journal of Sports Science and Medicine***2004**, 3, (2), 64-69.
- [68]. Grundler, W.; Kaiser, F.; Keilmann, F.; Walleczek, J., Mechanisms of electromagnetic interaction with cellular systems. *Naturwissenschaften***1992**, 79, (12), 551-559.
- [69]. Meral, I.; Mert, H.; Mert, N.; Deger, Y.; Yoruk, I.; Yetkin, A.; Keskin, S., Effects of 900-MHz electromagnetic field emitted from cellular phone on brain oxidative stress and some vitamin levels of guinea pigs. *Brain Res***2007**, 1169, 120-124.

[70]. Oktem, F.; Ozguner, F.; Mollaoglu, H.; Koyu, A.; Uz, E., Oxidative damage in the kidney induced by 900-MHz-emitted mobile phone: protection by melatonin. *Arch Med Res***2005**, 36, (4), 350-355.

[71]. Oral, H.; Chugh, A.; Ozaydin, M.; Good, E.; Fortino, J.; Sankaran, S.; Reich, S.; Igic, P.; Elmouchi, D.; Tschopp, D.; Wimmer, A.; Dey, S.; Crawford, T.; Pelosi, F. J.; Jongnarangsin, K.; Bogun, F.; Morady, F., Risk of thromboembolic events after percutaneous left atrial radiofrequency ablation of atrial fibrillation. *Circulation***2006**, 114, (8), 759-765.

[72]. Ozguner, F.; Bardak, Y.; Comlekci, S., Protective effects of melatonin and caffeic acid phenethyl ester against retinal oxidative stress in long-term use of mobile phone: A comparative study. *Molecular and Cellular Biochemistry***2006**, 282, 83-88.

[73]. Xu, S.; Zhou, Z.; Zhang, L.; Yu, Z.; Zhang, W.; Wang, Y.; Wang, X.; Li, M.; Chen, Y.; Chen, C.; He, M.; Zhang, G.; Zhong, M., Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation induces oxidative damage to mitochondrial DNA in primary cultured neurons. *Brain Res* **2010**, 1311, 189-196.

[74]. Dasdag, S.; Bilgin, H. M.; Akdag, Z.; Celik, H.; Aksen, F., Effect of long term mobile phone exposure on oxidative-antioxidative processes and nitric oxide in rats. *Biotechnology & Biotechnological Equipment***2008**, 22, (4), 992-997.

[75]. Niedzielska, E.; Smaga, I.; Gawlik, M.; Moniczewski, A.; Stankowicz, P.; Pera, J.; Filip, M., Oxidative stress in neurodegenerative diseases. *Mol Neurobiol***2016**, 53, 4094-4125.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı ve Soyadı** :Erkin ÖZDEMİR

**Doğum Tarihi** :1984

**E-mail** : erkinozdemir33@hotmail.com

**Öğrenim Durumu** :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Fizik Bölümü	Mersin Üniversitesi	2009-2013
Yüksek Lisans	Biyofizik	Mersin Üniversitesi	2013-2018
Doktora			

**Görevler** :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl

## ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

- 1.
- 2.
- 3.