

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

79524

FARKLI SÜRELERDE UYGULANAN AC
ELEKTRİK ALANLARIN PROTEİN
SENTEZİNE ETKİSİ

İÇİNDEKİLER
BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ

DOKTORA TEZİ

79524

GÖKNUR GÜLER

TEZ YÖNETİCİSİ
PROF.DR. NESRİN SEYHAN

ANKARA-1998

İÇİNDEKİLER

	<i>SAYFA NO</i>
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. ELEKTRİK ALAN	2
2.1.1. Kapasitör ve Sığa	3
2.1.2. Dielektrik Malzemeler	4
2.1.3. Elektromagnetik Dalgalar ve Elektromagnetik Spektrum	6
2.2. ÇEVREMİZDEKİ ELEKTRİK ALAN KAYNAKLARI	9
2.2.1. Doğal Alanlar	9
2.2.2. Elektrikli Ev Aletlerinin Oluşturduğu Alanlar	10
2.2.3. Yüksek Gerilim Hatlarının Oluşturduğu Alanlar	11
2.3. ELEKTROMAGNETİK ALANLARIN BİYOLOJİK ETKİLERİ	13
2.3.1. Modelleme Çalışmaları: Dışarıdan Uygulanan Elektrik ve Magnetik Alanların Vücutta Oluşturduğu Elektrik Alan Değerlerinin Saptanması:	13
2.3.2. İnsanlar Üzerinde Yapılan Araştırmalar	19
2.3.2.1. Epidemiyolojik Araştırmalar	19
2.3.2.1.1. Meslekleri Gereği Elektrik Alanlara Maruz Kalan Kişilerde Görülen Etkiler	20
2.3.2.1.2. Evlerinin Yakınından Yüksek Gerilim Hattı Geçen Kişilerde Gözlenen Elektrik Alan Etkileri	24
2.3.2.2. Gönüllü Kişiler Üzerinde Yapılan Laboratuvar Çalışmaları	25
2.3.3. İn vitro ve İn vivo Koşullarda İnsan ve Hayvanlarla Yapılan Deneysel Çalışmalar	26
2.4. ELEKTRİK ALANLARIN HÜCRE VE DOKULARA ETKİ MEKANİZMASI	40

	<i>SAYFA NO</i>
2.5. BAĞ DOKUSU	47
2.5.1. Bağ Dokusunun Görevleri	47
2.5.2. Kollagenin Yapısı ve Elektrik Özellikleri	47
2.5.2.1. Kollagen Tipleri	49
2.6. KARACİĞER DOKUSU VE FONKSİYONLARI	52
3. MATERYAL VE YÖNTEM	54
3.1. MATERYAL	54
3.1.1. Deney Hayvanı	54
3.1.2. Araştırmada Kullanılan Aletler	54
3.1.2.1. Elektrik Alan Uygulamada Kullanılan Aletler	54
3.1.2.2. Hidroksiprolin Tayininde Kullanılan Aletler	55
3.1.3. Araştırmada Kullanılan Kimyasal Maddeler	55
3.2. YÖNTEM	56
3.2.1. Çalışma Grupları	56
3.2.2. ELF Elektrik Alan Sistemi	56
3.2.3. Çalışma Şartlarının Standardizasyonu	57
3.2.3.1. Sıcaklık Testi	58
3.2.4. Elektrik Alan ve Magnetik Alanın Bulunması	59
3.2.4.1. Araştırmada Dışarıdan Uyguladığımız Elektrik Alanın Kobay Vücut Yüzeyinde ve İçinde Oluşturduğu Akım ve Elektrik Alan Değerlerinin Bulunması	62
3.2.4.2. Araştırmada Dışarıdan Uyguladığımız Elektrik Alanın İnsan Vücut Yüzeyinde ve İçinde Oluşturduğu Akım ve Elektrik Alan Değerlerinin Bulunması	64
3.2.5. Karaciğer Dokusunda Hidroksiprolin Tayini	66
3.2.5.1. Hidroksiprolin Tayin İşleminde Kullanılan Reaktifler	67

	<i>SAYFA NO</i>
3.2.5.2. Dokuların ve Örnek Solüsyonların Hazırlanması	67
3.2.5.3. Hidroksiprolin Miktarının Spektrofotometrik Olarak Saptanması	68
3.2.5.4. Araştırma Sonuçlarının Analizi	70
4. BULGULAR	80
5. SONUÇ	87
6. TARTIŞMA	89
7. ÖZET	97
8. SUMMARY	98
9. EKLER	99
9.1. İSTATİSTİK DEĞERLENDİRMELERE AİT BİLGİSAYAR ÇIKTILARI	99
10. KAYNAKLAR	101
11. ÖZGEÇMİŞ	135

KISALTMALAR

DC : Doğru akım

AC : Alternatif akım

HP : Hidroksiprolin

KC : Karaciğer

E : Elektrik Alan

$E_{dış}$: Dışarıdan uygulanan elektrik alan

E_y : Model yüzeyinde oluşan elektrik alan

$E_{iç}$: Model içinde oluşan iç elektrik alan

$E_{dış,d}$: Dışarıdan uygulanan elektrik alanın dik bileşeni

$E_{iç,d}$: Model içinde oluşan iç elektrik alanın dik bileşeni

E_0 : Kapasitör plakaları arasında boşluk bulunduğu elektrik alan

E_d : Kapasitör plakaları arasında dielektrik malzeme bulunduğu elektrik alan

I : Elektrik akım şiddeti

f : Frekans

W : Ağırlık

ϵ veya K : Dielektrik sabiti

σ : İletkenlik

σ_{hava} : Havanın iletkenliği

σ_{doku} : Dokunun iletkenliği

V : Potansiyel fark

V_0 : Kapasitör plakaları arasında boşluk bulunduğu potansiyel fark

V_d : Kapasitör plakaları arasında dielektrik malzeme bulunduğu potansiyel fark

ω : Açısal frekans ($2\pi f$)

J : Akım yoğunluğu

F : Kuvvet

q : Elektrik yükü

d : Kapasitör plakaları arasındaki mesafe

C : Sığa

C_0 : Kapasitör plakaları arasında boşluk olduğunda sığa

C_d : Kapasitör plakaları arasında dielektrik malzeme olduğunda sığa

A : Kapasitör plaka alanı

B : Magnetik alan

λ : Dalga boyu

v : Dalga hızı

c : Işık hızı

μ : Magnetik geçirgenlik

$\frac{dE}{dt}$: Elektrik alanın zamana bağlı değişimi

$\frac{dB}{dt}$: Magnetik alanın zamana bağlı değişimi

BİRİMLER

Elektrik Alan : Volt/metre \Rightarrow V/m

Elektrik akım şiddeti : Amper \Rightarrow A

Frekans : Hertz \Rightarrow Hz

Ağırlık : Kilogram \Rightarrow kg

Dielektrik sabiti : Farad/metre \Rightarrow F/m

İletkenlik : Siemens/metre \Rightarrow S/m

Potansiyel fark : Volt \Rightarrow V

Akım yoğunluğu : Amper/metre² \Rightarrow A/m²

Elektrik yükü : Coulomb \Rightarrow C

Sığa: Coulomb/Volt \Rightarrow C/V

Alan : Metre² \Rightarrow m²

Magnetik alan : Gauss \Rightarrow G

Dalga boyu : Metre \Rightarrow m

Hız : Metre/saniye \Rightarrow m/sn

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Tablo Adı:</u>	<u>Sayfa No:</u>
TABLO 1 :	Bazı Dielektrik Maddelerin Dielektrik Sabit Değerleri (20 °C)	5
TABLO 2.	Dikey Doğrultuda Uygulanan ELF Elektrik Alanların İnsan ve Hayvanlarda Oluşturduğu Akım Değerleri	14
TABLO 3.	60 Hz'de 10 kV/m'lık Elektrik Alana Maruz Bırakılan İnsan,Domuz,Kobay ve Sıçan Modellerinde Oluşan Akım Yoğunluğu ve Yüzey Elektrik Alan Değerleri	16
TABLO 4 :	Dokuların İletkenlik Değerleri	43
TABLO 5 :	Karaciğer Dokusunun İletkenlik (σ) ve Dielektrik (K) Değerlerinin Frekansa Bağlı Değişimi	44
TABLO 6 :	Sıçan Karaciğerinin Morfolojik Yapısı ve Dielektrik Sabitinin Frekansa Göre Değişimi	56
TABLO 7 :	Çalışma Grupları	58
TABLO 8 :	Sıcaklık Ölçümleri	59
TABLO 9 :	Farklı Sürelerde Uygulanan Elektrik Alan Gruplarıyla Kontrol Grubu Karaciğer Hidroksiprolin Değerlerinin ($\mu\text{g/gdoku}$) DUNCAN Test Yöntemiyle Karşılaştırılması	73
TABLO 10 :	Bir gün ve 3 Gün Süreyle Elektrik Alan Uygulanan Grupların Karaciğer Hidroksiprolin Değerlerinin DUNCAN Test Yöntemiyle Karşılaştırılması	74
TABLO 11 :	Bir Gün ve 5 Gün Süreyle Elektrik Alan Uygulanan Grupların Karaciğer Hidroksiprolin Değerlerinin DUNCAN Test Yöntemiyle Karşılaştırılması	75

Sayfa No:

TABLO 12 :	Bir Gün ve 7 Gün Süreyle Elektrik Alan Uygulanan Grupların Karaciğer Hidroksiprolin Değerlerinin DUNCAN Test Yöntemiyle Karşılaştırılması	76
TABLO 13 :	Üç Gün ve 5 Gün Süreyle Elektrik Alan Uygulanan Grupların Karaciğer Hidroksiprolin Değerlerinin DUNCAN Test Yöntemiyle Karşılaştırılması	77
TABLO 14 :	Üç Gün ve 7 Gün Süreyle Elektrik Alan Uygulanan Grupların Karaciğer Hidroksiprolin Değerlerinin DUNCAN Test Yöntemiyle Karşılaştırılması	78
TABLO 15 :	Beş Gün ve 7 Gün Süreyle Elektrik Alan Uygulanan Grupların Karaciğer Hidroksiprolin Değerlerinin DUNCAN Test Yöntemiyle Karşılaştırılması	79

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No:</u>	<u>Şekil Adı:</u>	<u>Sayfa No:</u>
ŞEKİL 1:	Paralel plakalı kapasitör	3
ŞEKİL 2 :	a) Yüklü kapasitörün levhaları arasında boşluk olduğunda, b) Yüklü kapasitörün levhaları arasına bir dielektrik konulduğunda potansiyel	4
ŞEKİL 3 :	Elektromagnetik dalganın elektrik alan ve magnetik alan bileşenleri	7
ŞEKİL 4:	Elektromagnetik Spektrum	8
ŞEKİL 5 :	Yumuşak dokuların dielektrik değerinin frekansla değişimi	44
ŞEKİL 6:	Kafes ve elektrik alan sistem şeması	57
ŞEKİL 7:	ELF Elektrik alan oluşturmada etkili dielektrik elemanlar	59
ŞEKİL 8:	Standart solüsyonların konsantrasyon ve absorbands değerleri	68
ŞEKİL 9.	Standart solüsyonlardan elde edilen eğri	69
ŞEKİL 10.	Karaciğer dokusu örneklerinin standart eğriden elde edilen konsantrasyon ve absorbands değerleri	70
ŞEKİL 11 :	Bir gün süreyle elektrik alan uygulanan grup ile kontrol grubunun karaciğer HP miktarı	80
ŞEKİL 12 :	Üç gün süreyle elektrik alan uygulanan grup ile kontrol grubunun karaciğer HP miktarı	81

Sayfa No:

ŞEKİL 13 :	Beş gün süreyle elektrik alan uygulanan grup ile kontrol grubunun karaciğer HP miktarı	81
ŞEKİL 14 :	Yedi gün süreyle elektrik alan uygulanan grup ile kontrol grubunun karaciğer HP miktarı	82
ŞEKİL 15 :	Bir gün ve 3 gün süreyle elektrik alan uygulanan grupların HP miktarı	83
ŞEKİL 16 :	Bir gün ve 5 gün süreyle elektrik alan uygulanan grupların HP miktarı	83
ŞEKİL 17 :	Bir gün ve 7 gün süreyle elektrik alan uygulanan grupların HP miktarı	84
ŞEKİL 18 :	Üç gün ve 5 gün süreyle elektrik alan uygulanan grupların HP miktarı	85
ŞEKİL 19 :	Üç gün ve 7 gün süreyle elektrik alan uygulanan grupların HP miktarı	85
ŞEKİL 20 :	Beş gün ve 7 gün süreyle elektrik alan uygulanan grupların HP miktarı	86
ŞEKİL 21 :	Tüm elektrik alan gruplarının karaciğer HP değerlerinin kontrol grubuyla karşılaştırması	86

1.GİRİŞ VE AMAÇ

Günümüzde çevrenin kimyasal maddelerle kirlenmesi yoğun eleştirilere neden olurken; elektromagnetik çevre kirlenmesi gündemimize yeni girmeye başlamıştır. Gelişmekte olan her ülkede olduğu gibi elektromagnetik enerjinin kullanımının ülkemizde de giderek yaygınlaşması nedeniyle çoğumuz sürekli olarak değişik şiddetlerdeki elektrik (E) alanlara daha çok maruz kalmaktayız. Çevremizdeki elektrik alan kaynakları öncelikle yeryüzünün sahip olduğu doğal alanlar ile yüksek gerilim hatları ve akım taşıyan kablolar içeren ev aletlerinin oluşturduğu alanlardır.

Elektromagnetik dalgalar insan organizmasında büyük ölçüde karışıklığa sebep olabilir. Örneğin vücudun molekül ve atomları kendi aralarında kurdukları elektriksel dengeyi kaybedebilir, biyokimyasal faaliyetler etkilenebilir ve en önemlisi hücrenin ve dolayısıyla dokuların işleyişindeki elektriksel yapı bozulabilir. Sinir sisteminde buna bağlı bozukluklar ortaya çıkacağından bağışıklık sisteminin sürekli zayıflamasının “ kanseri başlatan, tetikleyen bir etki ” yapacağı sorusu da gündeme gelmiş konulardandır. Özellikle evlerinin yakınından yüksek gerilim hattı geçen çocuklarda kan kanseri riskinin artmasını, kan tablosunun değişmesini, baş dönmelerinin çoğalmasını elektromagnetik alanlara bağlayan çalışmalar vardır¹⁻⁵.

Yapılan araştırmalar elektrik alanının protein moleküllerini membran yüzeyi boyunca hareket ettirdiğini ve alana maruz bırakılan fibroblast hücrelerinde kollagen biyosentezinin % 100 artırdığını göstermiştir^{6,7}. Farklı şiddet ve doğrultularda uygulanan DC (Doğru Akım) elektrik alanların kollagen sentezi üzerinde etkili olduğu daha önceki çalışmamızda saptanmıştır⁸. Bu çalışmamızda ise günlük yaşamda farkına varmadığı maruz kaldığımız şiddetteki AC (Alternatif Akım) elektrik alanlara farklı sürelerde maruz kalmanın kollagen sentezine etkisi araştırıldı. Bu amaçla kobaylara dikey doğrultuda 50 Hz 1.35 kV/m`lik elektrik alan 1, 3, 5 ve 7 gün uygulanarak, karaciğer hidroksiprolin seviyesindeki değişim incelendi.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. ELEKTRİK ALAN

Hareketsiz her yük çevresindeki yüklere kuvvet etkime özelliğine sahiptir. Bu özellik "Elektrik Alan" (E) kavramı ile tanımlanmıştır ve birim yük başına düşen kuvvet (F) olarak ifade edilir^{9,10}.

q_0 test yükü q yükünden r kadar uzakta bulunan bir noktaya konulduğunda q_0 yüküne etki eden kuvvetin büyüklüğü

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} \text{ kadardır.}$$

Boşlukta q yükünden r uzaklıktaki E alan: $E = \frac{F}{q_0}$ veya $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$ olur.

Birimi Newton/Coulomb' tur.

Elektrik alanın yönü. q yükünün bulunduğu noktayı merkez kabul eden kürenin yarıçapları doğrultusunda olup. q yükü pozitif ise merkezden dışa doğru, negatif ise merkeze doğrudur¹¹.

İki yada daha çok nokta yükün oluşturduğu elektrik alan ise bu alana herbir yükün ayrı ayrı yaptığı katkıların vektörel toplamına eşittir ve

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum \frac{q_i}{r_i^2} \bar{r}_i \text{ ile ifade edilir}^{12}.$$

r_i : q_i yükünün seçilen noktaya uzaklığı

\bar{r}_i : Birim vektör

Elektrik alan, vektörel bir büyüklük olan alan vektörü E ile olduğu gibi, aynı zamanda skalar bir büyüklük olan elektriksel potansiyel (V) ile de belirlenebilir. A ve B gibi iki nokta arasındaki potansiyel fark, elektrik alanı içine bırakılan q_0 test yükünün A noktasından B

noktasına. denge durumunu koruyarak giderken, yaptığı iştir ve

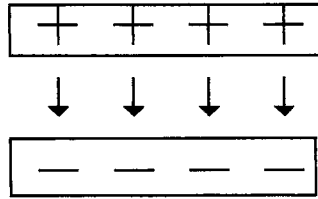
$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} = Ecd \text{ ile ifade edilir}^{9-11}.$$

Bu durumda : $E = V/d$ olur. Birimi Volt/metre'dir.

2.1.1.Kapasitör ve Sığa

Kapasitörler, birbirlerinden yalıtılmış olan zıt yüklü iki levhanın karşılıklı olarak paralel yerleştirilmesiyle oluşan düzeneklerdir (Şekil 1)¹³.

Kapasitörler devrede enerjinin geçici olarak depolanmasında kullanılır ve devrenin işleyişine uygun olarak elektrik enerjisini saklayıp, tekrar geri verirler.Kapasitörde enerji depolandığında, kapasitörün plakaları arasında elektrik alan oluşur ve depolanan enerji elektrik alanın varlığıyla ilişkilidir. Çünkü kapasitörler: kuvvetli elektrik alanları küçük bir hacim içinde tutulabilen ve böylece elektriksel enerjiyi bu alan içinde depolayabilen düzeneklerdir.Plakalar arasındaki uzaklık plakaların boyutlarına oranla küçük seçilirse, plakalar arasında düzgün elektrik alanı oluşur. Düzgün elektrik alanda: alan şiddeti vektörleri birbirine paralel ve şiddetce eşit olduğundan, alan içindeki elektrik yüküne aynı şiddetli ve aynı yönlü kuvvet etki eder¹³.



Şekil 1: Paralel plakalı kapasitör¹³

Bir kapasitörün enerji depolayabilme yetisine kapasitörün sığası denir ve birim potansiyel için depoladığı Q yük ile ifade edilir.

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Birimi Coulomb/Volt = Farad'dır^{13,14}.

C : Sığa (Coulomb / Volt)

Q : Yük miktarı (Coulomb)

V : Potansiyel fark (Volt)

ϵ_0 : Boşluğun dielektrik sabiti ($8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N.m}^2$)

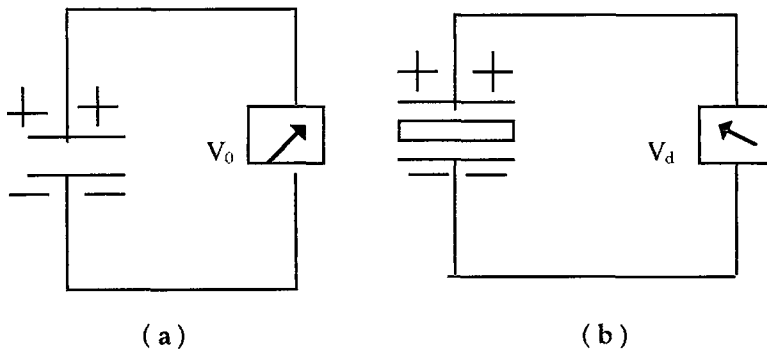
A : Plaka alanı (m^2)

d : Plakalar arası mesafe (m)

2.1.2. Dielektrik Malzemeler

İletkenlerde elektrik yükleri serbest olarak hareket ederler. Yalıtkan maddeler içinde ise serbest yükler ya hiç yoktur veya varsa bile sayıları çok azdır. Elektrik alan içindeki davranışları nedeniyle yalıtkanlara dielektrik de denir^{11,15}. Bir maddenin dielektrik sabiti (K); kapasitör levhaları arasında boşluk bulunduğundaki potansiyel farkın (V_0), levhalar arasında bu malzemenin bulunması durumunda oluşan potansiyel farka (V_d) oranıdır (Şekil 2, Tablo 1) ve

$$K = \frac{V_0}{V_d} \text{ ile ifade edilir}^{10-12,15}.$$



Şekil 2 : a) Yüklü kapasitörün levhaları arasında boşluk olduğunda,

b) Yüklü kapasitörün levhaları arasına bir dielektrik konulduğunda potansiyel¹⁵

Boşluk için K değeri 1'dir. Her zaman $V_0 > V_d$ olduğundan bütün yalıtkanlar

için $K > 1$ 'dir. Bu durumda yüklü bir kapasitörün plakaları arasına bir dielektrik malzeme konulduğunda elektrik alanda meydana gelen değişim:

$V_d = E_d \cdot d$ ve $V_o = E_o \cdot d$ olduğundan :

$$K = \frac{V_o}{V} = \frac{E_o d}{E_d d} = \frac{E_o}{E_d} \quad \text{yada}$$

$$E_d = \frac{E_o}{K} \text{ bulunur.}$$

E_o = Kapasitör plakaları arasında boşluk bulunması durumunda oluşan elektrik alan.

E_d =Kapasitör plakaları arasında dielektrik malzeme bulunması durumunda oluşan elektrik alan.

Potansiyel farkta olduğu gibi, dielektrik konulduğunda elektrik alan şiddeti de $1/K$ çarpanı kadar azalır¹²⁻¹⁵.

TABLO 1 : Bazı Dielektrik Maddelerin Dielektrik Sabit Değerleri (20 °C)¹⁵

Madde	Dielektrik Sabiti (K)
Boşluk	1
Kuru Hava (1 atm)	1.00059
Karbon dioksit (1 atm)	1.00098
Helyum (1 atm)	1.00007
Etanol (1000°C, 1 atm)	1.0061
SIVILAR	
Benzen	31
Gliserol	43
Su (100 °C)	55
Su (0 ° C)	80
KATILAR	
Naylon	3.4
Kağıt	3.6
Kuartz	3.8
Bakalit	4.9
Cam	5
Tahta	5
Hücre Membranı	5-10

Buna karşılık kapasitör plakaları arasına dielektrik malzeme konulması sığayı K çarpanı kadar artırır¹⁵.

$V_d = Q/C_d$ ve $V_o = Q / C_o$ olduğundan ;

$$K = \frac{V_o}{V_d} = \frac{Q / C_o}{Q / C_d} = \frac{C_d}{C_o}$$

yada

$C_d = KC_o$ olur.

C_o = Kapasitör plakaları arasında boşluk olduğunda sığa.

C_d = Kapasitör plakaları arasında dielektrik malzeme olduğunda sığa.

2.1.3. Elektromagnetik Dalgalar ve Elektromagnetik Spektrum

Elektromagnetik etkileşimler atomları oluşturan elektron ve çekirdekleri, molekülleri oluşturan atomları ve makroskobik cisimleri oluşturan molekülleri birarada tutarlar.

Elektrik alanlar (E) hareketsiz yükler etrafında kurulurken magnetik alan (B) hareketli yüklerin etrafında oluşur. Eğer bir bölgede hem elektrik (E) hem de magnetik alan (B) varsa, yükü q ve hızı v olan bir parçacık üzerindeki elektromagnetik kuvvet (F):

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \quad \text{ile ifade edilir}^{11,13,15}.$$

Çevremizdeki enerjinin boşlukta elektrik ve magnetik dalgalar şeklinde iletildiği ilk kez Maxwell tarafından matematiksel olarak belirlenmiştir. Zamanla sinüzoidal olarak değişen, birbirine dik elektrik ve magnetik alanın oluşturduğu düzleme dik doğrultuda, belirli bir hızla yayılan enerjiye elektromagnetik dalga denir (Şekil 3)¹³.

Elektrik alandaki değişme magnetik alanı, magnetik alandaki değişme elektrik alanı oluşturur. Alanların titreşim doğrultuları ile yayılma doğrultuları birbirine dik olduğundan, elektromagnetik dalgalar enine dalgalardır. Maxwell teorisine göre, bir elektromagnetik dalganın yayılma hızı, dalganın yayıldığı ortamın elektrik ve magnetik özelliklerine bağlıdır. Yayılma hızı ortamdaki ışık hızına ($c = 299793000 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/sn}$) eşittir. Bir başka deyişle,

bir elektromagnetik dalganın c hızı, elektrik ve magnetik alan genliklerinin oranına eşittir ve bu durum,

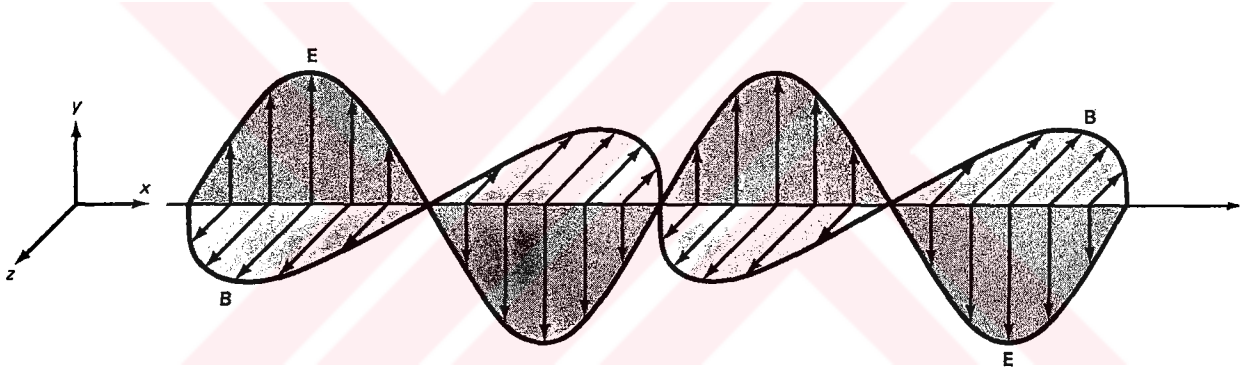
$$E = cB \text{ ile ifade edilir}^{16,17}.$$

Tüm dalgalar gibi, elektromagnetik dalgalar da frekans (f) ve dalga boyu (λ) ile belirtilirler. f ile λ arasında, dalganın hızını (v) belirleyen

$$v = f \lambda \text{ ilişkisi vardır.}$$

Boşlukta ise bu ilişki

$$c = f \lambda \text{ biçimini alır}^{13,15}.$$



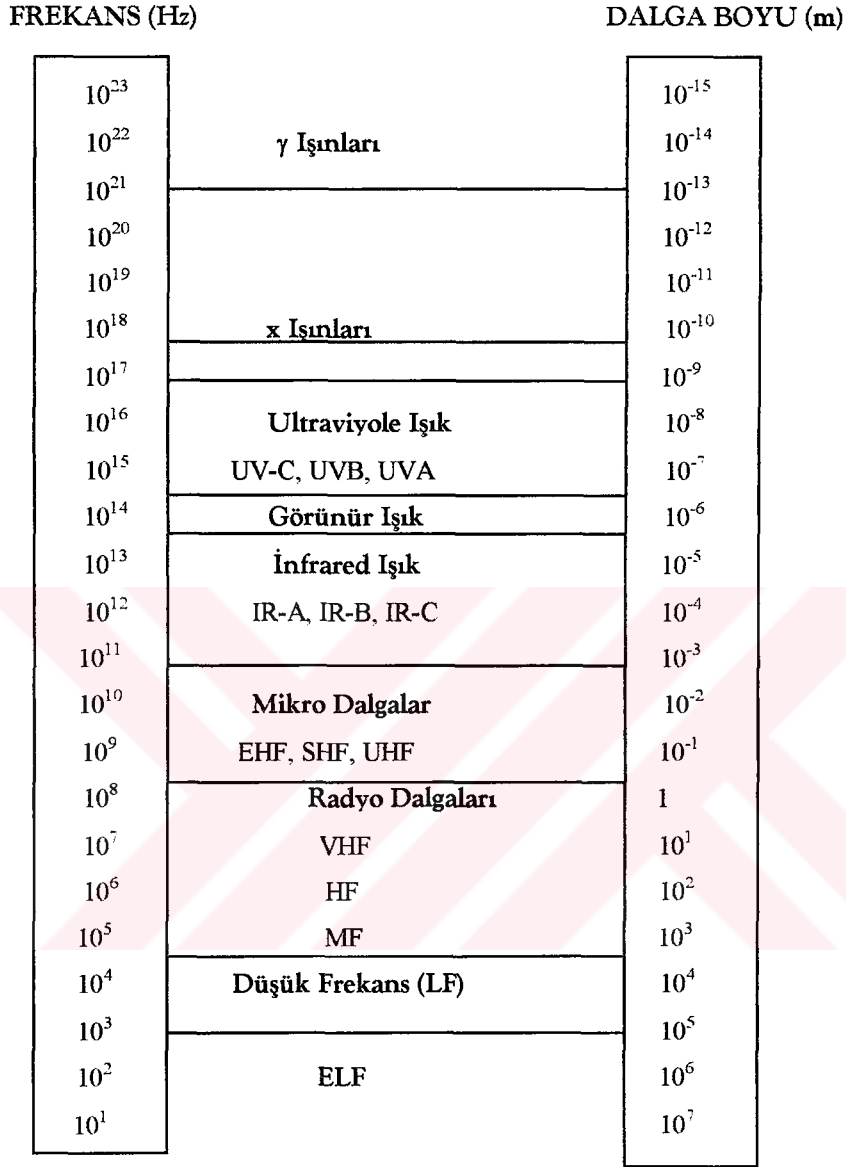
Şekil 3 : Elektromagnetik dalganın elektrik alan ve magnetik alan bileşenleri¹³

Elektromagnetik dalgalar, dalgaboylarına veya frekanslarına göre sıralandığında elektromagnetik spektrum elde edilir (Şekil 4)^{17,18}.

Zamanla değişen magnetik alan elektrik alanın oluşmasına neden olur ve bu durum:

$$\oint E \cdot dl = \frac{dB}{dt} \text{ ile ifade edilir}^{9-15}.$$

Burada: $\frac{dB}{dt}$: Magnetik alanın zamana bağlı değişimini göstermektedir.



Şekil 4 : Elektromagnetik Spektrum¹⁷

Buna karşılık elektrik alandaki değişim de magnetik alanın oluşmasına neden olur⁹⁻¹⁵. Bu şekilde magnetik alan üretmek iki yolla gerçekleşir :

- Elektrik alanı zamana bağlı olarak değiştirerek ve
- Telden bir akım geçirerek

Genel olarak her iki durumu da ifade eden bağıntı,

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 \epsilon_0 \frac{dE}{dt} + \mu_0 i \quad \text{ile verilebilir}^{15-16}.$$

μ_0 : Boşluğun magnetik geçirgenliği (1.26×10^{-6} H/m)

ϵ_0 : Boşluğun dielektrik sabiti (8.85×10^{-12} C²/Nm)

$\frac{dE}{dt}$: Elektrik alanın zamana bağlı değişimi

i : Akım

Ancak kurmuş olduğumuz kapasitör devremizde sadece elektrik alanının zamanla değişimi söz konusu olduğundan: akım sıfır olarak kabul edilir ve elektrik alan düzeneğimizin oluşturduğu magnetik alan :

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 \epsilon_0 \frac{dE}{dt}$$

ile ifade edilebilir.

Bu ifadelerden de açıkça görüleceği üzere elektrik alan dalgalarıyla magnetik alan dalgaları birbirlerinden bağımsız kavramlar olmayıp, birisinin varlığı diğerinin oluşum nedeni olmaktadır⁹⁻¹⁵.

2.2. ÇEVREMİZDEKİ ELEKTRİK ALAN KAYNAKLARI

2.2.1. Doğal Alanlar

Yeryüzü, elektrik yüklerin varlığından ve atmosfer ile yerkürenin belli bir mesafe ile birbirinden ayrılmış olmasından kaynaklanan doğal bir elektrik alana sahiptir. Bundan dolayı küresel bir kapasitör gibi davranır. Atmosferin doğal statik elektrik alanı 120-150V/m arasındadır. Ancak şimşekli ve yıldırımli fırtınalarda yeryüzü ile atmosferin üst tabakaları arasında oluşan yük transferinden kaynaklanan elektrik yük miktarındaki değişimler bu doğal E alan değerinin 10.000 V/m'ye ulaşmasına neden olur¹⁹⁻²². Yeryüzü aynı zamanda 0.5 Gauss (G) şiddetinde statik (DC) ve 01-1000Hz arasında zamana bağlı olarak değişen (AC)

3×10^{-5} Gauss'luk magnetik alana sahiptir¹⁹.

2.2.2. Elektrikli Ev Aletlerinin Oluşturduğu Alanlar

60 Hz frekanslı elektrikli cihazlardan 30 cm uzakta oluşan elektrik alan değerleri şöyledir²³:

CİHAZ	Elektrik Alan (V/m)
Ampul	2
Mutfak Ocağı	4
Saat	15
Süpürge	16
Kahve Makinesi	30
Renkli TV	30
Saç Kurutma Makinesi	40
Çamaşır Kurutma Makinesi	40
Ekmek Kızartma Makinesi	40
Mikser	50
Ütü	60
Buzdolabı	60
Müzik Seti	90
Su Isıtıcısı	130
Elektrikli Battaniye	250

60 Hz'de floresan masa lambası ve saç kurutma makinesi 10-25 G şiddetinde büyük magnetik alanların oluşmasına neden olurlar²³.

Elektrikli ev aletleriyle insan vücuduna $\sim 30 \mu A$ 'lık kaçak akımlar girmektedir²².

CİHAZ	AKIM (μA)
Kahve Makinesi	6
Dikiş Makinesi	34
Buzdolabı	40
Kahve Öğütme Makinesi	380

Haberleşme antenlerinden kaynaklanan elektrik alan 0.07 V/m, magnetik alan ise 20 μ T şiddetindedir²³.

2.2.3. Yüksek Gerilim Hatlarının Oluşturduğu Alanlar

Elektrik enerjisi üretildiği yerlerden dağıtım istasyonlarına ve son olarak kullanıcılara kadar enerji nakil hatları ile iletilmektedir ve bu iletide genellikle AC 3 fazlı yüksek gerilim hatları kullanılmaktadır. Yüksek gerilim hatları çevreleri için E alan kaynağı oluşturmaktadırlar. Yüksek gerilim hattı altında toprakta oluşan E alanın frekansı hattaki enerjinin frekansı ile aynıdır.

Yüksek gerilim hatları ve dağıtım istasyonlarının civarında oluşan E alan şiddeti çeşitli faktörlerden etkilenmektedir:

Yüksek gerilim hattı en fazla 750 kV'luk gerilime sahip olduğunda yarattığı en düşük E alan şiddetinin hattın yerden yüksekliğinin en fazla olduğu durumda (20 metre) yaklaşık 1 kV/m, en yüksek E alan şiddetinin ise hattın yüksekliğinin en küçük olduğu durumda (13 metre) yaklaşık 12 kV/m değerinde olduğu saptanmıştır. 60 Hz'de 765 kV'luk yüksek gerilim hattının 15 metre uzağında ayakta duran orta boylu (1.5 metre) bir insanda oluşan E alan şiddeti ~10 kV/m'dir. E alan şiddeti yüksek gerilim hattının merkezinden yanlara doğru gidildikçe uzaklığın fonksiyonu olarak azalmaktadır^{19,21}.

Yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan magnetik alanın toprakta yaratacağı maximum şiddet ise hattın yüksekliğine bağlı olarak 0.1-0.5 G olup, alan yoğunluğu iletkene olan uzaklık ile hemen hemen doğru orantılı olarak azalmaktadır²¹.

Artan nüfus yoğunluğuyla birlikte gelişen endüstrileşme ve teknoloji elektrik enerjisine, iletim araçlarına ve daha yüksek gerilimli iletim hatlarına gereksinim doğurmaktadır. İletimin sürekliliği bu yüksek gerilim hatlarının kesintisiz çalışmasıyla mümkün olmaktadır. Bu nedenle hatlar enerjili ve güç iletir durumdayken bakımlarını yapmak gerekmektedir ve bu durumda hat bakım işçisi çalışırken hattın oluşturduğu E alanın içinde kalmaktadır. Bunun sonucunda da E alanın şiddetine bağlı olarak vücudun çeşitli bölgelerinde akımlar oluşmaktadır.

Konunun birde çarpık kentleşme ve yanlış konutlaşma sonucu binlerce insanı ilgilendiren yanı bulunmaktadır. Her ne kadar yüksek gerilim hatlarının yapımına ilişkin şartnameler hatların yerleşim merkezlerinin dışında yada açığında kurulmasını gerektiriyorsa da, bugün yerleşim birimlerinin içinden geçen yüksek gerilim hatları insan sağlığı için gerçek birer tehlike oluşturmaktadır.

Halk sağlığı açısından yüksek gerilim hatlarının oluşturduğu E alanların limit değerleri her gelişmiş ülke tarafından güvenlik standartları ile sınırlandırılmıştır. Bu standartlar belirlenirken iletim hattının minimum yüksekliği, iki iletim hattı ve hat ile bina arasındaki açıklık ve hat altında toprak yüzeyindeki E alan şiddeti gibi parametreler gözönüne alınmaktadır.

Yerleşim merkezlerine yakın olan bölgelerde yüksek gerilim hatlarının oluşturduğu E alan sınırları bazı ülkelerde belirlenmiştir:

* Rusya (1975) → 1-5 kV/m

* Japonya (1976) → 3 - 5 kV/m

* Polonya (1980) → 1 - 10 kV/m

* İngiltere (1982) → < 10kV/m

* Amerika (1982) → 9 kV/m`lik E alanları sınır değeri olarak kabul etmişlerdir²⁴.

Rusya`da (1975) insanlar için maruz kalınabilecek E alanı 1-5 kV/m ile sınırlandırılmıştır. Bu değerin üstüne çıkıldığında sözkonusu alanlarda kalma süresinde de sınırlar belirlenmiştir^{24,25}:

<u>E Alan (kV/m)</u>	<u>Dakika / gün</u>
1-5	Sınırlama yok
10	180
15	90
20	10
25	5

Ülkemizde ise bu sınırların belirlenmesine ilişki henüz hiçbir çalışma yapılmamıştır.

2.3. ELEKTROMAGNETİK ALANLARIN BİYOLOJİK ETKİLERİ

Elektrik alanların biyolojik etkilerini araştıran çalışmalar üç grupta incelenebilir:

- * Modelleme çalışmaları
- * İnsanlar üzerinde yapılan klinik ve epidemiyolojik çalışmalar
- * Hayvanlarla yapılan çalışmalar

2.3.1. Modelleme Çalışmaları: Dışarıdan Uygulanan Elektrik ve Magnetik Alanların Vücutta Oluşturduğu Elektrik Alan Değerlerinin Saptanması:

Dışarıdan uygulanan elektrik ve magnetik alanların vücutta oluşturdukları iç elektrik alanların ölçülmesi ve hesaplanması elektrik ve magnetik alanların biyolojik etkilerini araştıranlar açısından büyük önem taşımaktadır. Elektrik alanların biyolojik etkileri vücut içinde oluşturdukları elektrik alanla yakından ilişkilidir. İç alanlar; gelen alana, cismin şekil ve büyüklüğüne elektrikselle özelliklere ve uygulanan alanın frekansına bağlıdır. Bu nedenle aynı dış alana maruz bırakılan farklı cisimlerde oluşacak iç alan değeri birbirinden farklılık gösterecektir. Kompleks şekilli yapılarda farklı doğrultulara sahip cisimlerde ve bunların iç kısımlarında oluşan elektrik alanların saptanması oldukça zordur. Biyolojik yapılarda makroskobik seviyeden (tüm vücut ve organlar) mikroskobik seviyeye (hücre) dozimetrik analizlerin yapılması sözkonusudur. Yukarıda sözkonusu edilen nedenlerden dolayı insan ve hayvanlarda oluşturulan yüzey ve iç elektrik alan değerinin tesbiti teorik ve deneysel olarak saptanmaktadır²⁶⁻³⁰. Teorik hesaplama ve ölçümlerde insan ve hayvan boyutlarına uygun içi salın-agar solüsyonlarla doldurulan modeller üzerinde çalışılmaktadır²⁶.

Elektrik alana maruz bırakılan insan ve hayvan modellerinde oluşan akım

değerleri: $I = \alpha f E_{\text{dış}} W^{2/3}$ formülünden hesaplanabilir (Tablo 2)³¹⁻³⁵

Burada:

I = Akım

α = Sabit

f = Frekans

$E_{\text{dış}}$ = Dışardan uygulanan elektrik alan

W= Modelin ağırlığını göstermektedir.

TABLO 2 : Dikey Doğrultuda Uygulanan ELF Elektrik Alanların İnsan ve Hayvanlarda Oluşturduğu Akım Değerleri³¹

	Akım (μA)
İnsan	$15.0 \times 10^{-8} f W^{2/3} E_{\text{dış}}$
At	$8.5 \times 10^{-8} f W^{2/3} E_{\text{dış}}$
Domuz	$7.7 \times 10^{-8} f W^{2/3} E_{\text{dış}}$
Kobay	$4.2 \times 10^{-8} f W^{2/3} E_{\text{dış}}$
Sıçan	$4.0 \times 10^{-8} f W^{2/3} E_{\text{dış}}$

f:Frekans, W:Modelin ağırlığı, $E_{\text{dış}}$ = Dışardan uygulanan elektrik alan

Kaune'nun yaklaşımına göre; dışardan elektrik alan uygulandığında vücut yüzeyinde oluşan elektrik alan değeri

$$E_y = \frac{I}{2\pi f \epsilon A} \text{ ifadesi kullanılarak bulunabilir}^{26,36,37}.$$

E_y = Model yüzeyinde oluşan elektrik alan

I = Akım

f = Frekans

ϵ = Havanın dielektrik sabiti (10^{-11} F/m)

A = Modelin yüzey alanı

Polk'un yaklaşımına göre; dışarıdan uygulanan DC elektrik alanların ($E_{dış}$) model içinde oluşturacağı iç elektrik alan ($E_{iç}$) değeri iletkenlikleri $\sigma_{hava} = 10^{-13}$ S/m, $\sigma_{doku} = 10^{-1}$ S/m ve dielektrik sabitleri $\epsilon_{hava} = 10^{-11}$ F/m, $\epsilon_{doku} = 10^{-5}$ F/m olan iki farklı ortam gözönüne alınarak hesaplanmış ve sonuçta dışarıdan uygulanan elektrik alanın ($E_{dış\perp}$) dik bileşeniyle canlı dokuda oluşan elektrik alanın ($E_{iç\perp}$) dik bileşeni arasındaki ilişki;

$$\frac{E_{iç\perp}}{E_{dış\perp}} = \frac{\sigma_{hava}}{\sigma_{doku}}$$

$$\frac{E_{iç\perp}}{E_{dış\perp}} \cong 10^{-12} \text{ ile ifade edilmiştir}^{36}.$$

$E_{iç\perp}$ = Model içinde oluşan iç elektrik alanın dik bileşeni

$E_{dış\perp}$ = Dışarıdan uygulanan elektrik alanın dik bileşeni

f = Frekans

ϵ_{hava} = Havanın dielektrik sabiti

σ_{doku} = Dokunun iletkenliği

Benzer hesaplamalar 50 Hz'deki elektrik alanlar için yapıldığında

$$\frac{E_{iç\perp}}{E_{dış\perp}} = \frac{2\pi f \epsilon_{hava}}{\sigma_{doku}}$$

$$\frac{E_{iç\perp}}{E_{dış\perp}} \cong 3.10^{-8} \text{ şeklinde bir ilişki ortaya çıkmaktadır}^{22}.$$

Buna göre dışarıdan uygulanan 50 Hz'lik elektrik alanının ancak ≈ 100 milyonda biri içeri girebilmektedir.

Dışarıdan uygulanan elektrik alanların ($E_{dış}$), vücut yüzeyinde oluşturdukları elektrik alanların da (E_y) vücut içinde oluşturdukları ikincil bir elektrik alan ($E_{iç*}$) değeri

mevcuttur ve bu durumda $\frac{E_{iç*}}{E_y} = \frac{2\pi f \epsilon}{\sigma}$ olacaktır³⁶.

Ortamın iletkenliği (σ), modelin vücut yüzey alanı (A), dışarıdan uygulanan elektrik alanın vücutta oluşturacağı akım (I) ve E_{ic} alan değeri bilindiği durumda ise akım yoğunluğu değeri $J= I/A= \sigma E_{ic}$ ile ifade edilir³⁸.

Bu bilgilerin ışığı altında Deno ve Kaune 60 Hz'de dikey doğrultuda 10 kV/m'lik elektrik alana maruz bırakılan yere basmakta olan insan, domuz, kobay ve sıçan modellerinde oluşan yüzey elektrik alan ve akım yoğunluğu değerlerini tespit etmişlerdir (Tablo 3). Benzer hesaplamalar at, inek ve maymun modelleri için de yapılmıştır^{26,38}.

TABLO 3: 60 Hz'de 10 kV/m'lık Elektrik Alana Maruz Bırakılan

İnsan,Domuz,Kobay ve Sıçan Modellerinde Oluşan Akım

Yoğunluğu ve Yüzey Elektrik Alan Deđerleri²⁶

	Yüzey Elektrik Alanı (kV/m)	Akım Yoğunluğu (nA/cm ²)	
		Boyun	Gövde
İnsan	27	550	249
Domuz	14	40	16
Kobay	13	20	7
Sıçan	12	28	9

Modelleme yoluyla yapılan teorik hesaplamalarla hayvanlarda gözlenen biyolojik etkilerin insanlara uyarlanması mümkün olmaktadır (Tablo 3). 60 Hz'de 10 kV/m'lik elektrik alanının insan vücut yüzeyinde oluşturduğu elektrik alan 27 kV/m iken yüzey elektrik alan açısından insan ve domuz için 1.9/1, insan ve kobay için 2/1, insan ve sıçan için de 2.25/1'lik bir oran sözkonusudur. Yüzeyde oluşan elektrik alan açısından hayvanlar ve insanlar için sözkonusu olan bu oran akım yoğunluğu için de hesaplanmıştır. Örneğin insan boynu için akım yoğunluğu değeri 550 nA/cm²'dir. Bu değeri domuz, kobay ve sıçan için kaydedilen değerlerin sırasıyla 14, 28 ve 20 katıdır. Ancak insan ile sıçan, domuz veya kobay arasındaki bu oranlamalar her zaman mukayese edilecek özellikte olamamaktadır. Çünkü insanda bazı bölgeler fareden daha fazla

akım yoğunluğuna sahiptir. Ayrıca insan ve hayvanlar arasındaki bu oranlamalar hayvanların farklı pozisyon almalarına göre daha da karışık durumlar ortaya çıkarabilmektedir. Çünkü 10 kV/m'lik E alana maruz bırakılan 4 ayağı yerle temas halinde bulunan farede oluşan ortalama akım değeri $I=1.6\mu A$ iken; hayvan 2 ayağı üzerinde ayağa kalktığı pozisyonda bu değer 2 katına ($I=3.2\mu A$) çıkmaktadır^{26,39}.

Gözönüne alınan modellerin ağırlıkları ve dolayısıyla vücut yüzey alanları da model üzerinde oluşan akım, yüzey elektrik alanı ve iç elektrik alan değerleri üzerinde etkilidir. Bu da insan ve hayvan modelleri arasındaki oranların ve mukayeselerin her zaman geçerli olamamasına neden olmaktadır^{36,37}.

Modelleme çalışmalarında seçilen modelin şekli de önemlidir. Genellikle insanlarla ilgili hesaplamalarda gözönüne alınan model silindirik modeldir ve böyle bir model için yüzeyde oluşan elektrik alan (E_y) değeri Brambilla'nın yaklaşımına göre⁴⁰:

$$E_y = 2E_{ds} \frac{1}{1 + \frac{\epsilon_{ds}}{\epsilon_{iç}}} \text{ ile.}$$

Model içinde oluşan elektrik alan (E_i) değeri ise

$$E_i = 2E_{ds} \frac{1}{1 + \frac{\epsilon_{iç}}{\epsilon_{ds}}} \text{ ifadesi ile hesaplanabilir}^{40}.$$

Buna karşılık model küre olarak seçilirse yüzeyde oluşacak E alan

$$E_y = 3E_{ds} \frac{1}{1 + 2 \frac{\epsilon_{ds}}{\epsilon_{iç}}} \text{ ile.}$$

Model içinde oluşan E alan ise

$$E_i = 3E_{ds} \frac{1}{2 + \frac{\epsilon_{iç}}{\epsilon_{ds}}} \text{ ifadeleri ile hesaplanabilir}^{40}.$$

$\varepsilon_{iç}$ = İç ortamın dielektrik sabiti.

$\varepsilon_{dış}$ = Dış ortamın dielektrik sabitidir.

Yukarıdaki ifadelerden görüleceği gibi aynı dış elektrik alana maruz bırakılan küresel ve silindirik modellerden küresel modelde gerek yüzey elektrik alan gerekse içerde oluşan iç elektrik alan değeri maksimumdur.

Modelleme çalışmalarında dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri de modelin toprakla temas halinde olup olmamasıdır. Dışarıdan aynı şiddette elektrik alana maruz bırakılan yere basmakta olan modelle, havada asılı pozisyonundaki model, yüzeyde oluşacak akım yoğunluğu açısından karşılaştırıldığında yere basmakta olan modelde akım yoğunluğunun ayak bileğinde % 19.5, dizde % 21 ve boyunda % 60 daha büyük değerde olduğu tespit edilmiştir³¹.

Yapılan modelleme çalışmaları dışarıdan uygulanan elektrik alanının insanda maksimum akım yoğunluğunu ayak ve boyunda oluşturduğunu göstermektedir. Bunun nedeni omuz ve diğer uç noktalar yoluyla giren toplam vücut akımlarının üçte birinin baştan geçmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca vücuda gelen tüm akımlar ayak bileği yoluyla toprağa geçer. Ayak bileği kesitinin çok dar olduğu ve tüm akımın buradan geçtiği düşünülürse ayak bileğinde oluşan akım yoğunluğunun maximum olması beklenen bir sonuçtur³⁹.

Yetişkin ve çocuk elipsoidallere dışarıdan dikey doğrultuda 1V/m'lik E alan uygulandığında model yüzeyinde oluşan E alanının dikey, yatay ve frontal bileşenleri incelenmiş ve vücut yüzeyinde oluşan dikey E alanının vücudun frontal ve yan yüzünde oluşan E alan değerine kıyasla ~10 kat daha büyük olduğu saptanmıştır. Aynı çalışmada uygulanan E alanının frekansı arttıkça vücut yüzeyinde oluşan her 3 elektrik alan (dikey, yatay, frontal) değerinin de artış gösterdiği tespit edilmiştir⁴¹.

Kültür ortamlarıyla yapılan çalışmalarda da dışarıdan uygulanan E alanının ortam içinde oluşturacağı elektrik alan değeri:

$$E_i = \frac{V}{j \frac{\sigma}{\varepsilon_d w} \left(h + \frac{t}{\varepsilon} \right)} \text{ ile ifade edilmektedir}^{42}.$$

Burada,

E_i = İç elektrik alan

V = Potansiyel fark

σ = Kültür ortamının iletkenliği

w = Açısal frekans ($2\pi f$)

h = Kültür ortamının yüzeyiyle elektrik alan oluşturmada kullanılan plaka arasındaki mesafe

t = Kültür tabağının kalınlığı

$\epsilon_{dış}$ = Dokunun dielektrik sabitidir.

$t \ll h$ olması durumunda ise

$$E_i \cong \frac{Vw\epsilon_d}{\sigma h}$$

eşitliği elde edilir.

2.3.2. İnsanlar Üzerinde Yapılan Araştırmalar

Elektrik ve magnetik alanların insanlar üzerinde oluşturduğu biyolojik etkileri

iki kaynaktan araştırmak mümkündür:

* Epidemiyolojik araştırmalar

* Laboratuvar koşullarında gönüllü olarak elektrik ve magnetik alanlara maruz

kalan kişilerde yapılan deneysel araştırmalar.

2.3.2.1. Epidemiyolojik Araştırmalar

Elektrik alanların biyolojik etkilerini açıklamaya yönelik epidemiyolojik çalışma yapmak hayli zor bir işlemdir. Bu zorluğun nedenlerini kısaca özetlersek:

* Kontrol grubu olarak seçim yapılırken dünyanın her yerinde elektrikten faydalanma sözkonusu olduğu için 50 ve 60 Hz'lik alanlara maruz kalmamış bir bireyin bulunması olanaksızdır.

* Elektrik alanlara maruz kalan kişilerde ise bu alanda kalış süreleri ve maruz kalınan alan şiddeti birbirinden farklılık göstermektedir.

* İletim hattında çalışan bir kişinin mi yoksa ev ve bürolarda günlük işlerle uğraşan bir insanın mı kuvvetli elektrik alanlara maruz kaldığını ayırt etmek neredeyse imkansızdır. Çünkü iletim hatlarında çalışan görevliler koruyucu ekranlama elbiseleri giyerek veya ekranlanmış kutularda çalışarak kendilerini çevrelerindeki kuvvetli elektrik alanlardan koruyabilirler. Yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan 10 kV/m şiddetindeki elektrik alanda ayakta duran bir işçide indüklenecek maximum akım ~160 μ A civarındadır. Ev veya büroda çalışan bir kişi ise elektrikli cihazların ürettiği 500-750 μ A şiddetindeki kaçak akımlara maruz kalmaktadır²².

Elektrik alanların biyolojik etkilerini araştırmaya yönelik epidemiyolojik çalışmaları iki grupta toplayabiliriz:

* Yüksek gerilim ve haberleşme hatlarında, şalt sahasında ve mesleği gereği elektrik alanlara maruz kalan kişilerle yapılan çalışmalar.

* Ev/işyerlerinin yakınından yüksek gerilim hattı geçen kişilerle yapılan çalışmalar.

2.3.2.1.1. Meslekleri Gereği Elektrik Alanlara Maruz Kalan Kişilerde

Görülen Etkiler

Asanova ve Rakov (1966), Rusya'da 400-500 kV'luk potansiyele sahip yeraltı istasyonlarında çalışan 45 işçi üzerinde klinik araştırmalarda bulundular. Bu istasyonlarda 500 kV'luk potansiyel farkın oluşturduğu elektrik alan şiddeti 15-27 kV/m arasında değişmekteydi. Ancak inceleme yapılan işçiler istasyonda çalıştıkları sürelerde elektrik kalkanları kullanmış ve maruz kaldıkları E alan şiddetini insanlar için maruz kalınabilecek ve herhangi bir tıbbi soruna yol açmayacağı belirtilen 5 kV/m'nin çok daha altına (1.1- 2.2 kV/m) indirmişlerdir. Yapılan muayeneler sonunda işçilerde nöral patoloji, kardiyovasküler hastalıklar, hipertansiyon, hipotansiyon, taşikardi, bradikardi, sinüs bradikardi, yavaşlamış atriyal ve ventriküler iletim.

yaygın miyokard değişiklikleri, sindirim sistemi hastalıkları (kronik gastrit ve safra kesesi iltihabı), santral sinir sistemi ve sinir sistemi bozuklukları ve eritrosit sedimentasyon hızında düşüş saptanmıştır^{43,44}.

Sazanova (1967), 400-500 kV'luk trafo merkezlerinde günde 5 saat çalışan 54 hat bakım personeline kan basıncında düşüş, parmak kasının elektriksel duyarlılığında artış, kardiyovasküler sistemde vagotonik değişiklikler, vücut ısısının kendi kendini ayarlamasında düzensizlikler saptamış, buna karşılık bu alanlara iki saat ve daha az süre maruz kalan işçilerde bir değişime rastlamamıştır⁴⁵.

Revnova (1968), 500 kV'luk yüksek gerilim hatlarının bulunduğu bölgede çalışan 99 erkek ve 15 kadın şalt sahası işçisinden elde edilen klinik verilerin Asanova ve Rakov'un (1966) elde ettiği sonuçlarla paralel olduğunu bildirmiştir⁴⁶.

Danilin (1969), maksimum 26 kV/m, ortalama 14 kV/m'lik elektrik alana maruz kalan 12 şalt sahası işçisinde bir değişime rastlamamıştır⁴⁷.

Filipov (1972), 220, 330 ve 500 kV'luk şalt sahasında çalışan 286 kişide santral sinir sisteminde ve kardiyovasküler sistemde değişimler, kanda retikulosit ve nötrofil sayısında artış tespit etmiştir⁴⁸.

Fole (1973-1974), 400 kV'luk yüksek gerilim hatlarının geçtiği bölgede yaklaşık 15 kV/m şiddetinde elektrik alana maruz kalan şalt sahası işçilerinde nöral patoloji, kardiyovasküler hastalıklar, santral sinir sistemi ve otonom sinir sisteminde bozukluk saptamıştır^{49,50}.

Krivova (1975), 220, 330 ve 500 kV'luk şalt sahasında çalışan 319 kişide santral sinir sisteminde değişimler olduğunu rapor etmiştir⁵¹.

Malboysson (1976), İspanya'da yüksek gerilim hatlarında çalışan 94 kişide kan glukoz, serum, kolesterol, trigliserid, üre ve ürik asit seviyelerinde bir değişime rastlamamıştır⁵².

Roberge (1976), Kanada'da 1/2-4 yıl süreyle 735 kV'luk yüksek gerilim hattının oluşturduğu elektrik alanlara maruz kalan 55 hat bakım işçisinde yaptığı klinik

çalışmada bir değişim gözlememiştir⁵³.

Korobkova (1977), Rusya'da 500 kV'luk indirici merkezlerde hiçbir koruyucu önlem almadan bir kaç ay çalışan 250 kişi üzerinde yaptığı incelemede merkezi sinir sistemi dolaşım sisteminde kalıcı değişikliklerin olduğunu saptamıştır. Bazı indirici merkezlerde gerilim 400 kV'tan 500 kV'a çıkarıldığında yukarıda adı geçen bozukluklarda artış gözlenmiştir. Yani uygulanan voltaj ve bu voltajın oluşturduğu E alan şiddeti arttıkça vücutta oluşan değişimlerde de artış saptanmıştır. Ayrıca işlevsel hastalıkların ve bozuklukların derecesinin alan içinde kalış süresi ile yakından ilişkili olduğu tespit edilmiştir⁵⁴.

Issel (1977) ve Kupfer (1977), Almanya'da 110-380 kV'luk yüksek gerilim hattının oluşturduğu 5 kV/m'lik E alana maruz kalan 110 işçinin tüm klinik test ve psikolojik testlerinde değişime rastlamamışlardır^{55,56}.

Nordström (1979, 1981, 1983), İsveç'te yaptığı bir seri çalışmada 400 kV'luk yüksek gerilim hatlarında çalışan işçilerin kromozomlarında kırıklar oluştuğunu saptamıştır. Bu işçilerin çocuklarında yapılan incelemede 119 çocuğun % 10'nunda kromozom kırıklarında artış saptanmıştır⁵⁷.

Bauchinger (1981), 50 Hz'de 380 kV'luk şalt sahalarında 20 yıldır çalışan 32 işçi üzerinde yaptığı inceleme sonucunda kromozomların morfolojik yapısında önemli değişimler olduğunu tespit etmiştir⁵⁸.

Korpinen (1993), Fillandiya'da 400 kV'luk yüksek gerilim hatlarının oluşturduğu 50 Hz'de 0.14 - 10.21 kV/m arasında değişen E alan ve 0.01 - 0.15G şiddetindeki magnetik alana maruz kalan kişilerde kalp hızında yavaşlama tespit etmiştir⁵⁹.

Ohno (1993), 18 G şiddetindeki magnetik alanda 5 yıl süreyle çalışan 10 işçide yaptığı çalışmada kırmızı kan hücreleri, hemoglobin, GOT, GPT, GTP, trigliserid, ECG ve lenfositlerdeki kardeş kromotit değişimini (SCE) incelemiş, kontrollere kıyasla GOT seviyesinde artış ve SCE'de azalış olduğunu rapor etmiştir⁶⁰.

Meslekleri gereği elektromagnetik alanlara maruz kalan kişilerde diğer meslek

gruplarına nazaran kanser görülme sıklığında artış tespit edilmiştir^{44,61}:

Milham (1982). 1950-1979 yılları arasında 20 yaş ve daha küçük yaşlarda lösemiden ölenlerin genel nüfusa göre % 37'sini elektrikçiler, radyo ve televizyon tamircileri, yüksek gerilim istasyonlarında çalışan operatörlerin oluşturduğunu saptamıştır⁶².

McDowall (1983) ve Wright (1982), İngiltere'de 1970-1972 yılları arasında akut myeloid lösemiden ölenlerin genel nüfusa göre büyük bir kısmını telgraf bakım işçileri, radyo operatörleri, elektrik ve elektronik mühendislerinin oluşturduğunu rapor etmişlerdir^{63,64}.

Coleman (1983), Güney Doğu İngiltere'de genel nüfusa oranla elektrik işçilerinde lösemi görülme sıklığının % 17 daha fazla olduğunu tespit etmiştir⁶⁵.

Vagero (1983), İsveç kanser kayıtlarını kullanarak erkek elektrik işçilerinde kanser görülme sıklığının nüfusun tümüne kıyasla % 15 , bayan elektrik işçilerinde ise % 8 daha yüksek olduğunu saptamıştır⁶⁶.

Japonya'da 1968-1985 yıllarında elektromagnetik alanlarda çalışan 32545 işçinin ölüm nedenlerinin hangi kanser ve hastalık tipine bağlı olduğu araştırılmıştır. Üzerlerinde inceleme yapılan bu kişiler trafo merkezlerindeki ofis / istasyonlarda çalışan işçiler, trenlerde çalışan işçiler, demiryolu bakım işçileri, elektrik güç tesisatlarında çalışan işçiler, şalt sahalarında çalışan işçiler ve elektrik motorlarıyla ilgilenen işçiler olmak üzere altı ayrı grupta incelenmiş, sonuçta en çok kanser görülen grubun şalt sahalarında çalışan işçiler olduğu ve en çok görülen kanser tipinin mide ve akciğer kanseri olduğu tespit edilmiştir. En sık görülen hastalıkların ise serebrovasküler hastalıklar, kalp ve karaciğer ile ilgili hastalıklar olduğu bildirilmiştir⁶⁷.

Bir dizi epidemiyolojik çalışma ile de elektromagnetik alanlarda çalışan insanlarda beyin kanseri görülme riski araştırılmıştır :

* McMillan (1983). 1955-1975 yılları arasında çalışan 2568 erkek elektrik işçisinin 22'sinin⁶⁸.

* Coggon (1986). 1975-1980 yılları arasında İngiltere'de 2942 işçiden

97'sinin²,

* Magnani (1987), 1959-1963 ve 1965-1979 yılları arasında İngiltere'de çalışan 1265 elektrik işçisinden 432'sinin⁶⁹,

* Tornquist (1991), 1961-1988 yılları arasında İsveç'te 3358 elektrik işçisinden 13'ünün⁷⁰,

* Sahl (1993), 1960-1988 yılları arasında elektrik işçisi olarak çalışan 36 kişiden 32'sinin⁷¹,

* Theriault (1994), 1970-1989'da Kanada ve Fransa'da çalışan 223 elektrik işçisinden 108'nin beyin kanserinden öldüğünü bildirmişlerdir⁷².

Sobel (1995), Helsinki ve Kaliforniya'da 1982 ile 1993 yılları arasında yaptığı araştırmalarda kadın terzilerde, elektrik ve telefon hattı döşeyen işçilerde, elektrik teknisyeni ve elektrik mühendislerinde diğer meslek gruplarına nazaran Alzheimer hastalığı görülme oranının erkeklerde % 30, kadınlarda ise % 70 daha fazla olduğunu rapor etmiştir⁷³.

2.3.2.1.2. Evlerinin Yakınından Yüksek Gerilim Hattı Geçen Kişilerde

Gözlenen Elektrik Alan Etkileri

Wertheimer (1979) ve Tomenius (1982), evlerinin yakınından yüksek gerilim hattı geçen çocuklarda lösemi görülme oranında 2-3 kat artış olduğunu rapor etmişlerdir^{1,2}.

Benzer olarak Easterly'de bu çocuklarda lösemninin 1.5-2.5 kat arttığını bildirmiştir³.

Aldrich (1993), yüksek gerilim hatlarının (>100 kV) geçtiği bölgelerde yaşayanlarda beyin kanseri görülme sıklığında artış olduğunu tespit etmiştir⁴.

Jensen (1993), Danimarka'da yüksek gerilim hatlarının altında bulunan evlerde yaşayan yaşları 0-14 arasında değişen 1720 çocukta yaptığı araştırmaya göre bu çocuklarda lenfoma, beyin tümörü ve lösemi görülme oranında bu bölgelerde yaşamayan çocuklara göre artış saptamıştır⁵.

Strunza (1970), Fransa'da evlerinin 25 m yakınından 200-400 kV'luk yüksek gerilim hattı geçen 70 erkek, 65 kadın ve 132 çocuk ile evlerinin 125 m yakınından yüksek gerilim hattı geçen 74 erkek, 60 kadın ve 120 çocuk üzerinde yaptığı klinik testler sonucunda bu iki grup arasında bir fark gözlememiştir⁷⁴.

2.3.2.2. Gönüllü Kişiler Üzerinde Yapılan Laboratuvar Çalışmaları

Filipov (1972), 23 gönüllü üzerinde yaptığı çalışmada 10, 16, 25 ve 30 kV/m'lik E alana maruz kalmanın sinirsel aktivite, vasküler sistem, kan ve vücut sıcaklığında önemli değişimlere neden olduğunu rapor etmiştir⁷⁵.

Hauf (1973), 3 saat boyunca 1, 15 ve 20 kV/m şiddetinde E alana maruz bıraktığı 25 kişide gerek hematolojik gerekse biyokimyasal testlerde bir fark tespit etmemiştir^{76,77}.

Johanssone (1973), denekleri 45 dakika boyunca 1, 15 ve 20 kV/m'lik E alana maruz bırakmış ve yapılan psikolojik testlerde bir fark saptamamıştır⁷⁸.

Beischer (1973), küçük bir odada 45 Hz'de 1G'luk magnetik alana maruz bırakılan kişilerde serum trigliserid seviyesinde artış olduğunu bildirmiştir^{79,80}.

Rupilis (1976), 50 Hz'de 3 saat boyunca aynı anda hem 20 kV/m'lik E alana hemde 3G şiddetinde magnetik alana maruz bıraktığı gönüllülerde hematolojik ve biyokimyasal testler açısından fark olmadığını bildirmiştir⁷⁶.

Cook (1992), 6 saat süreyle 60 Hz'de 9 kV/m şiddetinde E alan ile 0.2 G'luk magnetik alana aynı anda maruz bıraktığı kişilerde kalp hızı ve beyin potansiyelleri açısından istatistiksel olarak önemli değişimler tespit etmiştir⁸¹.

Korpinen (1994), 400 kV'luk yüksek gerilim hatlarının altında 0.2-11.2 kV/m'lik E alan ve 0.01-0.16 G şiddetinde magnetik alana maruz kalan gönüllülerde 1 saat sonunda kalp hızında düşüş ve diastolik kan basıncında artış saptamıştır⁸².

Graham (1994), 60 Hz'de 6 kV/m+100 mG ve 12 kV/m+300 mG şiddetlerinde

elektromagnetik alanları 5 saat boyunca gönüllülere uygulamanın kalp hızında değişime neden olmadığını, buna karşılık 9 kV/m + 200 mG şiddetindeki elektromagnetik alanları 2 ve 6 saat uygulamanın kalp hızını yavaşlattığını ve bu yavaşlamada 6 saat'lik uygulamanın daha etkili olduğunu tespit etmiştir⁸³.

2.3.3. İnvitro ve İnvivo Koşullarda İnsan ve Hayvanlarla Yapılan

Deneysel Çalışmalar

Elektrik alanları farklı süre, şiddet ve doğrultularda uygulamanın tüm kan parametreleri, vitaminler, enzimler ve hormon seviyelerinde, protein sentezinde, Ca^{2+} salınımında, santral sinir sisteminde, immün ve nöroendokrin fonksiyonlarda, hücrelerin uyarılabilirliğinde, hücre çoğalması ve hücre organellerinde, lenf düğümlerinde, kromozomlarda, tümör gelişiminde, büyüme ve ölüm oranında önemli değişimlere neden olduğu gözlenmiştir:

60 Hz'de 50 kV/m'lik elektrik alana 8 saat süreyle 16 gün boyunca maruz bırakılan tavşanların lökosit ve kırmızı kan hücrelerinin sayısında artış saptanmıştır⁸⁴.

60 Hz'de 5 kV/m'lik elektrik alan 30 gün boyunca uygulandığında insan kırmızı kan hücrelerinin sayısında azalış, 15 kV/m'lik elektrik alanda ise lökosit sayısında artış gözlenmiştir⁸⁵.

45 Hz ve 75 Hz 'de 5 V/m ile 100 V/m 'lik elektrik alanlara 3 haftalık fareler 12 saat süreyle 36 gün boyunca maruz bırakılmışlar ve sonuçta vücut ağırlıklarında ve beyin serotonin seviyesinde azalış, kan serotonin seviyesinde ise artış gözlenmiştir. Ancak bu değişimler istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır. Araştırmanın devamında virüs enjekte edilen fareler 12 saat süreyle 7. 8. 9. 10. 11 ve 12 gün boyunca 75 Hz'de 100 V/m'lik elektrik alana maruz bırakıldıklarında ölüm oranında gözlenen en büyük artışın 7. ve 8. günlerde olduğu rapor edilmiştir⁸⁶.

65 kV/m şiddetindeki elektrik alana 5 saat süreyle 15 gün boyunca maruz

birakılan sıçanlarda kırmızı ve beyaz kan hücreleriyle, lökosit sayılarında artış. 100 kV/m'lik elektrik alana maruz bırakılanlarda ise sadece lökositlerde artış meydana gelmiştir⁸⁷.

Bioelektromagnetik Laboratuvarımızda 0.9 kV/m ve 1.9 kV/m'lik DC elektrik alanlar dikey ve yatay doğrultularda 9 saat süreyle 3 gün boyunca kobaylara uygulandı. 1.9 kV/m şiddetindeki elektrik alan her iki doğrultuda; karaciğer, akciğer ve böbrek dokularının hidrosiprolin ve askorbik asit miktarında, süperoksit dismutaz enzim aktivitesinde artışa neden olurken, karaciğerin fonksiyonel enzimlerinde (oksalasetat transferaz, alanin fosfataz, laktat dehidrogenaz, pirüvat transferaz) ve malondialdehit (MDA) miktarında bir değişime neden olmamıştır. 0.9 kV/m'lik elektrik alanın ise incelenen dokularda hidrosiprolin, askorbik asit ve malondialdehit (MDA) miktarında azalışa, süperoksit dismutaz enzim aktivitesinde artışa neden olmuş, karaciğerin fonksiyonel enzimlerinde ise değişim gözlenmemiştir. Karaciğer dokularının histolojik incelemesi sonucunda 1.9 kV/m'lik elektrik alanın kollagen liflerde artışa, 0.9 kV/m'lik elektrik alanın ise kollagen liflerde azalışa neden olduğu gözlenmiştir. Ayrıca incelenen tüm parametrelerde her iki elektrik alan şiddeti içinde dikey elektrik alanın yataydan daha etkili olduğu saptanmıştır^{8,88-117}.

200 ve 400 μ A'lik elektrik akımı 48 ve 72 saat boyunca tavşanların gluteal bölgesinde oluşturulan yaralara uygulanmış ve sonuçta 48 saatlik maruziyet deri hidrosiprolin seviyesini azaltırken, 72 saatlik uygulama hidrosiprolin seviyesinde artışa neden olmuştur¹¹⁸⁻¹²⁵.

60 Hz'de 3 mT'lik magnetik alan ve bu alanın oluşturduğu 32 μ V/cm'lik elektrik alanın E. Coli'ye 2 saat uygulanması sonucunda protein sentezinde meydana gelen değişimlerde kontrollere kıyasla bir fark saptanmamıştır¹²⁶.

0.16-1.6 G aralığındaki B alanların bakteri üremesine etkisi Seyhan Atalay (1983) tarafından, spektrofotometrik yöntemle takip edilmiştir. B alanların 2 saat süreyle uygulandığı kültür ortamında E-koli (K12) hücrelerinin sayısında değişim gözlenmemiştir¹²⁷⁻¹²⁹.

16 Hz'de 21.2 V/m+970 µG şiddetindeki elektromagnetik alan 30 dakika boyunca E. Coli'ye uygulandığında enolaz enzim aktivitesinde % 60 artış saptanırken, 60 Hz'de 14.1V/m+650 µG şiddetindeki alan % 25 'lik artışa neden olmuştur¹³⁰.

60 Hz'de 5 kV/m'lik elektrik alan farelerde kırmızı kan hücrelerinin sayısında azalışa, 25-50 kV/m'lik elektrik alan beyaz kan hücrelerinin sayısında artışa, 100 kV/m'lik elektrik alan ise lökosit sayısında artışa neden olmuştur¹³¹.

Ornitin dekarboksilaz (ODC), amin biyosentezini kontrol eden bir enzimdir. Ayrıca ODC doku ve hücre büyümesini artıran ve tümör gelişimini hızlandıran bir etkiye sahiptir. Yapılan bir seri çalışmada ODC aktivitesinin elektrik alandan nasıl etkileneceği araştırılmıştır. 60 Hz'de 10 mV/cm'lik elektrik alan insan lenfoma hücrelerinde ODC aktivitesini 5 kat artırmış, fare myeloma hücrelerinde ise 2-3 katlık artışa neden olmuştur. 0.1mV/cm'lik elektrik alan ise H35 hepatom hücrelerinin ODC aktivitesini % 30 artırmıştır. Yine H35 hücreleri ile yapılan bir başka çalışmada da 60 Hz'de 10 mV/m'lik elektrik alanın iki saat boyunca uygulanmasının ODC aktivitesini artırdığı saptanmıştır¹³².

10 kV/m şiddetinde elektrik alana 23 saat süreyle 14 ay boyunca maruz bırakılan yeni doğmuş sıçan yavrularının böbreküstü bezindeki glomerulus bölgesinin lipid içeriğinde artış tespit edilmiştir¹³³.

8 saat süreyle 6 gün boyunca 60 Hz'de 25 kV/m ve 100 kV/m'lik elektrik alanlara maruz bırakılan farelerde büyüme oranı ve nötrofillerde artış, lenfositlerde ise azalış meydana gelmiştir. Tüm bu artış / azalışlarda 100 kV/m şiddetindeki elektrik alanın daha etkili olduğu saptanmıştır¹³⁴.

50 Hz'de 25 kV/m, 80 kV/m ve 100 kV/m şiddetindeki elektrik alanlar 30 dakika ve 8 saat boyunca fare, tavşan ve köpeklere uygulanmış, her iki uygulama süresi içinde; 25 kV/m'lik elektrik alan kalp atışını, 80 kV/m'lik elektrik alan ise arter kan basıncını artırmış, 25 kV/m ve 100 kV/m'lik elektrik alanların her ikisi de hemoglobin ve eritrosit seviyelerinde azalışa neden olmuştur. 30 dakika boyunca uygulanan 100 kV/m'lik elektrik alan çiftleşme

sıklığı ve gebelik sayısında düşüşe neden olurken, 8 saat boyunca uygulanan elektrik alan bu parametreler üzerinde etkili olmamıştır. 100 kV/m'lik elektrik alanın her iki uygulama süresi içinde glukoz, üre, alkalın fosfat konsantrasyonu, total kan lipidleri, kan proteinleri, globülin ve albümin seviyelerinde, sperm hücrelerinin nitel ve nicel değişiminde ve cenin gelişiminde etkisi bulunmamıştır¹³⁵.

Dikey doğrultuda 6-197 V/cm'lik elektrik alanlara ve yatay doğrultuda ise 3-98 V/cm'lik elektrik alanlara 1 ay boyunca maruz bırakılan sıçanlarda albumin, α , β ve γ globulinlerde meydana gelen değişimler araştırıldı. Dikey doğrultuda uygulanan 28 V/cm ve 197 V/cm şiddetindeki elektrik alanlar albümin seviyesini artırırken, α , β ve γ globulinlerde azalışa neden olmuştur. 56 V/m'lik elektrik alan albümin ve α globulin seviyesinde azalışa, β ve γ globulinlerde ise artışa neden olmuştur¹³⁶.

50 Hz'de 25 kV/m ve 100 kV/m'lik elektrik alana 8 saat süreyle 7, 10 ve 38 hafta boyunca maruz bırakılan 5 haftalık sıçanlarda vücut ağırlığı, karaciğer hücrelerinde stoplazmik boşluklar ve nekroz oluşumu, kalpte hiperplazi, kanda kırmızı ve beyaz kan hücrelerinin miktarı ve hacmi, hemogloblin konsantrasyonu, total plazma proteinleri, SGOT, SGPT, alkalın fosfataz ve trigliserid seviyeleri araştırılmıştır. Sonuçta incelenen tüm parametrelerde elektrik alanın her iki şiddeti için belirlenen artış / azalışlarda en çok değişim 38 haftalık uygulama süresinde tespit edilmiştir¹³⁷.

1, 6, 16 ve 32 Hz frekanslı ve 5, 10, 56 ve 100 V/m'lik sinüzoidal elektrik alanlara maruz bırakılan civciv ve kedi beyin dokusu invitro şartlarda incelendi. 6 Hz ve 16 Hz'de 10 V/m ve 56 V/m şiddetindeki elektrik alanların Ca^{+2} salınımını azalttığı saptandı. 20 dakika boyunca 60 Hz'de 1-70 V/m'lik elektrik alan kedi beynine uygulandığında 5, 6, 7.5, 35, 40 ve 45 V/m'lik elektrik alanın Ca^{+2} salınımını azalttığı, buna karşılık 1, 2, 3.5, 10 ve 20V/m'lik elektrik alanların Ca^{+2} salınımında değişime neden olmadığı tespit edildi¹³⁸. 5 Hz ve 7.5 Hz'de 35 V/m ve 50 V/m'lik elektrik alanların ise Ca^{+2} salınımını artırdığı rapor edilmiştir¹³⁹. 6-16 Hz'de 56 V/m'lik elektrik alan kedi beyninde Ca^{+2} salınımını azaltırken,

2-5 V/m'lik elektrik alan Ca^{+2} ve GABA (Gama amino bitürik asit) salınımında artışa neden olmuştur¹⁴⁰⁻¹⁴³.

60 Hz'de 0.38 mV/cm'lik elektrik alan sıçan timosit hücrelerine 100 sn uygulandığında intrasellüler Ca^{+2} konsantrasyonunda artış saptanmıştır¹⁴⁴.

60 Hz'de 238 G'luk magnetik alan ve bu alanın oluşturduğu 1 mV/cm'lik elektrik alan insan lenfoma E6-1 hücre kültürüne 30 dakika boyunca uygulanmış ve intrasellüler Ca^{+2} konsantrasyonunda artış tespit edilmiştir¹⁴⁵.

0-100 Hz aralığında değişen 1-2000 V/m'lik elektrik alan invitro şartlarda HL-60 hücrelerine 20 dakika boyunca uygulanmış ve sonuçta Ca^{+2} konsantrasyonunda değişim olmamıştır¹⁴⁶.

60 Hz'de 220 G şiddetinde sinüzoidal magnetik alan ve bu alanın oluşturduğu 1mV/cm'lik elektrik alan invitro şartlarda sıçan timositlerine 60 dakika boyunca uygulandığında Ca^{+2} miktarında bir değişim olmazken, ortama konkavalin A ilave edilmesinden sonra elektromagnetik alan uygulandığında ise Ca^{+2} konsantrasyonunda % 52 oranında bir artış tespit edilmiştir¹⁴⁷. Bu araştırmanın devamında konkavalin A, 220 G şiddetinde magnetik alan ve 1.7 mV/cm'lik elektrik alanın birlikte uygulandığı durumda ise Ca^{+2} konsantrasyonunda % 82 artış saptanmıştır. Konkavalin A ve 1.7 mV/cm'lik elektrik alanın 800 sn uygulanması sonucunda Ca^{+2} konsantrasyonunda yine artış saptanmıştır¹⁴⁸.

60 Hz'de 1.7 kV/m ve 60 kV/m'lik elektrik alana 23 gün boyunca maruz bırakılan sıçanların pineal melatonin konsantrasyonlarında azalış tespit edilmiştir¹⁴⁹. Sasser, 60 Hz'de 39 kV/m'lik elektrik alanı 30 gün boyunca uygulamanın sıçan pineal melatonin seviyesinde değişime neden olmadığını rapor ederken, Yellon, Kato ve Lerchl DC ve yüksek frekanslı 10 mG şiddetindeki magnetik alanların melatonin konsantrasyonunda değişime neden olduğunu rapor etmişlerdir¹⁵⁰. 6 hafta boyunca 50 Hz'de 0.01, 0.05, 0.5 ve 2.5 G'luk magnetik alana maruz bırakılan sıçanların pineal melatonin seviyesindeki değişimler araştırılmış ve

sonuçta 0.05 G ve üstündeki magnetik alanların melatonin seviyesinde artışa neden olduğu saptanmıştır¹⁵¹⁻¹⁵⁴.

Oregon ve Porland bölgesindeki 500 kV'luk yüksek gerilim hatlarının tam altında dişi koyunlar 10 ay boyunca muhafaza edildi. Hattın altında elektrik alan şiddeti 60 Hz'de 4.1 kV/m ile 7.5 kV/m, magnetik alan şiddeti ise 15 mG ile 50 mG civarında idi. Kontroller ise hattan 229 m ileride muhafaza edildiler. Bu bölgede elektrik alan değeri 0.01kV/m'den, magnetik alan değerinin de 0.4 mG'dan daha küçük olduğu saptandı. Sonuçta serumdaki melatonin, kortizol ve progesteron konsantrasyonlarında bir değişim gözlenmedi¹⁴⁹.

60 Hz'de 10, 65 ve 130 kV/m'lik elektrik alanların pineal bezde melatonin seviyesinde artışa neden olduğu bildirilmiştir¹⁵¹.

60 Hz'de 1.2-1.9 kV/m'lik elektrik alana 20 saat süreyle 4 hafta boyunca maruz bırakılan genç dişi sıçanlarda hem melatonin hem de N-asetil transferaz enziminde artış meydana gelmiştir. Benzer sonuçlar 3 günlük elektrik alan uygulamasında da tespit edilmiştir¹⁵⁴.

60 Hz'de 6 kV/m'lik elektrik alan ve 0.5 G şiddetinde magnetik alana maruz bırakılan gorillerde, 9 günlük uygulamada serum melatonin seviyesinde % 18 artış, 21 günlük uygulamada ise % 15 artış saptanmıştır¹⁵⁵.

Dikey doğrultuda 6 kV/m'lik elektrik alana ve yatay doğrultuda ise 0.5 G şiddetinde magnetik alana 15 saat süreyle 6 hafta boyunca maruz bırakılan maymunlarda kan melatonin seviyesinde meydana gelen değişimler araştırıldı. Çalışmanın bir başka aşamasında da 30 kV/m+1 G'luk elektromagnetik alanların etkisi aynı uygulama süresinde araştırıldı. Her iki uygulamada da istatistiksel anlamda bir fark tespit edilemedi. Buna karşılık 22 saat süreyle 3 hafta boyunca 30 kV/m+1 G'luk elektromagnetik alana maruz bırakılan maymunların kan melatonin seviyesinde % 15'e varan düşüşler gözlenmiştir¹⁵⁶.

60 Hz'de 5 kV/m, 10 kV/m, 100kV/m ve 1000 kV/m şiddetindeki dikey elektrik alanlar 5.5 saat boyunca sıçan adrenal korteksine invitro şartlarda uygulanarak kortikosteron hormonundaki değişim incelendi. Sonuçta sadece 10 kV/m'lik elektrik alanın

kontrollere kıyasla kortikosteron hormonunu 3 kat artırdığı tespit edilmiştir¹⁵⁷.

50 Hz'de 25 kV/m ve 100 kV/m'lik elektrik alanların sıçan beynindeki nörotransmitter aminoasitlerde (taurin, glutamin, aspartik asit, glutamik asit, glisin, alanin, γ -amino bütirik asit) meydana getirdiği değişimler değişik uygulama sürelerinde araştırıldı. 320 saat boyunca uygulanan 100 kV/m'lik elektrik alan taurin, glutamik asit ve γ -aminobütirik asit seviyelerinde artışa, 640 saat boyunca uygulanan 100 kV/m'lik elektrik alan taurinde artışa ve aspartik asitte azalışa, 1240 saat boyunca uygulanan 100 kV/m'lik elektrik alan taurin, aspartik asit ve alaninde azalışa, 25 kV/m'lik elektrik alan glisin, aspartik asit, glutamin ve alaninde azalışa, 1408 saat boyunca uygulanan 25 kV/m'lik elektrik alan taurin, glutamin ve glisinde azalışa, 100kV/m'lik elektrik alan ise sadece glutamin seviyesinde azalışa neden olmuştur¹⁵⁸.

60 Hz'de 330 mV/cm şiddetinde elektrik alana 1 saat boyunca maruz bırakılan HL-60 hücrelerinin protein kinaz C (PKC) aktivitesinde % 39 oranında düşüş saptanmıştır. Bu çalışmanın devamında 33 mV/cm'lik elektrik alanın HL-60 hücrelerinde PKC aktivitesinde değişime neden olmadığı, buna karşılık 100-1000 mV/cm aralığında uygulanan elektrik alanın PKC aktivitesini şiddete bağlı olarak azalttığı rapor edilmiştir¹⁵⁹.

60 Hz'de 80 kV/m ve 100 kV/m'lik elektrik alan köpek ve sıçanların serum kortikosteron seviyesinde değişime neden olmazken, 15 kV/m'lik elektrik alan sıçanlarda kortikosteron seviyesinde azalışa neden olmuştur. 60 Hz'de 1.5 kV/m'lik elektrik alan sıçanlarda pineal melatonin seviyesini, 65 kV/m'lik elektrik alan ise serum testesteron seviyesini azaltmıştır¹³¹.

60 Hz'de 500 kV'luk yüksek gerilim hatlarının bulunduğu bölgede yapılan araştırmada 8 haftalık 14 adet dişi koyun bu bölgeye yerleştirildi. Bölgede elektrik alan şiddeti 5.5 kV/m ve magnetik alan şiddeti ise 37.7 mG'idi. 15 adet koyun ise elektrik alan değeri < 0.01 kV/m ve magnetik alan şiddeti 0.2 mG mertebesinde olan bir bölgede muhafaza edilerek kontrol grubunu oluşturdu. 10 ay boyunca yüksek gerilim hatlarının hemen altında muhafaza edilen

50 Hz'de 0.5, 2.5 ve 10 kV/m'lik elektrik alanına 6 ve 72 saat boyunca maruz bırakılan insan lenfositlerinde Natural Killer (NK) aktivitesinde meydana gelen değişim araştırılmış ancak bir fark gözlenmemiştir¹⁶¹.

50 Hz'de 20 G'luk magnetik alanın günde 4 saat olmak üzere 5 gün boyunca uygulanmış ve kobayların dalakda NK aktivitesinde azalma, beyinde Mg, Zn, Ca ve Cu konsantrasyonunda artış, plazmada Na, Ca, ve Mg konsantrasyonunda artış ve K, Zn konsantrasyonunda ise azalış saptanmıştır³⁰⁷⁻³²¹.

60 Hz'de 220 G+1.7 mV/cm'lik elektromagnetik alan invitro şartlarda insan periferel kanındaki T ve B lenfositlere 60 dakika boyunca uygulandı ve T lenfositlerde hücre yüzeyi boyunca protein moleküllerinin akışında % 73 artış saptanırken, B lenfositlerde bir değişime rastlanmadı¹⁶².

13 adet civciv ve 30 embriyo 21 gün boyunca TV ekranından 50 cm uzağa yerleştirildi. Böylece civcivler 2.6 mG, embriyolar ise 2.7 mG şiddetinde magnetik alana maruz bırakıldılar. Bu çalışmanın devamında civciv ve yumurtalar bilgisayar ekranından 50 cm uzağa yerleştirilerek civcivler 5.6 mG, embriyolar ise 6.6 mG şiddetinde magnetik alana maruz bırakıldılar. Televizyonun oluşturduğu magnetik alana maruz kalan embriyoların %57'si, civcivlerin ise 1 tanesi ölmüştür. Bilgisayar ekranının karşısına yerleştirilen embriyoların %68'i, civcivlerin ise 6 tanesi ölmüştür. Hem TV hem de bilgisayarın oluşturduğu magnetik alanların civcivlerde kortikosteron ve immünoglobulin-G seviyelerinde artışa neden olduğu saptandı. Bilgisayar karşısında kalan civcivlerde melatonin seviyesinin minimuma indiği gözlenmiştir. Ayrıca her iki magnetik alan uygulamasında da civcivlerin vücut ağırlığında düşüş olmuştur¹⁶³.

60 Hz'de 40 kV/m ve 100 kV/m'lik elektrik alan sıçan ve civcivlerinin santral sinir sistemlerinin morfolojisinde değişime neden olmazken, 14 kV/m'lik elektrik alan tavşanların serebellumunda purkinje hücrelerinin yapısında ve purkinje hücrelerdeki endoplazmik retikulum morfolojisinde anormal değişimlere, 100 kV/m'lik elektrik alan ise superior servikal sinaptik ganglionlardaki sinapsların uyarılabilirliğinde artışa neden

olmuştur¹⁶³⁻¹⁷¹.

60 Hz'de 65 kV/m'lik elektrik alanın 6 saat süreyle 12 gün boyunca uygulanması sonucunda sempatic ganglionun uyarılabilirliğinde artış tespit edilmiştir¹⁷².

60 Hz'de 100 kV/m'lik elektrik alana maruz bırakılan farelerde sinirsel uyarımlarda, büyüme oranında ve nötrofil sayısında artış, lenfositlerde ise azalış gözlenmiştir¹⁷³.

Omurgasında hasar oluşturulan sıçanlara 8 hafta boyunca 14 μ A'lik doğru akım uygulandığında kontrollere kıyasla iyileşmenin daha hızlı olduğu saptanmıştır¹⁷⁴.

Sıçan siyatik sinirine 1 μ A ve 10 μ A'lik doğru akım 1 hafta, 1 ay ve 3 ay boyunca uygulandığında kontrollere kıyasla 1 μ A'lik akım 1 haftalık uygulama süresinde sinir rejenerasyonunu % 69 arttırırken, 10 μ A'lik akım her üç uygulama süresinde de değişime neden olmamıştır¹⁷⁵.

Haftada iki gün, günde 2 saat boyunca invitro şartlarda uygulanan 0.7mV/m'lik elektrik alan ve sıçanlara uygulanan 5 mV/m'lik elektrik alan sinir iltihabını kontrollere kıyasla % 50 artırmıştır¹⁷⁶⁻¹⁷⁸.

50 Hz'de 14 kV/m'lik elektrik alan 2 ay boyunca invitro şartlarda tavşan purkinje hücrelerine uygulandı. Elektronmikroskopik görüntülerde, purkinje sinir hücrelerinin endoplazmik retikulumunda önemli değişimler gözlemlendi. Mikrotübüllerde ve mitokondrilerde azalış, nörofilament ve lizozomlarda artış saptanmıştı¹⁷⁹.

50 Hz'de 25 G+0.02 mV/cm'lik elektromagnetik alan insan perifer kan hücrelerine invitro şartlarda 24 ve 48 saat boyunca uygulandı. Her iki uygulama süresinde de hücre çoğalmasında kontrollere kıyasla artış saptandı. Ancak 48 saatlik uygulamada meydana gelen artışın 24 saatlik alan uygulamasına oranla daha fazla olduğu rapor edildi¹⁶¹.

Frekansı 1-100 kHz aralığında 18 kV/m'lik elektrik alan ve 10 kHz'de 21 kV/m'lik elektrik alan elipsoid şeklindeki fosfolipid veziküllerinde deformasyona neden olmuş ve sözkonusu değişim mikroskop ve CCD video kameralar yardımıyla tespit

edilmiştir¹⁸⁰⁻¹⁸¹.

Yetişkin erkek sıçanlar 50 Hz'de 1 kV/m+0.05 G ve 5 kV/m+1G şiddetlerinde elektromagnetik alanlara 8 ay boyunca haftada 5 gün ve günde 8 saat süreyle maruz bırakıldılar. Beynin serebellum, hipotalamus, korteks ve stratum bölgelerinde norepinefrin, dopamin ve serotonin konsantrasyonlarında bir değişime rastlanmamıştır. Beynin stratum ve korteks bölgelerinde dopamin D2 reseptörlerinde her iki elektromagnetik alan uygulaması için de azalışlar saptanmış ancak istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır. Uygulanan alanlar kortekste μ -Opiad reseptörlerinin konsantrasyonunu artırmış, buna karşılık hipotalamus, stratum ve serebellumda söz konusu reseptörlerde bir değişime neden olmamışlardır. Pineal bezde 5 kV/m+1G şiddetinde elektromagnetik alan norepinefrin içeriğinde artışa neden olmuştur. Lenf düğümlerinde, karaciğer, kalp ve kemik dokularında patolojik açıdan bir değişim gözlenmemiştir. Kırmızı kan hücreleri, hemoglobin ve beyaz kan hücrelerinin sayısında, serumda ürik asit, kolesterol ve alkalen fosfataz konsantrasyonlarında kontrollere kıyasla bir fark bulunmamıştır¹⁸².

60 Hz'de 30 kV/m'lik elektrik alan domuzlarda 1. nesilde doğurganlık üzerinde değişime neden olmazken, 2. nesil fetüslerde görülen anormalliklerde artışa neden olmuştur¹³¹.

80-160 V/cm şiddetinde elektrik alana 14 gün boyunca maruz bırakılan sıçanlarda anormal kromozom sayısında kontrollere kıyasla dört kat artış görülmüştür¹³⁶.

10 mV'luk potansiyel fark uygulamak suretiyle 60 Hz'de 3 mV/cm'lik elektrik alan insan HL-60 hücrelerine invitro şartlarda 5, 10 ve 20 dakika boyunca uygulandı. 5 dakikalık uygulama sonunda hücre transkripsiyonunda artış saptanırken, 10 ve 20 dakikalık maruziyetlerde ise fark gözlenmemiştir¹⁸³.

Gorillerden alınan lenfositlere, invitro şartlarda 72 saat boyunca 6.5 kV'luk potansiyel fark uygulamak suretiyle $2.4 \mu A/cm^2$ 'lik akım yoğunluğu ve 16 mV/m şiddetinde elektrik alan uygulandı. Sonuçta kromozomlarda normal olmayan değişimlerde % 28 oranında

artış saptanmıştır. Bu çalışmanın devamında 0.1 mA/cm^2 ve 1 mA/cm^2 'lik akım yoğunluğu oluşturulmuş ve kromozomlarda meydana gelen anormal değişimlerde % 12 ve % 18.9 oranında artış saptanmıştır¹⁸⁴.

İnsan lenfositlerine 50 Hz'de 0.5 kV/m 'lik elektrik alan 72 saat boyunca uygulandığında kromozomlarda % 2.2, 2 kV/m 'lik elektrik alan uygulandığında % 2.4, 5 kV/m 'lik elektrik alan uygulandığında % 3.2 ve 10 kV/m 'lik elektrik alan uygulandığında % 2.8 oranında anormal değişimler gözlenmiştir¹⁸⁴.

5 Hz'de 1166 V/cm 'lik elektrik alan civcivlere uygulandığında 2 ve 4 saatlik maruziyet sonunda DNA sentezinde bir etki gözlenmezken, 6 saatlik uygulama sonunda DNA sentezinde artış saptanmıştır¹⁸⁵.

Frekansı 10-100 Hz ve elektrik alan şiddeti 10-100 mV/m olan sinüzoidal elektrik alan 12 saat boyunca invitro şartlarda insan deri fibroblastlarına uygulandı. 10 Hz'de yapılan incelemede DNA miktarında 34 mV/m 'lik elektrik alanda % 10, 37 mV/m 'de % 33 ve 41 mV/m 'de ise % 70 artış saptanmıştır. 10 Hz'de ^3H - timidin içeriğindeki en büyük değişim 46 mV/m 'de saptanmış ve % 410'luk artış tespit edilmiştir. 100 Hz'de ise 41 mV/m 'lik elektrik alan hem DNA miktarında hem de ^3H - timidin içeriğinde değişime neden olmamıştır¹⁸⁶.

6. 13 ve 20 gün boyunca 60 Hz'de $1 \text{ kV/m}+10 \text{ G}$, $100 \text{ kV/m}+1 \text{ G}$ ve $100 \text{ kV/m}+10 \text{ G}$ şiddetindeki üç farklı elektromagnetik alana 8 saat süreyle maruz bırakılan sıçanların beyincik dokusu incelenmiştir. $1 \text{ kV/m}+10 \text{ G}$ şiddetindeki elektromagnetik alan DNA ve RNA konsantrasyonunda artışa neden olurken, protein ve serebrosit konsantrasyonunda değişim olmamıştır. $100 \text{ kV/m}+1 \text{ G}$ 'luk alanda DNA konsantrasyonu artarken, RNA ve protein konsantrasyonunda azalış saptanmış ancak serebrosit konsantrasyonunda değişim olmamıştır. $100 \text{ kV/m}+10 \text{ G}$ 'luk alan ise incelenen tüm parametrelerde değişime neden olmamıştır. Yukarıda meydana gelen değişimlerde uygulama süresi açısından en büyük değişimin 6 günlük uygulamada olduğu saptanmıştır. Ayrıca bu araştırmada beyinciğin ağırlığı, serebral korteksin yapısı, dentrit, akson ve sinaps formasyonunda, purkinje hücrelerinde yer alan endoplazmik

retikulum, ribozom, mitokondri ve golgi veziküllerinin yapısında gerek uygulama süresi gerekse elektromagnetik alan şiddetine bağlı bir değişime rastlanmamıştır¹⁸⁶.

80 kV/m'lik elektrik alana 45 gün boyunca maruz bırakılan kedilerden alınan EEG kayıtlarında kontrollere kıyasla değişimler saptanmıştır¹⁸⁷.

60 Hz'de 30 kV/m ve 60 kV/m'lik elektrik alanlara 12 saat süreyle 6 hafta boyunca maruz bırakılan gorillerde gerginlik ve stereotiplerde artış gözlenmiştir. 6 kV/m+0.5 G ve 30 kV/m+1 G şiddetindeki elektromagnetik alanlara 6 hafta boyunca maruz bırakılan gorillerde ise gerginlik, stereotip ve yiyecek tüketiminde artış saptanmıştır¹⁸⁸⁻¹⁹⁰.

10 Hz'de 1 kV/m'lik dikey elektrik alana 12 saat boyunca maruz bırakılan *Musca domestica* sineklerinin sirkadyan lokomotor aktivite ritmiyle ilgili periyodik uzunlukta meydana gelen değişim araştırılmış ve 12 saat sonunda periyodik uzunlukta % 50 ila % 70'e varan artışlar tespit edilmiştir¹⁹¹.

60 Hz'de 30 kV/m şiddetindeki elektrik alana 12 saat süreyle 3 hafta boyunca maruz bırakılan maymunların kontrollere kıyasla tansiyonlarında % 40, çevreyle ilişki kurma ve hareketliliklerinde sırasıyla % 75 ve % 208 oranında artışlar saptanmıştır¹⁹².

60 Hz'de 1.3 kV/m'lik elektrik alan: farelerin karanlıkta aşırı aktif davranışlarda bulunmalarına, 4.2 kV/m'lik elektrik alan arılarının. 35 kV/m ve 50 kV/m'lik elektrik alan ise farelerin hiperaktif davranışlar göstermesine. 25-50 kV/m'lik elektrik alan fare ve sıçanlarda ürkme ve sıçrama reaksiyonlarında artışa neden olmuştur¹⁹³⁻¹⁹⁹.

60 Hz'de 0.0074 kV/m ve 0.1 kV/m şiddetindeki elektrik alanlar maymun ve sıçanların işlevsel davranışlarında değişime neden olmamıştır²⁰⁰⁻²⁰². 40 kV/m'lik elektrik alanın ise civcivlerin aktivitesinde düşüşe neden olduğu rapor edilmiştir²⁰³¹⁹⁰.

3 farklı fare nesli üzerinde yapılan çalışmada 35 gün boyunca 60 Hz'de dikey doğrultuda 150 V/cm ve yatay doğrultuda ise 100V/cm'lik elektrik alan uygulamasının vücut ağırlığı ve ölüm hızına etkileri araştırıldı. Sonuçta 3. nesilde dikey elektrik alan vücut ağırlığında azalışa, ölüm hızında ise artışa neden olurken, 2. nesilde yatay elektrik alan vücut

ağırlığında azalışa neden olmuştur. Bu çalışmanın devamında 6 saat süreyle 21-119 gün boyunca 60 Hz'de dikey ve yatay doğrultuda 3.5 kV/m'lik elektrik alana maruz bırakılan 3 farklı nesilden oluşan farelerin vücut ağırlığı ve ölüm yüzdesinde meydana gelen değişimler incelendi. Dikey doğrultuda 21 gün elektrik alana maruz bırakılan 1. nesil dişi farelerde vücut ağırlığında azalış, yatay doğrultuda 48 gün ve 70 gün elektrik alana maruz bırakılan 2. nesil erkek farelerde vücut ağırlığında artış, 3. nesil farelerde ise elektrik alanın hem dikey hem de yatay doğrultuda 21-119 gün uygulanması dişi ve erkek farelerde vücut ağırlığında artışa neden olmuştur. 1. nesilde hem dikey hem de yatay elektrik alanda ölüm yüzdesi 2. ve 3. nesile oranla daha fazla bulunmuştur^{204,205}.

60 Hz'de 30 kV/m'lik elektrik alana 5 saat süreyle 15 gün boyunca maruz bırakılan domuzların vücut ağırlığında değişim olmazken, 2. nesilde sakatlık oranında artış saptanmıştır. Sıçanlarda ise 65 kV/m'lik elektrik alan hem 1. hem de 2. nesilde sakatlık görülme oranında artışa neden olmuştur⁸⁷.

160 kV/m'lik elektrik alana 10.5 ay süreyle maruz bırakılan farelerin 1. nesil erkek yavrularının vücut ağırlıkları azalırken, dişi yavrularda değişim görülmemiştir²⁰⁶.

Yaşamları boyunca günde 20 saat süresince 50 Hz'de 10 kV/m'lik elektrik alana maruz kalan farelerde 1. nesilde 18. aydan önce gerçekleşen ölümlerde % 41, 2. nesilde ise % 31 artış saptanmıştır. 2. nesilde 24. aydan önce olan ölümlerde de % 42 oranında artış meydana gelmiştir²⁰⁷.

60 Hz'de 12 V/cm'lik elektrik alana 12 saat süreyle 1, 5 ve 30 gün boyunca maruz bırakılan farelerde 5. günden itibaren ölüm hızında artış tespit edilmiştir. Ayrıca alan uygulama süresi artıkça ölüm hızındaki artışın çok daha fazla olduğu saptanmıştır²⁰⁸.

765 kV'luk iletim hatlarının altına yerleştirilen kovanlardaki bal arılarında yapılan çalışmada 4.5 kV/m'lik elektrik alanın kış süresince ölüm oranını % 64 oranında artırdığı, 8.3 kV/m'lik elektrik alanın ise yaz boyunca üretilen bal miktarında değişime neden olmadığı, buna karşılık arıların ağırlığında azalışa ve kışın tüm arıların ölümüne (%100) neden

olduğu saptanmıştır²⁰⁹.

150 adet kırilangıç yumurtası Michigan'da U.S. donanmasının kullandığı ELF haberleşme sistemlerinin altına yerleştirilerek 4 gün boyunca muhafaza edildi. Bu bölgede 76 Hz'de 0.7 V/m'lik elektrik alan ve 0.03 G şiddetinde magnetik alan ölçüldü. Kontrol grubunun yumurtaları ise elektrik alan değeri 0.001 V/m ve magnetik alan şiddeti 0.002 mG olan bölgeye yerleştirildi. Embriyoların mikroskopik incelenmesi sonucunda dalak, beyin ve kalp gelişiminde anormallikler saptanmış ancak bu değişimler istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Yumurtanın hacminde, su içeriğinde ve ağırlığında değişim saptanmamıştır²¹⁰

50 Hz'de 10 kV/m'lik elektrik alana 60 gün ve 18 ay boyunca maruz bırakılan farelerde sperm miktarında artış saptanmıştır²¹¹.

60 Hz'de dikey doğrultuda farklı şiddetlerde elektrik alana maruz bırakılan domuzlarda yapılan inceleme sonucunda 40 kV/m'nin üzerindeki elektrik alanların tüylerde açıkça gözle görülür bir harekete neden olduğu, 55 kV/m'lik elektrik alanının ise korona akımlarının oluşmasına neden olduğu gözlenmiştir²¹².

50 Hz, 60 Hz ve 100 Hz' de 50 kV/m'lik elektrik alanların insan, sıçan, fare ve domuz tüylerinde harekete neden olduğu saptanmıştır¹⁷³.

50 Hz'de yatay doğrultuda uygulanan 18 kV/m'lik elektrik alan 75 gönüllü üzerinde uygulanmış ve bu kişilerin kol tüylerinde % 50 hareketlilik saptanmıştır. Dikey doğrultuda ise 25 kV/m'lik elektrik alan benzer etkinin oluşmasına neden olmuştur¹⁸⁷.

60 Hz'de 100 kV/m'lik elektrik alan sıçanlarda kemik gelişiminde değişime neden olmazken, 5 kV/m ve 10 kV/m'lik elektrik alan sıçan ve farelerde kemik kırıklarının onarımını hızlandırmıştır²¹³⁻²¹⁶.

60 Hz'de 15 kV/m'lik alan köpeklerde kalp hızının yavaşlamasına, 80 kV/m'lik alan tavuklarda kalp hızının artmasına ve 10 kV/m'lik alan ise köpeklerde kan basıncının artmasına neden olmuştur^{131,164}.

2.4. ELEKTRİK ALANLARIN HÜCRE VE DOKULARA ETKİ MEKANİZMASI

Dışarıdan uygulanan AC Elektrik alanlar ;

* Orjinal halinde rastgele dağılım gösteren yapıları inci tanelerinden oluşmuş bir zincir görünümü alacak şekilde E alan doğrultusu boyunca dize ederler. Elektrik alanın bu etkisi E. coli , eritrosit ve silikon partikülleri gibi küresel yapıya sahip oluşumlarda gözlenmiştir²¹⁷.

* Küresel olmayan yapılarda ise, partiküllerin uzun ekseni boyunca E alan doğrultusunda dizilmelerine neden olurlar²¹⁷,

* Atomun serbest elektronlarına kinetik enerji verirler²⁰,

* Atom ve moleküldeki elektrik dipollere etki ederler²⁰.

Elektrik alanın bu etkilerinden dolayı hücre ve dokularda önemli değişimler ortaya çıkmaktadır:

* Elektrik alanlar hücre membranına elektromekanik kuvvetler uygulayarak intersellüler bölgede polarizasyona ve hücre yüzeyinde akımların oluşmasına neden olurlar²¹⁸⁻²²¹.

* Elektrik alanların mitojenlerle etkileşime girmesi sonucunda hücre yüzeyindeki reseptörler aracılığıyla hücresel sinyallerin iletiminde değişimler meydana gelir²²²⁻²²⁶.

* Membrandaki yüklü partiküllerin yerinden çıkarılmasına veya hareket etmesine sebep olurlar²²⁷⁻²³¹.

* Hücredeki lipid/protein konformasyonunda değişim meydana getirerek yapısal değişimlere neden olurlar²²⁷.

* Lipid tabakanın geçirgenliğinde değişime neden olurlar²²⁷.

* Na-K / ATP ase aktivitesini etkilerler²²⁷.

- * Uygulandıkları ortamın iletkenliğinde değişime sebep olurlar²³².
- * Hücreler E alanına tepki olarak orientasyonlarını değiştirirler^{229,232}.
- * Hücrelerin deformasyonuna, hücre harabiyetine, hücrelerin eriyip birbirleriyle birleşmesine sebep olurlar²¹⁷.
- * Elektrik alanlar DNA üzerinde direkt hasar oluşturmayıp, bunun yerine protein sentezinde, gen transkripsiyonunda ve regülasyonunda değişime neden olurlar^{8,88-117,233-238}.
- * Hücre gelişimi ve tümör gelişiminde artışa neden olurlar^{218,222,225,233,238-242}.
- * Embriyo ve fetal gelişimde etkilidirler^{233,243,244}.
- * Yara iyileşmesinde ve kemik gelişiminde etkilidirler^{219,233,245}.
- * İmmün fonksiyonlarda değişime neden olurlar^{246,247}.
- * Santral sinir sistemi ve nöroendokrin fonksiyonlarda değişime neden olurlar^{233,234}.
- * Damar geçirgenliğinde, proteoglikanların, kollagenin ve granülasyon dokusunun sentezinde ve kapillerlerin oluşumunda etkilidirler^{245,248}.
- * Aminoasitlerden protein yapımını etkileyen mRNA üzerinde etkilidirler^{238,249}.

Hücre zarları hücre bütünlüğünün korunmasında önemli roller üstlenen bir yapıdır. Zarın iki tarafı arasında 60 mV'luk bir potansiyel fark mevcut olduğunda, zarın 10^7 V/m'lik büyük bir elektrik alan oluşur. Hücre zarları kalınlıklarının 6-10 nm gibi çok küçük değerlere sahip olmaları nedeniyle $1 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ gibi çok büyük sığaya sahiptirler. Ayrıca hücre zarının bu denli küçük kalınlığa sahip olması nedeniyle hücre zarı ve civarı düzlem bir kondansatör özelliği gösterir. Hücre sahip olduğu bu elektriksel özellikler nedeniyle, elektriksel değişimlere karşı çok duyarlı bir yapı sergilemektedir. Hücrede meydana gelen bu değişimler ise hücrenin kendi performansını etkilediği gibi aynı zamanda yapısını oluşturduğu dokuların da

çalışmasında ve işlevlerinde önemli değişimlere neden olurlar²⁵⁰⁻²⁵².

Dışarıdan uygulanan elektrik alanın dokularda meydana getirdiği değişimden sorumlu en önemli iki faktör dielektrik sabiti ve iletkenliğin değişimidir. Dokuların iletkenliklerinin ve dielektrik sabit değerlerinin bilinmesi;

* Kalpte oluşan akım ve potansiyellerin vücudun değişik bölgelerinde nasıl yayılacağına anlaşılması,

* Elektromagnetik radyasyonun ve yüksek frekanslı akımların oluşturacağı diatermi etkisinin tespit edilmesi,

* Hücre zarları ve stoplazma gibi hücre organellerinin yapısal olarak incelenmesi .

* Uyarılma mekanizmasının anlaşılması,

* Protein moleküllerinin analiz edilmesi.

* Elektromagnetik enerjinin teşhis ve tedavi amaçlı olarak uygulanabilmesi,

* Elektrik alanların oluşturabileceği zararların incelenmesi,

* Dışardan uygulanan elektrik alan ve akımların vücut dokuları içindeki dağılımının saptanabilmesi açısından çok önemlidir²⁹.

Dielektrik sabiti ve iletkenlik değerlerinin tesbitine yönelik ilk çalışmalar 1920'li yıllarda başlamış ve ilk olarak her dokunun iletkenlik değeri tespit edilmiştir (Tablo 4)²⁵¹.

Bir doku ne kadar çok iletkense elektrik alandan o kadar çok etkilenecektir. Tablo 4'teki iletkenlik verilerine baktığımızda kan ve diğer vücut sıvıları hariç iletkenliği en yüksek dokuların gastrointestinal dokular olduğunu görmekteyiz. Bu nedenle de ister doğrudan elektrik alan isterse magnetik alanın oluşturduğu elektrik alandan gastrointestinal sistem dokularının diğer dokulara nazaran daha çok etkileneceğini söyleyebiliriz.

İlerleyen yıllar içinde ise dokuların dielektrik sabiti ve iletkenlik değerlerinin frekansa bağımlı olarak değişimleri arasında ilişki kurulmuştur. Buna göre yumuşak dokuların

iletkenliği (σ) frekans arttıkça artmakta. dielektrik sabiti (K) ise azalmaktadır (Tablo 5)^{8,29}. Karaciğer dokusu için bu değişim Tablo 5'te verilmiştir.

TABLO 4 : Dokuların İletkenlik Deđerleri²⁵¹

Doku	İletkenlik (S/m)	Doku	İletkenlik (S/m)
İdrar	3.35	Kas	0.35
Beyin sıvısı	2.00	İdrar Kesesi	0.20
Safra Kesesi	1.40	Kıkırdak	0.18
Kan	0.70	Karaciğer	0.11
Troid	0.50	Dalak	0.10
Yemek borusu	0.50	Kolon	0.10
Mide	0.50	Böbrek	0.10
İnce bağırsak	0.50	Deri	0.10
Bağırsak Sıvısı	0.50	Omurga	0.10
Rectum	0.50	Kalp	0.10
Feces	0.50	Akciğer	0.08
Hücre sıvısı	0.50	Beyin	0.06
Göz	0.40	Kemik iliği	0.05
Göz sıvısı	0.40	Yağ	0.04
Testis	0.40	Membran	$10^{-5} - 10^{-7}$

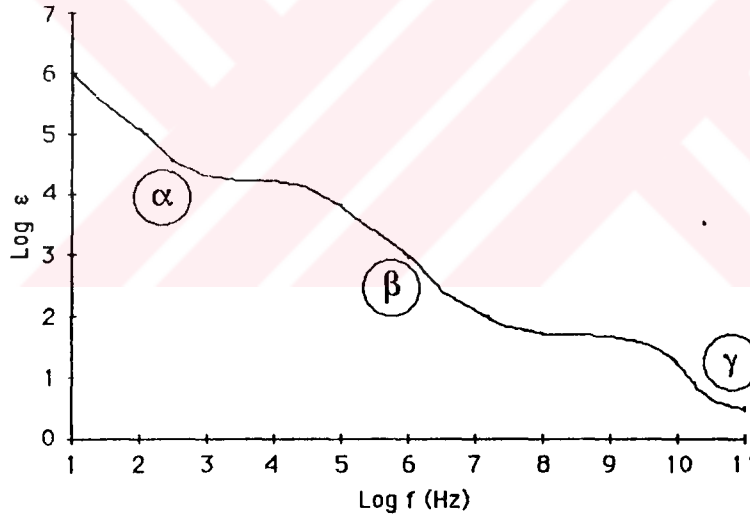
Dokuların dielektrik sabitinin (K) frekansla değişimi 3 temel dağılım (α, β, γ) göstermektedir (şekil 5)²⁹.

α Dağılımı : $\sim 10^2$ Hz civarında dielektrik sabitinde meydana gelen değişim sonucu oluşan bir dağılım bölgesidir. Bu bölgenin oluşmasındaki temel neden; mikron ebadındaki parçacıkların iyonik difüzyonundan kaynaklanmaktadır. 10^2 Hz civarında dokuların sahip oldukları dielektrik değerler çok büyükken, buna karşılık iletkenlikteki artış (0.005 S/m)

çok az olup, ihmal edilebilir seviyededir.

TABLO 5 : Karaciğer Dokusunun İletkenlik (σ) ve Dielektrik (K) Değerlerinin Frekansa Bağlı Değişimi²⁹

Frekans	σ (S/m)	K
10 Hz	0.12	5×10^7
100 Hz	0.13	8.5×10^5
1 kHz	0.13	1.3×10^5
10 kHz	0.15	5.5×10^4
100 kHz	0.15-0.16	1.4×10^4
1 MHz	0.27-0.30	1970
10 MHz	0.42-0.47	251-338
100 MHz	0.6-0.72	65-79
1 GHz	0.95-1.2	46-55
3 GHz	2.0-2.4	42-53
10 GHz	5.8-10.0	34-38



Şekil 5 : Yumuşak dokuların dielektrik sabitinin frekansla değişimi²⁹

β Dağılımı : $\sim 10^6$ Hz civarında oluşan bu bölgenin oluşma nedeni; hücre membranının kapasitif yüklenme ve boşalmasından kaynaklanmaktadır. Bu bölgede dokuların dielektrik değerlerinde düşüş gözlenirken, toplam iletkenlikte 0.4 S/m'lik artış meydana gelmektedir.

γ Dağılımı : ~ 10 GHz'de su ve proteinler gibi biyolojik moleküllerin elektrik

dipol momentlerinin dönmesine bağlı olarak oluşur. γ dağılımının içinde birde δ dağılımı yer almaktadır. Bu dağılımın temelini, proteinlere bağlı suyun dipolar reoryantasyonu oluşturmaktadır.

Tüm dokuların yapısında kan bulunduğu için, dokulara elektriksel özelliklerini kazandıran mekanizmaların anlaşılmasında kanın dielektrik özelliklerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Kanda α dağılımı gözlenmezken, kanın % 50'sini oluşturan plazmanın büyük bir kısmının (% 90) sudan oluşması nedeniyle kanda tespit edilen en yaygın dağılım γ ve δ 'dir. Kanın iletkenliği ise artan frekansla çok az değişime uğrar²⁹.

En kuvvetli α dağılımı kas dokusunda görülmektedir. Frekansın 10 Hz'den 100 Hz'e doğru değişim gösterdiği aralıkta kurbağa iskelet kasının kapasitansında ~ 30 kat düşüş, iletkenliğinde ise % 10 artış tespit edilmiştir. Kas liflerinde radyo frekansının altındaki frekanslarda hücre zarındaki yük birikmesinden dolayı β dağılımı görülür. Kas dokusundaki δ dağılımı 3 GHz'in altındaki frekanslarda, γ dağılımı ise 8-9 GHz frekansda görülmektedir. Kısacası kas dokusunda dört dağılım (α , β , γ , δ) türü de gözlenebilmekte, ancak açıkça birbirinden ayırt edilememektedir²⁵².

Kemik dokusu geniş ve özelliğiz bir dağılım göstermektedir. Dielektrik sabiti audio (işitilebilir) frekanslarda (10 Hz-10⁴ Hz) 1000 iken, yüksek radyo frekanslarında (10⁸ Hz) 10'a düşmektedir. İletkenlik ise DC frekansda (0Hz) 5 mS/m iken, frekans 10⁸ Hz'e çıktığında kemiğin iletkenliği 55 mS/m'lik değere ulaşır. Kemikte yüksek konsantrasyonda bulunan kalsiyum ve fosfat kristalleri düşük frekans değerlerinde empedans artışına neden olurlar. Kafa kemiğinin iletkenliği gözenekli kemiğe nazaran daha düşüktür^{8,29,252}.

Stoy, karaciğer dokusunu: karaciğeri oluşturan herbir yapıyı (hepatosit, toplam çekirdek, mitokondri, E.retikulum, protein) birbirine paralel bağlanmış kapasitör olarak modellemiştir (Tablo 6)²⁵². Karaciğerin dielektrik sabitinin frekansa göre değişimini inceleyen Stoy'un önerdiği modelde, hesaplanan değerlerin ölçüm sonucunda elde edilen değerlerle pekçok frekans için uyumlu olduğu ifade edilmiştir. Özellikle 10 MHz'e yaklaştıkça hesaplama ve

ölçüm sonucu elde edilen dielektrik sabitlerinin çakıştığı bildirilmiştir. Bunun durum; 10 MHz'lik frekansın mitokondrinin relaksasyon frekansı (13 MHz) civarında olması ve bu nedenle mitokondrinin dielektrik sabitinin karaciğerin toplam dielektrik özelliklerinde etkili olduğu görüşü ile izah edilmiştir²⁵².

Tümörlü dokularda normal dokulara göre oldukça fazla miktarda su bulunmaktadır. Ancak tümör dokusunda artan su miktarının neye işaret ettiği tam olarak bilinmemektedir. Normal deri dokusunun ağırlığının % 60.9'u, normal karaciğerin % 71.4'ü su iken, kanserli deri dokusunun su içeriği % 81.7, kanserli karaciğer dokusunun su içeriği ise % 81.9'dur. Yüksek su oranından dolayı tümörlü dokular mikrodalga frekanslarında normal dokulara göre daha büyük iletkenlik değerlerine sahiptirler. Bu nedenle dışarıdan uygulanan alanlardan normal dokulara kıyasla tümörlü dokular çok daha fazla etkilenebilmektedir. 20 kHz'de tümörlü göğüs dokusunun elektriksel geçirgenliğinin normal göğüs dokusundan yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tavşanlar üzerinde yapılan bir başka çalışmada ise karaciğer tümörünün iletkenliğinde 10 Hz-10⁴ Hz frekans aralığında normal karaciğer dokusuna kıyasla 7 ile 10 katı artış gözlenmiştir²⁵².

TABLO 6 : Sıçan Karaciğerinin Morfolojik Yapısı ve Dielektrik Sabitinin Frekansa Göre Değişimi²⁵²

Yapı	Ortalama Yarıçap (m)	K	f (MHz)
Hepatosit	8.9×10^{-6}	9400	0.72
Toplam Çekirdek	3.9×10^{-6}	470	1.6
Mitokondri	5.0×10^{-7}	277	13
E. Retikulum	2.5×10^{-8}	8	250
Protein	*	100	3

* globuler

2.5. BAĞ DOKUSU

2.5.1. Bağ Dokusunun Görevleri

Çalışmamızda bir bağ doku proteini olan kollagenin elektrik alandan etkilenişi araştırıldı.

Bağ dokusunun başlıca görevleri²⁵³⁻²⁵⁸;

* Hücrelerin aralarını doldurarak dokuların şekillenmelerini, dokuları birbirine bağlayarak ve destekleyerek organların şekillenmelerini, organları birbirlerine bağlamak suretiyle de sistemlerin organizasyonunu sağlar. Böylelikle bağ dokusu destekleyici ve şekillendirici görev üstlenir.

* Organizmada doku kayıpları söz konusu olduğunda bağ dokusu hücreleri çoğalarak yeni hücrelerarası madde yapar. Böylece doku kayıpları önlenir.

* Organizmayı hücrel ve humoral yollarla zararlı etkilere karşı korur.

* Bağ dokusunda çok miktarda kan damarı bulunmaktadır. Bu nedenle epitel ve kas dokularındaki hücrelerin beslenmelerine bağ dokusu aracılık eder.

* Kan hücrelerini yapan organların temelini de bağ dokusu oluşturmaktadır.

2.5.2. Kollagen'in Yapısı ve Elektrik Özellikleri

Kollagenin ana ögesini tropokollagen molekülleri oluşturmaktadır. Tropokollagen molekülleri fibroblastlar, kondroblastlar ve osteoblastlar, karaciğer epitel hücreleri, schwann hücreleri, retikulum hücreleri, örtü ve bez hücreleri tarafından da sentezlenirler^{255,257}. Tropokollagen moleküllerini oluşturacak olan maddeler granüllü endoplazma keseciklerinin dış yüzeylerinde sentezlemeye başlar. Endoplazma keseciklerine giren polipeptid zincirine burada karbonhidratlar da eklenir ve üç adet polipeptid zinciri birbiri etrafında sarmallaşarak prokollagen molekülünü meydana getirirler. Polipeptid zincirinin son halini alıp prokollagen moleküllerinin oluşması için gerekli olan aşamaları²⁵⁷⁻²⁶¹:

1. Aminoasitlerin endositoz yolu ile alınması

2. mRNA'nın oluşturulması
3. Ribozomlarda α - zincirinin sentezlenmesi
4. Prolin ve lizinin hidroksilasyonu
5. mRNA'nın endoplazmik retikulumda glikolizasyonu
6. Özel hidroksilizin rezidülerinin endoplazmik retikulumdan glikolizasyonu
7. Polipeptit zincirleri tarafından üçlü helix moleküllerinin oluşturulması
8. Polipeptid zincirindeki zincir içi ve zincirler arasındaki hidrojen bağlarının

oluşması şeklinde özetlenebilir.

Oluşan polipeptid molekülleri eriyik halde Golgi aygıtına transfer edilir ve golgi vezikülleri ile hücre yüzeyine taşınır ve temel maddeye (bağ dokularında bulunan hücrelerarası madde, hücrelere kıyasla hacimce çok olduğunda temel madde adını alır) verilir. Temel maddeye geçen prokollagen moleküllerinin iki uçları enzimlerle tranşlanarak boyları kısaltılır. Bu duruma gelen prokollagen moleküllerine **tropokollagen** denir^{255,257,258}.

Aminoasitler sahip oldukları net elektrik yükü açısından nötr, asidik ve bazik olmak üzere üç grupta toplanabilir. Nötr aminoasitler (prolin, alanin, glisin, valin) eşit sayıda amino ve karboksil gruplarına sahiptirler ve uygun pH koşullarında asit veya baz olarak iyonlaşabilirler. Asidik ayrışmanın bazik ayrışmasıyla dengede olduğu pH değerine amino asidin izoelektrik pH'sı denir. İzoelektrik pH'da hakim olan nötr yapı bir pozitif ve bir negatif yük taşıyan dipolar iyon yapısıdır. İzoelektrik noktada bir aminoasit dipol gibi davranır ve elektrikce nötr'dür. Bu özellik aminoasitlerden oluşan kollagende de gözlenmiş ve kollagenin elektrik alan altında yönlendirilebilmesi mümkün olmuştur. Asitte çözünen bir kollagen çözeltisine ~ 1 μ A akım uygulandığında kollagenin katoda yakın bir konkav bant oluşturduğu gözlenir. Bu sonuç kollagenin elektrik alan altında bir katyon gibi hareket ettiğini göstermektedir^{259,260,262}.

Kollageni meydana getiren ana aminoasitler glisin (% 33.5), prolin (% 12) ve hidroksiprolin (% 10) dir. Hidroksiprolin ve hidroksilizin kollagene özgü iki aminoasittir. Hidroksiprolin ve hidroksilizin normal protein sentezinde sentezlenemezler. Prolin ve lizin sentezlenir, daha sonra hidroksilasyon olur. Prolin ve lizin sırasıyla prolin hidroksilaz ve lizin

hidroksilaz enzimleriyle hidroksiprolin ve hidroksilizine dönüşür. Kollagen hidroksiprolin aminoasidini yüksek oranda içeren tek protein olmakla özgünleşir. Bu nedenle kollagen miktarı, araştırılan dokudaki hidroksiprolin değerinin belli sabitlerle çarpılması sonucu elde edilir ve dokulardaki hidroksiprolin miktarını ölçerek kollagen oranını saptamak da bu nedenle mümkündür^{255,261,263,264}.

Bazı dokular diğerinden daha fazla kollagen içerirler. Derinin kollagen içeriği; kuru ağırlığının ~ % 70'ine karşılık gelirken, karaciğerde bu oran ~ % 4 kadardır. Kollagen memelilerde en fazla bulunan hayvansal proteindir ve tüm proteinlerin % 30'unu oluşturur^{255,257,258}.

Yumuşak dokuların yapısı ve mekanik gücü kollagenin varlığına bağlıdır. Kollagen molekülleri buldukları dokunun türüne göre farklı hücreler tarafından sentezlenirler. Örneğin bağ dokusunda fibroblastlar, kıkırdak dokusunda kondroblastlar ve kemik dokusunda da osteoblastlar tarafından sentezlenirler. Kollagen lifleri bu dokuların yapısal bütünlüğü ve molekülleri arasındaki çapraz bağlarda kollagenin gerilmelere karşı dayanıklı olmasını sağlar^{254,255,257,258,262,264,265}.

2.5.2.1. Kollagen Tipleri

Biyokimyasal ve immünohistokimyasal analizler değişik dokularda ve gelişimin değişik basamaklarında birçok farklı kollagen tipinin olduğunu göstermiştir. Polipeptid zincirlerinin değişik düzenlenmeleri kollagen tiplerinin farklı yapısal özellikte olmalarına yol açar. Her tropokollagen molekülü α -heliks kimyasal yapısında olup, α_1 ve α_2 zincirleri adı verilen polipeptid zincirlerin düzenlenmesi sonucunda oluşmuştur. α -zincirindeki yapısal değişikliklere göre insan dokularında 23 değişik tip kollagen tanımlanmıştır. Ancak bunların yalnız 13 tanesinin yapısı ve fonksiyonu açıklanabilmiştir^{255,257,258,259,262,265}.

* **Tip I** : Organizmada en bol olarak bulunan kollagen türüdür. Tendon , ligamentler, dermis, fibröz kıkırdak, kemik, dişin dentin tabakası, fascia ve organ kapsüllerinde bulunur. Bu dokulardaki toplam kollagenin % 80 ile % 90'nını oluşturur. Yapısında birbirinin

aynısı olan iki tane α_1 zinciri ve bir adet α_2 zinciri mevcuttur. Son derece esnek yapıda olup, fazla sayıda çapraz bağ içerir. Kuvvete, basınca ve gerilmeye karşı direnç gösteren bir yapıdadır. Işık mikroskobunda incelendiğinde değişik çaplarda kırmızı lifçikler halinde görülür. Tip I kollagen bağ dokusunda fibroblastlar, kemikte osteoblastlar, dişte odonoblastlar ve fibröz kıkırdakta kondroblastlar tarafından sentezlenir. Tip I kollagen karaciğerin portal ve sentral kanallarında yer alır, normal parankim dokusu içinde ise çok az miktarda bulunmaktadır²⁶⁶⁻²⁶⁸.

* Tip II : Hyalin ve elastik kıkırdakta, kornea, nukleus pulpozus ve vitreus sıvısında yer alır. Tip II kollagenin yapısında birbirinin aynısı olan üç tane α_1 zinciri bulunur. Açıkça görülebilen çapraz bağları yoktur. Tip I'de çok yoğun kalın lifçikler varken, Tip II'de daha az olan ince lifçikler demet yapmadan alt yapı içinde dağılmış olarak görünürler. 100 nm çapındaki geniş ve 20 nm çapındaki dar lifçiklerin düzenlenmesiyle oluşur. Geniş lifçikler özellikle mekanik dayanıklılığa ihtiyaç duyan eklem kıkırdaklarında yer alırlar. Tip II kollagen kondroblastlar tarafından sentezlenir^{258,268}.

* Tip III : Düz kas, endoneurium, arterler, uterus, karaciğer, dalak, böbrek, akciğer, kırmızı kemik iliği, lenf düğümleri, lenf follikülleri ve bazal membranlarda bulunur. Genellikle dokularda Tip I kollagen ile birlikte yer alır. Düz kas hücreleri, fibroblastlar, retiküler hücreler, Schwann hücreleri ve hepatositlerden sentezlenirler. Tip III kollagen, karaciğerde retiküler bağ dokusundaki bükülebilir esnek liflerin temel yapısını oluşturur^{258,267,269}.

* Tip IV : Epitelial ve endotelial bazal lamina ve bazal membranlarda bulunur. Endotelial ve epitelial hücrelerde, kas hücrelerinde ve Schwann hücrelerinde sentezlenir²⁷⁰.

* Tip V : Fötal membranlarda daha çok plasentanın bazal laminasında ve fetüsdeki kan damarlarında bulunur. Bantlı yapıda olup lif oluşturur²⁶⁵.

* Tip VI : Fibröz bir ağ oluşturur ve doku komponentlerini bölmeler halinde birbirinden ayırdığı varsayılmaktadır. Kısa zincirli bir kollagendir ve bağ dokularında bulunan doku mikroiplikciklerini oluşturur. Diğer kollagen liflerle birlikte aort, kornea, cilt, plaseenta.

ligamentler ve kıkırdakta bulunur. Ekstrasellüler matriksi sardığı varsayılmaktadır. Tetramer adı verilen dörtlü yapılar oluştururlar. Genellikle elastik liflerle beraber bulunurlar²⁵⁸.

* **Tip VII** : Epitel hücrelerini bazal membrana sabitleştiren fibröz yapı içinde yer alırlar. Deride bol miktarda bulunur ve insan kerositleri tarafından sentezlenirler²⁷¹.

* **Tip VIII** : İlk kez sığır endotel hücrelerinde ve tavşan kornea hücrelerinde gözlemlenmiştir. Kısa zincir oluşturan bir kollajendir. Diğer kollajenlere göre en büyük üçlü helix yapısını içermektedir. Sklera, perikondriya, periost ve kıkırdakta bulunan matriksin yapısal bir parçası olduğu tespit edilmiştir^{264,265}.

* **Tip IX** : Tüm kıkırdak dokularda yer alan bağ dokusunun ana yapısını oluşturur. Özellikle hyalin kıkırdakta bulunur^{272,273}.

* **Tip X** : Fötal yaşamda ve endokondrial kemikleşme sırasında sentezlenir. Erişkinlerde kalsifiye kıkırdak bölgesinde yer alır ve hyalin kıkırdağı kemikten ayırır. Tip II ve Tip XI kollajenle birarada bulunur^{258,265}.

* **Tip XI** : Hyalin kıkırdakta bulunur. Tip II kollajenin lifciklerinin fonksiyonunu ve çaplarını regüle eder²⁶⁵.

* **Tip XII** : Ligament, tendon, perikondriyum ve periostiyumda bulunur. Tendon fibroblastları tarafından sentezlendiği düşünülmektedir²⁷⁴.

* **Tip XIII** : Epidermiste, kıl foliküllerinde, deride, kemik iliğinde, kıkırdağın büyüme plağında ve düz kasta bulunmaktadır. Kısa ve üçlü helix yapısına sahiptir^{265,275,276}.

Kollagen yapımı (kollagenaz) sırasında temel maddeye verilen tropokollagen molekülleri Tip IV ve Tip V kollajenlerde özel bir tertiplenme göstermeksizin ipliksel makromoleküller halinde kalırken, Tip I, Tip II ve Tip III kollajenlerde ise özel bir biçimde peşpeşe ve yanyana gelerek mikroiplikcikleri (mikrofibriller) oluştururlar. Mikrofibrillere sadece kollajen yapımı sırasında rastlanır. Oluşan mikroiplikciklerin bir kısmı paralel olarak biraraya toplanarak kollajen iplikcikleri (fibrilleri) meydana getirirler. Tip I ve Tip III

kollagende, kollagen iplikcikler biraraya gelerek kollagen iplikleri oluştururken, Tip II kollagen iplikcik düzeyinde kalır²⁵⁵⁻²⁵⁷.

Kollagen liflerin tipleri bant, lif ve lifcik oluşturma özelliklerine göre 4 sınıfta toplanabilir^{257,258,265}:

1. Bant ve lif oluşturan kollagenler: Tip I, III, V ve XI
2. Bant ve lifcik oluşturan kollagenler: Tip IX ve XIII
3. Bant ve lifcik oluşturmeyan fibröz yapı oluşturan kollagenler: Tip IV ve VII
4. Diğerlerinden farklı olan kollagenler: Tip VIII

2.6. KARACİĞER DOKUSU VE FONKSİYONLARI

Karaciğer, sindirim kanalından emilen besinlerin işlendiği ve vücudun diğer kısımları tarafından kullanılması için depolandığı organdır. Karaciğer, deri hariç vücudun en büyük organı ve en büyük bezidir. Diyaframın altında abdominal boşlukta bulunmaktadır ve ince bir bağ dokusu kapsülüyle örtülüdür^{276,277}.

Karaciğerin asıl yapısını karaciğer hücreleri yada hepatositler oluşturur. Karaciğer hücresi vücudun çok yönlü bir hücresidir. Bu hücreler bazı maddelerin sentezini yapar ve biriktirirken bazılarını da detoksifiye eder ve taşır. Bu açıdan bakıldığında karaciğerin 3 önemli fonksiyonu bulunmaktadır²⁷⁸:

- * Karbonhidrat Metabolizması
- * Yağ Metabolizması
- * Protein Metabolizması

Karbonhidrat ve yağ metabolizmasındaki işlemlerin büyük bir bölümü karaciğerde geçtiği halde, vücut, karaciğer bu fonksiyonların bir çoğunu yapmasa bile canlı kalabilir. Buna karşılık karaciğer protein metabolizmasındaki görevlerini gerçekleştiremezse birkaç gün içinde ölüm gerçekleşir²⁷⁶. Karaciğerin protein metabolizmasındaki başlıca

görevleri²⁷⁸ :

- * Aminoasitlerin deaminasyonu
- * Üre oluşumu ile amonyağın vücut sıvılarından uzaklaştırılması
- * Plazma proteinlerinin oluşumu
- * Vücuttaki metabolik olaylar için önemli aminoasitlerin ve öteki maddelerin birbirine dönüşümü şeklinde özetlenebilir.

Amino asitlerin enerji için kullanılmadan ya da karbonhidrat veya yağlara çevrilmeden önce deaminasyonu gerekir.

Karaciğer, üre oluşumuyla vücut sıvılarından amonyağı uzaklaştırır. Deaminasyon işlemlerinin ürünü olan büyük miktardaki amonyağa, barsaklarda bakterilerle sürekli olarak yapıp kana absorbe edilen amonyak da katılır. Bu nedenle karaciğerin üre yapımı fonksiyonunun yokluğunda, plazma amonyak konsantrasyonu hızla yükselir ve hepatik koma ile ölüm görülür²⁷⁶.

Karaciğer kendisi için gerekli proteinlerin sentezine ek olarak, gama globulinlerin bir bölümü hariç, hemen bütün plazma proteinlerini (albumin, protrombin, fibrinojen ve lipoproteinler) de sentezler. Bu miktar bütün plazma proteinlerinin % 90'ına ulaşır²⁷⁸.

Karaciğerin en önemli fonksiyonlarından biri de bazı aminoasitlerin sentezini yapması ve bu aminoasitlerden önemli kimyasal bileşikleri oluşturmasıdır^{276,279}.

Karaciğerin öteki metabolik fonksiyonları ise vitaminlerin depo edilmesi, kan pıhtılaşması, demir depolanması, ilaçların, hormonların ve bazı diğer maddelerin vücuttan atılmasıdır²⁷⁹.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Dikey doğrultuda ve farklı sürelerde uygulanan ELF AC (Alternatif Akım) elektrik alanın karaciğer kollagen sentezine etkisi araştırıldı. 1.35 kV/m şiddetinde 50 Hz AC sinüzoidal elektrik alan ve bu alanın oluşturduğu 0.59 pT'lık magnetik alan günde 8 saat olmak üzere 1gün, 3 gün, 5 gün ve 7 gün boyunca kobaylara uygulanarak; elektrik alanların kollagen sentezine etkisi karaciğer dokusunda hidroksprolin seviyesini belirleyerek saptandı. Bu işlem için Stegemann- Stalder'ın " Hidroksprolin Tayin Yöntemi" kullanıldı²⁸⁰⁻²⁸⁴.

3.1. MATERYAL

3.1.1 Deney Hayvanı

Araştırmada Hıfzıssıha Enstitüsü deney hayvanları yetiştirme ünitesinden sağlanan 200-250 gr ağırlığında, 1.5 - 2 aylık 55 adet erkek beyaz kobay (guinea pig) kullanıldı.

3.1.2. Araştırmada Kullanılan Aletler

3.1.2.1. Elektrik Alan Uygulamada Kullanılan Aletler

AC (Alternatif Akım) Güç Kaynağı (TETA T-994) : 2 adet

(Giriş:220 Volt, Çıkış: 0-250 Volt, 50 Hz, Max. 1A)

Multimetre (APPA-98) : 2 adet

Multimetre (Tes-2360) : 3 adet

Bakır levha (51 cm x 50 cm x0.1mm) : 4 adet

Dielektrik kafes (50 cmx50cmx14cm): 2 adet

Bağlantı problemleri : 8 adet

Tahta blok (60 cm x 57 cm x 4 cm) : 2 adet

3.1.2.2. Hidroksiprolin Tayininde Kullanılan Aletler

Spektrofotometre (Milton Roy Spectronic 3000 Array)

Terazi (Shimadzu AEG - 220)

Çalkalamalı su banyosu (Stuart SBS 25)

Etüv (Nüve FN-400)

pH metre (Jenway 3010)

Vortex (Stuart 5A3)

Mikropipet (Socorex , 10-100 μ l) ve diğer rutin laboratuvar malzemeleri.

3.1.3. Araştırmada Kullanılan Kimyasal Maddeler

- * cis-4-Hydroxy-L-Proline (Sigma; H - 1637)
- * Zinn (II)- chlorid-Dihidrat (Merck; 7815 932 B120715)
- * 1-Propanol (Merck; 997 137997)
- * 2-Propanol (Merck; 995 1378 K 16620795)
- * Citric Acid Monohydrate (Sigma; C-7129)
- * Chloramine - T (Sigma; S-8625)
- * Sodium Acetate Trihydrate (Sigma; S-8625)
- * p-dimethylaminobenzaldehyde (Sigma;D-2004)
- * Hydrochloric Acid (Merck; 314 036 K14732514)
- * Acetic Acid Glacial (Merck; 56 849 K11139456)
- * Sodium Hydroxide (Merck; 519 929 C731419)
- * Perchloric Acid (Merck; 519 929 C731419)
- * Diethyl Ether (0.715-720,Birpa Ltd. Şti.)

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Çalışma Grupları

Çalışma süresince; deney hayvanları AC elektrik alana maruz bırakılma süresi açısından dört ayrı grupta incelendi (Tablo 7). Her grupta 10 adet kobay günde 8 saat olmak üzere farklı sürelerde elektrik alanlara maruz bırakıldı. Elektrik alana maruz bırakılmayan 15 kobay ise kontrol grubunu oluşturdu.

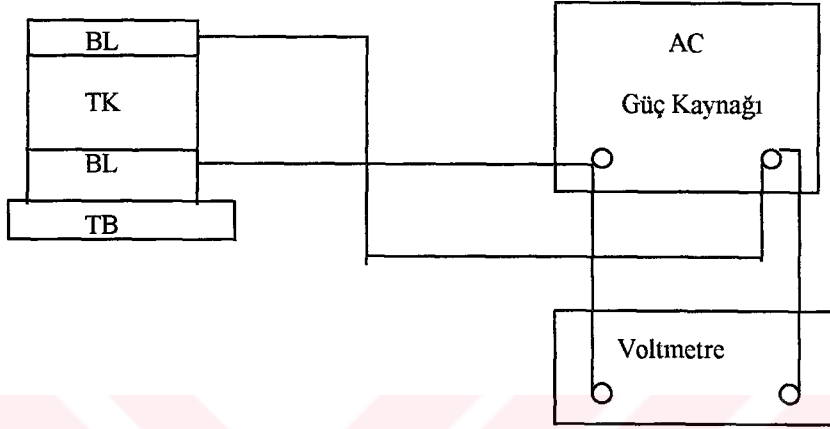
TABLO 7 : Çalışma Grupları

Gruplar	Potansiyel Fark (Volt)	Elektrik Alan Şiddeti (kV/m)	Magnetik Alan Şiddeti (pT)	Uygulama Süresi (gün)	Elektrik Alan Doğrultusu	Denek Sayısı
Grup I	212	1.35	0.59	1	Dikey	10
Grup II	212	1.35	0.59	3	Dikey	10
Grup III	212	1.35	0.59	5	Dikey	10
Grup IV	212	1.35	0.59	7	Dikey	10
Kontrol	-	-	-	-	-	15

3.2.2. ELF Elektrik Alan Sistemi

Kobaylar dielektrik bir malzeme olan tahta kafeslerde (50 cm x 50 cm x 14 cm) elektrik alana maruz bırakıldılar. Elektrik alan oluşturmak için kafeslerin üst ve alt yüzeylerine boyutları 51 cm x 50 cm x 0.1 mm olan bakır levhalar monte edildi. Güç kaynağının bir ucu üstteki levhaya diğer ucu ise alttaki levhaya bağlanmak suretiyle levhalara 212 Volt şiddetinde 50 Hz'lik sinüzoidal potansiyel fark uygulandı (Şekil 6). Böylelikle kafes içinde 1.35 kV/m şiddetinde AC elektrik alan ve 0.59 pT'lık magnetik alanın oluşması sağlandı. Düzgün elektrik alan elde edebilmek için kapasitör plakaları arasındaki mesafe plakaların boyutlarına oranla kobayların hareketini kısıtlamıyacak ölçüde küçük seçildi. Güç kaynağından elde edilen gerilimin şiddeti devreye sürekli bağlı bir voltmetre ile kontrol edildi. Sistemin izolasyonunu

sağlamak amacıyla kafeslerin altına tahta bloklar (60 cm x 57 cm x 4 cm) yerleştirildi.



Şekil 6 : Kafes ve elektrik alan sistem şeması

BL : Bakır levha (51 cm x 50 cm x 0.1 mm)

TK : Tahta kafes (50 cm x 50 cm x 14 cm)

TB : Tahta blok (60 cm x 57 cm x 4 cm)

3.2.3. Çalışma Şartlarının Standardizasyonu

* Elektrik alan uygulanmasına daima sabah saat 9:00'da başlandı, 17:00'de bu işleme son verildi.

* Tüm kobaylar çalışma süresi boyunca elektrik alan uygulamak için dizayn edilmiş olan kafeslerden dışarı çıkarılmadı.

* Kobaylar eşit miktarlarda sabahları 8:30'da kuru yem ve akşamları 17:30'da sebze (marul) verilerek beslendi.

* Ortamda nem ve sıcaklık farkı oluşmaması için elektrik alana maruziyet aynı mevsim dönemi içinde tamamlandı.

* Kontrol grubunu oluşturan kobaylar elektrik alana maruz bırakılan kobaylarla aynı şartlarda beslendi ve muhafaza edildi.

3.2.3.1 Sıcaklık Testi

Elektrik alan sistemlerinin kafes ortamında sıcaklık artışına neden olup olmadığı araştırıldı.

TABLO 8: Sıcaklık Ölçümleri

Saat	I. Bölge	II. Bölge	III. Bölge
9:00	20.7	20.7	20.7
9:30	20.7	20.7	20.7
10:00	20.7	20.7	20.7
10:30	20.7	20.7	20.7
11:00	20.7	20.7	20.8
11:30	20.8	20.8	20.8
12:00	20.8	20.8	20.8
12:30	20.8	20.8	20.8
13:00	20.8	20.8	20.9
13:30	20.8	20.8	20.9
14:00	20.9	20.9	20.9
14:30	20.9	20.9	20.9
15:00	20.9	20.9	20.9
15:30	20.9	20.9	20.8
16:00	20.9	20.9	20.8
16:30	20.8	20.8	20.8
17:00	20.8	20.8	20.8
	$\bar{x} \pm S_d = 20.8 \pm 0.07$	$\bar{x} \pm S_d = 20.8 \pm 0.07$	$\bar{x} \pm S_d = 20.8 \pm 0.07$

Bu amaçla kafeste ve odada sıcaklık ölçümleri yapıldı. Ölçüm için multimetre, standardizasyon için ise termocouple termometre kullanıldı. Ölçüm işlemi üç farklı bölgede yapıldı:

I. Bölge: Termometre kafes taban alanının orta noktasına

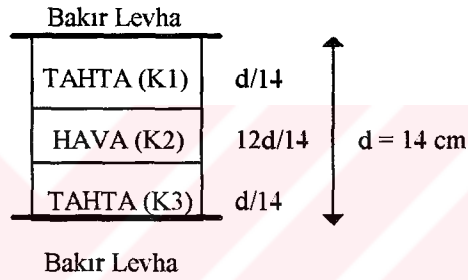
II. Bölge: Termometre kafes taban köşesine

III. Bölge: Termometre kafesten 4 m uzağa yerleştirilerek sıcaklık ölçümleri yapıldı (Tablo 8).

Her üç bölgeden gün boyu (9:0-17:00) alınan ölçümlerden elde edilen bulgular (Tablo 8) elektrik alan sisteminin kafes ortamında bir sıcaklık artışına neden olmadığını gösterdi.

3.2.4. Elektrik Alan ve Magnetik Alanın Bulunması

Kapasitör plakaları arasında tahta-hava-tahtadan oluşan 3 dielektrik malzemenin (Şekil 7) bulunması nedeniyle plakalara uygulanan potansiyel farkta ve dolayısıyla oluşan elektrik alan şiddetinde bu üç dielektrik yapının toplam dielektrik sabiti kadar bir azalma meydana gelecektir^{11,14}. Bu nedenle sistemde oluşan elektrik alanın değerini bulmak için öncelikle sistemin toplam dielektrik sabitini elde etmemiz gerekti:



Şekil 7: ELF Elektrik alan oluşturmada etkili dielektrik elemanlar

Plakalar arasında Tahta - Hava - Tahta'dan oluşan dielektrik yapı seri bağlı üç kapasitör olarak düşünüldü ve sistemin toplam sığası^{11,13}:

$$C_1 = \text{Tahtanın sığası}$$

$$C_2 = \text{Havanın sığası}$$

$$C_3 = \text{Tahtanın sığası}$$

$$C = \text{Toplam (eşdeğer) sığa olmak üzere}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$C = \frac{C_2 C_3 + C_3 C_1 + C_1 C_2}{C_1 C_2 C_3}$$

$$C_1 = \frac{K_1 \epsilon_0 A}{d} \quad , \quad C_2 = \frac{K_2 \epsilon_0 A}{12d} \quad , \quad C_3 = \frac{K_3 \epsilon_0 A}{d}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \left(\frac{14K_1K_2K_3}{K_2K_3 + 12K_1K_3 + K_1K_2} \right) \text{ ile ifade edildi.}$$

Burada,

$$K = \frac{14K_1K_2K_3}{K_2K_3 + 12K_1K_3 + K_1K_2}$$

tahta - hava - tahta dan oluşan dielektrik sistemin toplam dielektrik sabitini ifade etmektedir.

$K_1 = 5$; Tahtanın dielektrik sabiti

$K_2 = 1$; Havanın dielektrik sabiti

$K_3 = 5$; Tahtanın dielektrik sabiti

alındığında

$$K = \frac{14 \times 5 \times 1 \times 5}{1 \times 5 + 12 \times 5 \times 5 + 5 \times 1} = 1.12$$

bulunur.

Ampermetre ve voltmetre gibi alternatif akım ölçü aletleri i_e ve V_e gibi etkin şiddetleri okuyacak şekilde ayarlanmışlardır. Bu nedenle plakalara uygulanan maksimum potansiyel fark (V_m)

$$V_m = V_e \cdot \sqrt{2} \text{ kadardır}^{9-15}.$$

Buna göre voltmetreden gördüğümüz potansiyel fark değeri $V_e = 150V$ olduğuna göre plakalara uyguladığımız potansiyel farkın maksimum değeri;

$$V_m = 150 \cdot \sqrt{2} = 212 \text{ Volt'tur.}$$

Kapasitör plakaları arasında dielektrik sabiti değeri $K=1.12$ olan malzeme bulunduğu göre plakalara uygulanan gerçek potansiyel fark (V_G) :

$$V_G = \frac{V_m}{K} = 189 \text{ Volt bulunur.}$$

Sistemde oluşan elektrik alan şiddeti ise,

$$E = \frac{V_G}{d} = \frac{189}{14 \times 10^{-2}} = 1.35 \text{ kV/m`dir.}$$

Sistemin yük tutma kapasitesi .

$$C = \frac{K\epsilon_0 A}{d} = \frac{1.12 \times 8.85 \times 10^{-12} \times (0.5 \times 0.5)}{14 \times 10^{-2}} = 0.177 \times 10^{-10} \text{ F}$$

$$C = 17.7 \text{ pF}$$

Sistemin tuttuğu yük miktarı ise;

$$q = CV_G = 0.177 \times 10^{-10} \times 189$$

$$q = 33.45 \times 10^{-10} \text{ Coulomb`dur.}$$

Alternatif akım devrelerinde elektrik alan;

$$E = \frac{V_G}{d} \sin(2\pi ft) \text{ ile.}$$

Elektrik alanın zamana göre değişimi ise

$$\frac{dE}{dt} = \frac{V_G}{d} 2\pi f \cos(2\pi ft)$$

şeklinde ifade edilmektedir¹¹.

Bu eşitlikten hareketle sistemimizdeki elektrik alanın zamana göre değişimi

$$\frac{dE}{dt} = \frac{189}{14 \times 10^{-2}} \times 2 \times 3.14 \times 50 = 4.239 \times 10^5 \text{ V/m.s`dir}$$

Elektrik alanın bulunduğu ortamda, elektrik alanın oluşturduğu magnetik alan mevcuttur. Bu magnetik alanın şiddeti,

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 \epsilon_0 \frac{dE}{dt} \text{ eşitliği ile ifade edilir}^{13-17}.$$

Yukardaki eşitliğe göre elektrik alan sistemimizde oluşan magnetik alan;

$$B \cdot dl = \mu_0 \epsilon_0 A \frac{dE}{dt}$$

$$B \cdot Aa = \mu_0 \epsilon_0 (a \cdot b) \frac{dE}{dt}$$

$$B = \frac{1.26 \times 10^{-6} \times 8.85 \times 10^{-12} \times (0.5 \times 0.5) \times 4239 \times 10^2}{4 \times 0.5}$$

$$B = 5908 \times 10^{-16} T = 0.59 pT$$

B = 0.59 pT olarak bulunur.

3.2.4.1. Araştırmada Dışarıdan Uyguladığımız Elektrik Alanın Kobay

Vücut Yüzeyinde ve İçinde Oluşturduğu Akım ve Elektrik

Alan Değerlerinin Bulunması:

Araştırmamızda 50 Hz'de 1.35 kV/m'lik elektrik alana maruz bırakılan 200 gram ağırlığındaki kobayın vücut yüzeyinde oluşan akım değeri, $I_{kobay} = \alpha f W^{2/3} E_{dış}$ formülünden ve Tablo 2'den yararlanarak hesaplandı³¹⁻³⁵ :

I = Akım

α = Sabit (Kobay için: 4.2×10^{-8})

f = Frekans (50 Hz)

$E_{dış}$ = Dışardan uygulanan elektrik alan

W = Modelin ağırlığı (200 gr)

$$I_{kobay} = 4.2 \times 10^{-8} \times 50 \times 200^{2/3} \times 1350$$

$$I_{kobay} = 0.096 \mu A$$

Kobayın vücut yüzeyinde oluşan elektrik alan değeri ise $E_y = \frac{I}{2\pi f \epsilon A}$

ifadesinden Kaune'nun yaklaşımına ile bulundu^{26,36,37} :

Kobay için :

E_y = Model yüzeyinde oluşan elektrik alan

I = Akım

f = Frekans (50 Hz)

ϵ = Havanın dielektrik sabiti (10^{-11} F/m)

A = Modelin yüzey alanı ($W/40= 200 \times 10^{-3}/40= 5 \times 10^{-3}$) alındığında;

$$E_y = \frac{0.096 \times 10^{-6}}{2 \times 3.14 \times 50 \times 10^{-11} \times 5 \times 10^{-3}}$$

$E_y = 6$ kV/m bulunur.

Dışarıdan uygulanan elektrik alanın dik bileşeninin vücut içinde oluşturduğu iç elektrik alanın dik bileşeninin değeride,

$$\frac{E_{i\zeta} \perp}{E_{dış} \perp} = \frac{2\pi f \epsilon_{hava}}{\sigma_{doku}} \text{ eşitliğinde }^{22,36}.$$

$E_{i\zeta} \perp$ = Model içinde oluşan iç elektrik alanın dik bileşeni

$E_{dış} \perp$ = Dışarıdan uygulanan elektrik alanın dik bileşeni

f = Frekans (50Hz)

ϵ_{hava} = Havanın dielektrik sabiti (10^{-11} F/m)

σ_{doku} = Dokunun iletkenliği (10^{-1} S/m) alınarak

$$\frac{E_{i\zeta} \perp}{E_{dış} \perp} = \frac{2 \times 3.14 \times 50 \times 10^{-11}}{10^{-1}}$$

$$\frac{E_{i\zeta} \perp}{1.35 \times 10^3} = 3 \times 10^{-8}$$

$E_{i\zeta} \perp = 0.04$ mV/m bulunur.

Araştırmamızda 50 Hz'de 1.35 kV/m'lik dış elektrik alan kobay vücut yüzeyinde $E_y = 6$ kV/m'lik elektrik alanın oluşmasına neden olmakta. bu alanda

$$\frac{E_{i\zeta}^*}{E_y} = \frac{2\pi f \epsilon}{\sigma} \text{ ile ifade edilen}$$

$E_{i\zeta}^* = 0.188$ mV/m'lik ikincil bir iç elektrik alanın oluşmasına neden

olmaktadır^{22,36}.

Kobayda oluşan akım yoğunluğu değeri ise $J=I/A=\sigma E_{i\zeta}^*$ ifadesinden

yararlanılarak hesaplandı³⁸:

$$J = \frac{0.096 \times 10^{-6}}{5 \times 10^{-3}} \cong 0.1 \times 0.188 \times 10^{-3}$$

$$J = 1.9 \times 10^{-3} \mu A/cm^2$$

3.2.4.2. Araştırmada Dışarıdan Uyguladığımız Elektrik Alanın İnsan

Vücut Yüzeyinde ve İçinde Oluşturduğu Akım ve Elektrik

Alan Değerlerinin Bulunması:

Şayet araştırmamızda 50 Hz'de 1.35 kV/m'lik elektrik alanı 70 kg ağırlığındaki insana uygulaysaydık modelinin vücut yüzeyinde oluşan akım değeri.

$I_{insan} = \alpha f W^{2/3} E_{dış}$ formülünden ve Tablo 2'den yararlanarak³¹⁻³⁵,

I = Akım

α = Sabit (İnsan için: 15×10^{-8})

f = Frekans (50 Hz)

$E_{dış}$ = Dışarıdan uygulanan elektrik alan

W = Modelin ağırlığı (70 kg) olmak üzere.

$$I_{insan} = 15 \times 10^{-8} \times 50 \times 70000^{2/3} \times 1.350$$

$$I_{insan} = 17 \mu A \text{ olarak hesaplandı.}$$

Kaune'nun yaklaşımına göre; insanda vücut yüzeyinde oluşan elektrik alan

değeri ise $E_y = \frac{I}{2\pi f \epsilon A}$ ifadesinden yararlanılarak bulundu^{26,36,37}:

İnsan için :

E_y = Model yüzeyinde oluşan elektrik alan

I = Akım

f = Frekans (50 Hz)

ϵ = Havanın dielektrik sabiti (10^{-11} F/m)

A = Modelin yüzey alanı ($W/40 = 70/40 = 1.75$) alındığında:

$$E_y = \frac{17 \times 10^{-6}}{2 \times 3.14 \times 50 \times 10^{-11} \times 1.75}$$

$E_y = 3 \text{ kV/m}$ bulunur.

İnsan vücut yüzeyinde oluşan elektrik alan değerini hesaplayabilmenin bir diğer yolu ise silindirik model yaklaşımıdır. Bu yaklaşıma göre⁴⁰;

$$E_y = 2E_{ds} \frac{1}{1 + \frac{\epsilon_{ds}}{\epsilon_{iç}}} \text{ ifadesinden hareketle}$$

$\epsilon_{iç}$ = Dokunun dielektrik sabit değeri ($\epsilon_{iç} = 10^{-5} \text{ F/m}$),

ϵ_{ds} = Havanın dielektrik sabiti ($\epsilon_{ds} = 10^{-11} \text{ F/m}$) olmak üzere insan vücut yüzeyinde oluşan elektrik alan değeri;

$$E_y = 2 \times 1.35 \times 10^3 \frac{1}{1 + \frac{10^{-11}}{10^{-5}}}$$

$E_y = 2.7 \text{ kV/m}$ 'dir.

Model içinde oluşan iç elektrik alan ($E_{iç}$) değeri ise

$$E_{iç} = 2E_{ds} \frac{1}{1 + \frac{\epsilon_{iç}}{\epsilon_{ds}}} \text{ ifadesinden yararlanarak hesaplandı}^{40}:$$

$$E_{iç} = 2 \times 1.35 \times 10^3 \frac{1}{1 + \frac{10^{-5}}{10^{-11}}}$$

$E_{iç} = 2.6 \text{ mV/m}$

50 Hz'de 1.35 kV/m'lik dış elektrik alan insan vücut yüzeyinde $E_y = 3 \text{ kV/m}$ 'lik elektrik alanın oluşmasına neden olmakta, bu alanda

$$\frac{E_{iç}^*}{E_y} = \frac{2\pi f \epsilon}{\sigma} \text{ ile ifade edilen}^{22,36}.$$

$E_{iç}^* = 0.094 \text{ mV/m}$ 'lik ikincil bir iç elektrik alanın oluşmasına neden

olmaktadır.

Modelde oluşan akım yoğunluğu değeri ise $J = I/A = \sigma E_{iç*}$ ifadesinden yararlanılarak hesaplandı³⁸:

$$J = \frac{17 \times 10^{-6}}{1.75} \cong 0.1 \times 0.094 \times 10^{-3}$$

$$J = 0.97 \times 10^{-3} \mu A/cm^2$$

Özetleyecek olursak; araştırmada kullandığımız 50 Hz'de 1.35 kV/m'lik elektrik alan kobayda,

$$I = 0.096 \mu A \text{ 'lik akım,}$$

$$E_y = 6 \text{ kV/m'lik yüzey elektrik alanı.}$$

$$E_{iç\perp} = 0.04 \text{ mV/m'lik iç elektrik alan,}$$

$$E_{iç*} = 0.188 \text{ mV/m'lik yüzey elektrik alanının oluşturduğu iç elektrik alan ve}$$

$$J = 1.9 \times 10^{-3} \mu A/cm^2 \text{ 'lik akım yoğunluğunun oluşmasına neden olmaktadır.}$$

Eğer aynı şiddetteki elektrik alanı insan modeline uygulaysaydık,

$$I = 17 \mu A \text{ 'lik akım,}$$

$$E_y = 3 \text{ kV/m'lik yüzey elektrik alanı.}$$

$$E_{iç} = 2.6 \text{ mV/m'lik iç elektrik alan,}$$

$$E_{iç*} = 0.094 \text{ mV/m'lik yüzey elektrik alanının oluşturduğu iç elektrik alan ve}$$

$$J = 0.97 \times 10^{-3} \mu A/cm^2 \text{ 'lik akım yoğunluğu oluşacaktı.}$$

3.2.5. Karaciğer Dokusunda Hidroksiprolin Tayini

Hidroksiprolin tayini için H.Stegemann-K.Stalder'ın Modifeye yöntemi kullanıldı²⁸⁰⁻²⁸⁴. Bu yöntem dokuların hidrolizi sonucunda açığa çıkan hidroksiprolinin Kloramin-T reaktifinin ilavesiyle oluşan rengin optik densitesinin 560 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçülmesi prensibine dayanır.

3.2.5.1. Hidroksiprolin Tayin İşleminde Kullanılan Reaktifler

* Ehrlich reaktifi : 10 gr p-dimetilaminobenzaldehit, %60 oranındaki 3ml perklorik asit çözeltisinde çözülüp, 65 ml propan-2-ol ilave edilerek kahverengi şişelere alındı. Bu reaktif kullanımından birkaç dakika önce hazır hale getirildi.

* Tampon (Buffer): 50 gr sitrik asit monohidrat, 120 gr sodyum asetat trihidrat ve 34 gr sodyum hidroksit üzerine 12 ml glasiyal asetik asit ilave edildikten sonra bu karışım su ile 1000 ml'ye tamamlandı. Elde edilen bu çözeltinin pH değeri 6'ya eşittir.

* Kloramin-T Reaktifi:1.41 gr kloramin-T 10 ml propan-1-ol ve 10 ml suda çözüldü ve üzerine 80 ml tampon çözeltisi ilave edildi.

* Kalay-2-klorür dihidrat çözeltisi: 7.5 gr kalay-2-klorür dihidrat 500 ml suda çözüldü ve bu çözüme 500 ml hidroklorik asit ilave edildi.

* Stok Solüsyon: 50 mg L-hidroksiprolin 100 ml suda çözülüp üzerine 6 M HCl çözeltisinden 1 damla damlatıldı. Bu stok çözelti +4°C'de buzdolabında muhafaza edildi.

* Hidroksiprolin Standart Çözeltileri: Stok çözeltinin 5 ml'si su ile 500 ml'ye tamamlandı. Bu çözeltiden sırasıyla 10 ml, 20 ml, 30 ml ve 40 ml alınarak ayrı ayrı 100 ml'ye su ile tamamlandı. Böylece çözeltilerin, mililitrede sırasıyla 0.5µg, 1µg, 1.5µg ve 2µg hidroksiprolin ihtiva etmesi sağlandı.

3.2.5.2. Dokuların ve Örnek Solüsyonların Hazırlanması

Tüm kobaylar eterle bayıldıktan sonra, karaciğer dokuları çıkarıldı. Dokular serum fizyolojik ile yıkandıktan sonra çok küçük parçalar halinde kesilip, dokunun suyunu kaybetmesi amacıyla vakum kapaklı pyrex tüplerde 70°C sıcaklıktaki etüvde 30 dakika bekletildi. Karıştırılarak homejen hale getirilen numuneden 4 gr tartılıp, hidrolizasyon işlemi için üzerine 100± 1 ml kalay-2-klorürlü hidroklorik asit çözeltisi ilave edildi. Etüvde 105 °C'de 16 saat süreyle hidrolize edildi. Sıcak hidrolizat soğutulduktan sonra, süzgeç kağıdından süzülüp üzerine 30 ml 6 M HCl ilave edildi ve distile su ile 200 ml'ye tamamlandı. Elde edilen bu çözeltiden 25 ml alınıp pH değeri 1 M ve 10 M NaOH ile 8±0.2'ye ayarlandı ve su ile 250 ml'ye

tamamlandı. Hazırlanan 250 ml'lik çözeltilerden 4 ml deney tüpüne alınıp üzerine 2 ml kloramin-T ilave edildikten sonra vortexte karıştırılıp oda sıcaklığında 20 dakika bekletildi. Tüpe, 2 ml ehrlich reaktifi ilave edildikten sonra 20 dakika boyunca 60°C sıcaklıktaki çalkalamalı su banyosunda bekletildi. Daha sonra sıcak tüpler üç dakika boyunca musluk suyu ile soğutuldu.

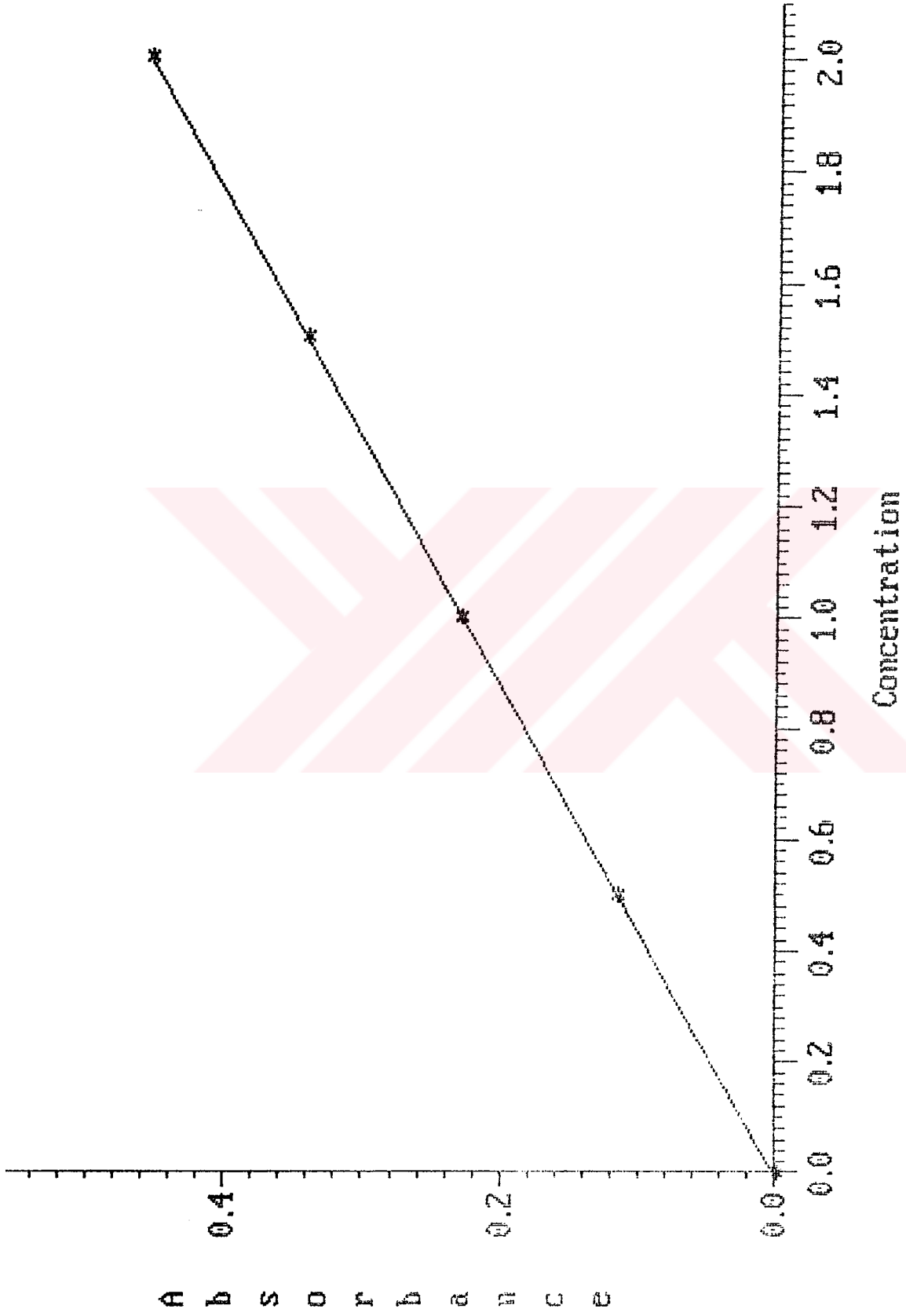
3.2.5.3.Hidroksiprolin Miktarının Spektrofotometrik Olarak Saptanması

Spektrofotometrede 560 nm dalga boyunda köre karşı, konsantrasyonunu önceden bildiğimiz standart çözeltilerin absorbens değerleri okundu (Şekil 8). Yatay ekseninde konsantrasyon, dikey ekseninde ise absorbens olmak üzere standart eğri çizdirildi (Şekil 9). Daha sonra standart eğri yardımıyla tüplerdeki örneklerin içerdiği hidroksiprolin konsantrasyonu saptandı (Şekil 10).

Her dokudan çift örnek alınarak çalışıldı. Çift çalışan örneklerden bulunan konsantrasyon değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak herbir dokunun hidroksiprolin konsantrasyonu bulundu.

STANDARD CURVE DETERMINATION					
Wavelength	560	Slope	0.199	Intercept	-0.0
Delay	0	Corr. Coef.	1.000	Std. Dev.	0.00
Auto Print	off				
Auto Save	on				
Calc Method	Linear Regression				
Kwik Stage	Auto Increment on	STD	Conc. µg/ml	ABSORBANCE	
Reference Position	1	1	0.000000	0.00	
Sample Position	3	2	0.500000	0.100	
NEXT POSITION	PREVIOUS POSITION	3	1.000000	0.198	
		4	1.500000	0.290	
		5	2.000000	0.401	
		6			
		7			
		8			
		9			
		10			
		11			
		12			
New Reference Suggested		13			
COLLECT REFERENCE		14			
NEW TEST	PLOT	15			
SAVE TEST	RESTORE TEST	16			
RUN SAMPLE	AUTO RUN	1			

Şekil 8: Standart solüsyonların konsantrasyon ve absorbens değerleri



Şekil 9: Standart solüsyonlardan elde edilen eğri

UNKNOWN SAMPLE DETERMINATION

wavelength 560.0
Delay 0.0
Auto Print off
Auto Save on
Factor 1 Sample ID 11
Wavelength-Stage Auto Increment on
Reference Position 1
Sample Position 3
NEXT POSITION PREVIOUS POSITION
New Reference Suggested
COLLECT REFERENCE
RESTORE TEST
PRINT NEW SERIES
ON SAMPLE AUTO RUN 1

gE1

Slope 0.199 Intercept -0.0
Corr. Coef. 1.000 Std. Dev. 0.00

ID	CONC	ABS	ID	CONC	ABS
11	0.267	0.052			
12	0.269	0.052			
13	0.270	0.052			
14	0.276	0.053			
15	0.266	0.052			
16	0.280	0.054			
17	0.265	0.051			
18	0.267	0.052			
19	0.268	0.052			
20	0.274	0.053			

Şekil 10. Karaciğer dokusu örneklerinin standart eğriden elde edilen konsantrasyon ve absorbanans değerleri

3.2.5.4. Araştırma Sonuçlarının Analizi

Araştırma sonucunda elde edilen hidroksiprolin verileri istatistiksel değerlendirmeye alındı. İstatistiksel değerlendirme;

- Elektrik alan gruplarıyla kontrol grubunun ve
- Elektrik alan gruplarının kendi içlerinde karşılaştırılması açısından iki grupta yapıldı.

Verilerin istatistiksel değerlendirilmesi bilgisayarda Duncan Test yöntemi kullanılarak yapıldı (Ekler 9.1.)²⁸⁵.

A. Elektrik alan gruplarının kontrol grubuyla karşılaştırılması.

Farklı sürelerde uygulanan elektrik alan gruplarının karaciğer dokuları hidroksiprolin miktarlarının kontrol grubu hidroksiprolin miktarı ile karşılaştırılması dört grupta yapıldı:

A.1. Bir gün süreyle uygulanan 1.35 kV/m şiddetindeki elektrik alan grubu ile kontrol grubunun karaciğer hidroksiprolin miktarları karşılaştırıldı.

A.2. Üç gün süreyle uygulanan 1.35 kV/m şiddetindeki elektrik alan grubu ile kontrol grubunun karaciğer hidroksiprolin miktarları karşılaştırıldı.

A.3. Beş gün süreyle uygulanan 1.35 kV/m şiddetindeki elektrik alan grubu ile kontrol grubunun karaciğer hidroksiprolin miktarları karşılaştırıldı.

A.4. Yedi gün süreyle uygulanan 1.35 kV/m şiddetindeki elektrik alan grubu ile kontrol grubunun karaciğer hidroksiprolin miktarları karşılaştırıldı.

B. Elektrik alan gruplarının kendi içlerinde karşılaştırılması:

Uygulama süreleri farklı elektrik alan gruplarının birbirleriyle karşılaştırması 6 ayrı grupta yapıldı:

B.1. Bir gün ve 3 gün süreyle uygulanan elektrik alan gruplarının karaciğer hidroksiprolin miktarları karşılaştırıldı.

B.2. Bir gün ve 5 gün süreyle uygulanan elektrik alan gruplarının karaciğer hidroksiprolin miktarları karşılaştırıldı.

B.3. Bir gün ve 7 gün süreyle uygulanan elektrik alan gruplarının karaciğer hidroksiprolin miktarları karşılaştırıldı.

B.4. Üç gün ve 5 gün süreyle uygulanan elektrik alan gruplarının karaciğer hidroksiprolin miktarları karşılaştırıldı.

B.5. Üç gün ve 7 gün süreyle uygulanan elektrik alan gruplarının karaciğer hidroksiprolin miktarları karşılaştırıldı.

B.6. Beş gün ve 7 gün süreyle uygulanan elektrik alan gruplarının karaciğer

hidroksiprolin miktarları karşılaştırıldı.



TABLO 9 : Farklı Sürelerde Uygulanan Elektrik Alan Gruplarıyla

Kontrol Grubu Karaciğer Hidroksiprolin Değerlerinin

($\mu\text{g/gdoku}$) DUNCAN Test Yöntemiyle Karşılaştırılması

K				1 GÜN		3 GÜN		5 GÜN		7 GÜN	
kobay no	HP	kobay no	HP	kobay no	HP	kobay no	HP	kobay no	HP	kobay no	HP
1	0.348	11	0.329	1	0.128	1	0.101	1	0.098	1	0.077
2	0.361	12	0.328	2	0.122	2	0.114	2	0.099	2	0.076
3	0.314	13	0.341	3	0.121	3	0.095	3	0.097	3	0.079
4	0.294	14	0.338	4	0.119	4	0.106	4	0.097	4	0.081
5	0.319	15	0.329	5	0.116	5	0.102	5	0.099	5	0.077
6	0.339	-	-	6	0.135	6	0.098	6	0.092	6	0.082
7	0.341	-	-	7	0.130	7	0.101	7	0.094	7	0.080
8	0.346	-	-	8	0.132	8	0.103	8	0.092	8	0.083
9	0.338	-	-	9	0.121	9	0.099	9	0.091	9	0.083
10	0.297	-	-	10	0.121	10	0.111	10	0.089	10	0.076
$\bar{x} \pm S_d = 0.330 \pm 0.018$				$\bar{x} \pm S_d = 0.124 \pm 0.001$		$\bar{x} \pm S_d = 0.103 \pm 0.005$		$\bar{x} \pm S_d = 0.094 \pm 0.003$		$\bar{x} \pm S_d = 0.079 \pm 0.002$	

K : Kontrol Grubu , HP : Hidroksiprolin ($\mu\text{g/g doku}$)

1 Gün : 1 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup (Grup I)

3 Gün : 3 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup (Grup II)

5 Gün : 5 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup (Grup III)

7 Gün : 7 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup (Grup IV)

K ve 1 gün grupları arasındaki fark ÖNEMLİ ($p < 0.01$)

K ve 3 gün grupları arasındaki fark ÖNEMLİ ($P < 0.01$)

K ve 5 gün grupları arasındaki fark ÖNEMLİ ($p < 0.01$)

K ve 7 gün grupları arasındaki fark ÖNEMLİ ($p < 0.01$)

TABLO 10 : Bir gün ve 3 Gün Süreyle Elektrik Alan Uygulanan Grupların Karaciğer Hidroksiprolin Değerlerinin DUNCAN Test Yöntemiyle Karşılaştırılması

1 GÜN		3 GÜN	
kobay no	HP (µg /g doku)	kobay no	HP (µg /g doku)
1	0.128	1	0.101
2	0.122	2	0.114
3	0.121	3	0.095
4	0.119	4	0.106
5	0.116	5	0.102
6	0.135	6	0.098
7	0.130	7	0.101
8	0.132	8	0.103
9	0.121	9	0.099
10	0.121	10	0.111

1 GÜN : 1 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup
3 GÜN : 3 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup
p<0.01 ÖNEMLİ

TABLO 11 : Bir Gün ve 5 Gün Süreyle Elektrik Alan Uygulanan Grupların Karaciğer Hidroksiprolin Değerlerinin DUNCAN Test Yöntemiyle Karşılaştırılması

1 GÜN		5 GÜN	
kobay no	HP (µg /g doku)	kobay no	HP (µg /g doku)
1	0.128	1	0.098
2	0.122	2	0.099
3	0.121	3	0.097
4	0.119	4	0.097
5	0.116	5	0.099
6	0.135	6	0.092
7	0.130	7	0.094
8	0.132	8	0.092
9	0.121	9	0.091
10	0.121	10	0.089

1 GÜN : 1 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup
5 GÜN : 5 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup
p<0.01 ÖNEMLİ

TABLO 12 : Bir Gün ve 7 Gün Süreyle Elektrik Alan Uygulanan Grupların Karaciğer Hidroksiprolin Değerlerinin DUNCAN Test Yöntemiyle Karşılaştırılması

1 GÜN		7 GÜN	
kobay no	HP (µg /g doku)	kobay no	HP (µg /g doku)
1	0.128	1	0.077
2	0.122	2	0.076
3	0.121	3	0.079
4	0.119	4	0.081
5	0.116	5	0.077
6	0.135	6	0.082
7	0.130	7	0.080
8	0.132	8	0.083
9	0.121	9	0.083
10	0.121	10	0.076

1 GÜN : 1 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup
7 GÜN : 7 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup
p < 0.01 ÖNEMLİ

**TABLO 13 : Üç Gün ve 5 Gün Süreyle Elektrik Alan Uygulanan
Grupların Karaciğer Hidroksiprolin Değerlerinin
DUNCAN Test Yöntemiyle Karşılaştırılması**

3 GÜN		5 GÜN	
kobay no	HP (µg /g doku)	kobay no	HP (µg /g doku)
1	0.101	1	0.098
2	0.114	2	0.099
3	0.095	3	0.097
4	0.106	4	0.097
5	0.102	5	0.099
6	0.098	6	0.092
7	0.101	7	0.094
8	0.103	8	0.092
9	0.099	9	0.091
10	0.111	10	0.089

3 GÜN : 3 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup
5 GÜN : 5 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup
p>0.05 ÖNEMSİZ

**TABLO 14 : Üç Gün ve 7 Gün Süreyle Elektrik Alan Uygulanan
Grupların Karaciğer Hidroksiprolin Değerlerinin
DUNCAN Test Yöntemiyle Karşılaştırılması**

3 GÜN		7 GÜN	
kobay no	HP (µg /g doku)	kobay no	HP (µ g/g doku)
1	0.101	1	0.077
2	0.114	2	0.076
3	0.095	3	0.079
4	0.106	4	0.081
5	0.102	5	0.077
6	0.098	6	0.082
7	0.101	7	0.080
8	0.103	8	0.083
9	0.099	9	0.083
10	0.111	10	0.076
3 GÜN : 3 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup			
7 GÜN : 7 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup			
p < 0.01 ÖNEMLİ			

TABLO 15 : Beş Gün ve 7 Gün Süreyle Elektrik Alan Uygulanan Grupların Karaciğer Hidroksiprolin Değerlerinin DUNCAN Test Yöntemiyle Karşılaştırılması.

5 GÜN		7 GÜN	
kobay no	HP (µg /g doku)	kobay no	HP (µg /g doku)
1	0.098	1	0.077
2	0.099	2	0.076
3	0.097	3	0.079
4	0.097	4	0.081
5	0.099	5	0.077
6	0.092	6	0.082
7	0.094	7	0.080
8	0.092	8	0.083
9	0.091	9	0.083
10	0.089	10	0.076
5 GÜN : 5 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup			
7 GÜN : 7 Gün süreyle elektrik alan uygulanan grup			
p<0.01 ÖNEMLİ			

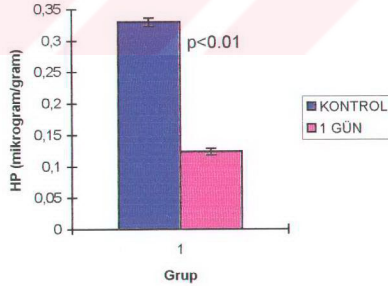
4. BULGULAR

ELF AC elektrik alana farklı sürelerde maruz kalmanın karaciğer kollagen sentezine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada 15'i kontrol olmak üzere toplam 55 adet kobayın karaciğer hidroksiprolin miktarları belirlendi.

Elektrik alana maruz kalış süresi açısından çalışma gruplarının dağılımı Tablo 7'de verilmişti. Hem kontrol hemde elektrik alana maruz kalan kobaylar için saptanan karaciğer hidroksiprolin miktarları ve elektrik alan gruplarının kontrol grubuyla istatistiksel karşılaştırması Tablo 9'da, çalışma gruplarının elektrik alana maruziyet süreleri açısından istatistiksel karşılaştırması ise Tablo 10-15'de verilmiştir.

50 Hz'de sinüzoidal 1.35 kV/m'lik elektrik alana 1, 3, 5 ve 7 gün boyunca günde 8 saat maruz bırakılan kobayların karaciğer hidroksiprolin miktarları kontroller ile karşılaştırıldı ve aşağıdaki bulgular saptandı:

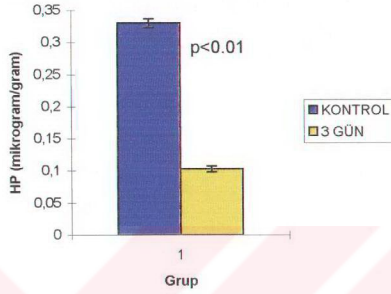
* Bir gün süreyle uygulanan 1.35 kV/m şiddetindeki elektrik alan kontrollere kıyasla hidroksiprolin miktarını azaltmış ve bu azalış istatistiksel anlamda önemli ($p<0.01$) bulunmuştur (Şekil 11, Tablo 9).



Şekil 11 : Bir gün süreyle elektrik alan uygulanan grup ile kontrol grubunun karaciğer HP miktarı

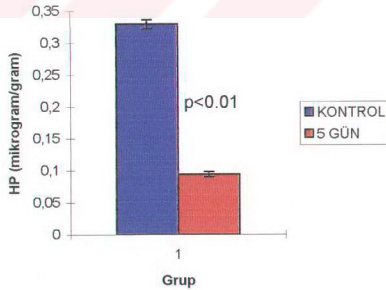
* Üç gün süreyle uygulanan 1.35 kV/m şiddetindeki elektrik alan kontrollere

kıyasla hidroksiprolin miktarını azaltmış ve bu azalış istatistiksel anlamda önemli ($p<0.01$) bulunmuştur (Şekil 12, Tablo 9).



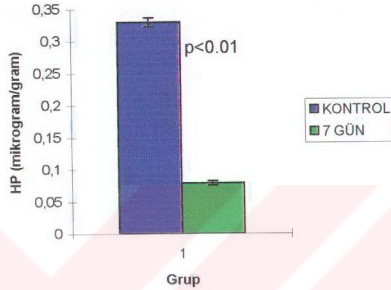
Şekil 12 : Üç gün süreyle elektrik alan uygulanan grup ile kontrol grubunun karaciğer HP miktarı

* Beş gün süreyle uygulanan 1.35 kV/m şiddetindeki elektrik alan kontrollere kıyasla hidroksiprolin miktarını azaltmış ve bu azalış istatistiksel anlamda önemli ($p<0.01$) bulunmuştur (Şekil 13, Tablo 9).



Şekil 13 : Beş gün süreyle elektrik alan uygulanan grup ile kontrol grubunun karaciğer HP miktarı

* Yedi gün süreyle uygulanan 1.35 kV/m şiddetindeki elektrik alan kontrollere kıyasla hidroksiprolin miktarını azaltmış ve bu azalış istatistiksel anlamda önemli ($p<0.01$) bulunmuştur (Şekil 14, Tablo 9).



Şekil 14 : Yedi gün süreyle elektrik alan uygulanan grup ile kontrol grubunun karaciğer HP miktarı

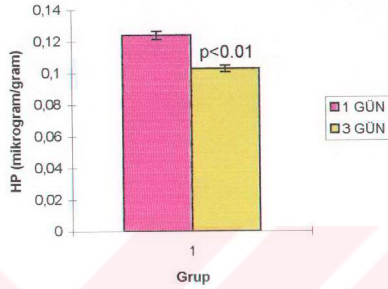
Elektrik alanın tüm uygulama sürelerinde karaciğer hidroksiprolin miktarını azalttığı görülmektedir.

Farklı sürelerde (1, 3, 5 ve 7 gün) elektrik alana maruz bırakılan kobayların karaciğer hidroksiprolin miktarları alana maruz kalış süresi açısından karşılaştırıldı ve aşağıdaki bulgular saptandı:

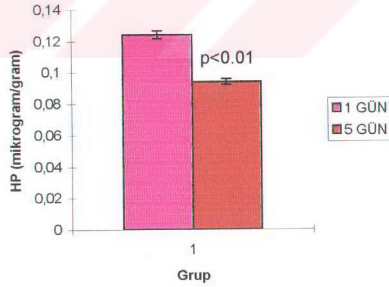
* Bir gün ve 3 gün süreyle uygulanan elektrik alan gruplarının karaciğer hidroksiprolin miktarları arasındaki fark istatistiksel anlamda önemli ($p<0.01$) bulunmuştur (Tablo 10). Üç gün süreyle elektrik alana maruz bırakılan grubun hidroksiprolin seviyesinde meydana gelen azalış, 1 gün boyunca elektrik alana maruz bırakılan gruba nazaran daha fazla bulunmuştur (Şekil 15).

* Bir gün ve 5 gün süreyle uygulanan elektrik alan gruplarının karaciğer hidroksiprolin miktarları arasındaki fark istatistiksel anlamda önemli ($p<0.01$) bulunmuştur (Tablo 11). Beş gün süreyle elektrik alana maruz bırakılan grubun hidroksiprolin seviyesinde

meydana gelen azalış, 1 gün boyunca elektrik alan maruz bırakılan gruba nazaran daha fazla bulunmuştur (Şekil 16).



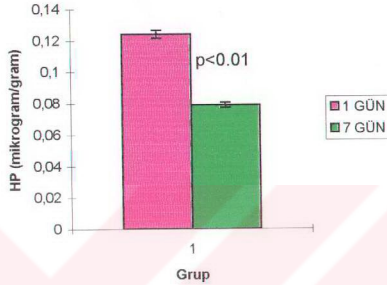
Şekil 15 : Bir gün ve 3 gün süreyle elektrik alan uygulanan grupların HP miktarı



Şekil 16 : Bir gün ve 5 gün süreyle elektrik alan uygulanan grupların HP miktarı

* Bir gün ve 7 gün süreyle uygulanan elektrik alan gruplarının karaciğer hidroksiprolin miktarları arasındaki fark istatistiksel anlamda önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur

(Tablo 12). Yedi gün süreyle elektrik alana maruz bırakılan grubun hidroksiprolin seviyesinde meydana gelen azalış, 1 gün boyunca elektrik alana maruz bırakılan gruba nazaran daha fazla bulunmuştur (Şekil 17).



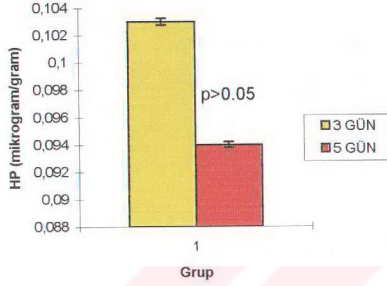
Şekil 17 : Bir gün ve 7 gün süreyle elektrik alan uygulanan grupların HP miktarı

* Üç gün ve 5 gün süreyle uygulanan elektrik alan gruplarının karaciğer hidroksiprolin miktarları arasındaki fark istatistiksel anlamda önemsiz ($p > 0.05$) bulunmuştur (Tablo 13). Ancak yine de 5 Gün süreyle elektrik alana maruz bırakılan grubun hidroksiprolin seviyesinde meydana gelen azalış, 3 gün boyunca elektrik alana maruz bırakılan gruba nazaran daha fazla bulunmuştur (Şekil 18).

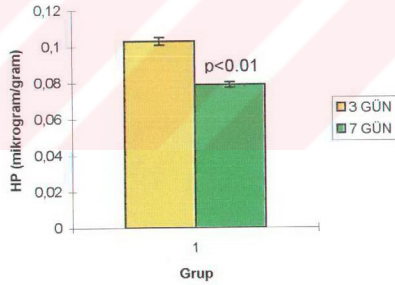
* Üç gün ve 7 gün süreyle uygulanan elektrik alan gruplarının karaciğer hidroksiprolin miktarları arasındaki fark istatistiksel anlamda önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur. (Tablo 14). Yedi gün süreyle elektrik alana maruz bırakılan grubun hidroksiprolin seviyesinde meydana gelen azalış, 3 gün boyunca elektrik alana maruz bırakılan gruba nazaran daha fazla bulunmuştur (Şekil 19).

* Beş gün ve 7 gün süreyle uygulanan elektrik alan gruplarının karaciğer hidroksiprolin miktarları arasındaki fark istatistiksel anlamda önemli ($p < 0.01$) bulunmuştur (Tablo 15). Yedi gün süreyle elektrik alana maruz bırakılan grubun hidroksiprolin seviyesinde meydana gelen azalış, 5 gün boyunca elektrik alana maruz bırakılan gruba nazaran daha fazla

olmuştur (Şekil 20).



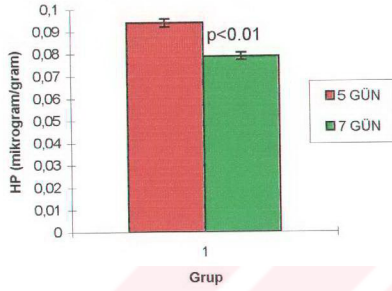
Şekil 18 : Üç gün ve 5 gün süreyle elektrik alan uygulanan grupların HP miktarı



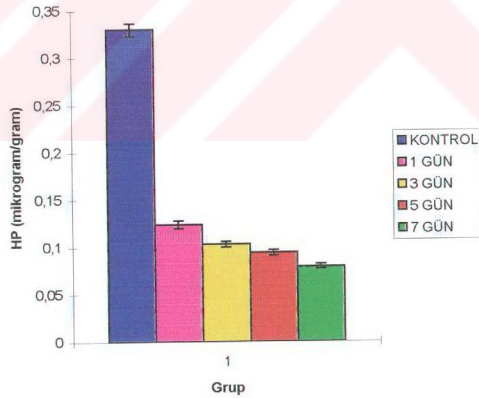
Şekil 19 : Üç gün ve 7 gün süreyle elektrik alan uygulanan grupların HP miktarı

Elde edilen tüm bulgular uyguladığımız elektrik alanın hidroksiprolin miktarını azalttığını; bu azalışta uygulama süresinin etkili olduğunu, 7 gün süreyle elektrik alana maruz kalan grubun en çok etkilendiğini ve bunu 5 gün, 3 gün ve 1 günlük uygulama

gruplarının izlediğini göstermektedir (Şekil 21, Tablo 9).



Şekil 20 : Beş gün ve 7 gün süreyle elektrik alan uygulanan gruplarının HP miktarı



Şekil 21 : Tüm elektrik alan gruplarının karaciğer HP değerlerinin kontrol grubuyla karşılaştırması

5. SONUÇ

8 saat/gün olmak üzere 1, 3, 5 ve 7 gün boyunca 50 Hz, 1.3 kV/m AC elektrik alana maruz bırakılan kobayların karaciğer hidroksiprolin seviyelerinde meydana gelen değişiklikler istatistiksel testlerle değerlendirilmiş ve deney bulguları ile uyum içinde oldukları saptanan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Bir gün süreyle uygulanan elektrik alan kontrole kıyasla karaciğer hidroksiprolin miktarlarını istatistiksel anlamda önemli ($p<0.01$) oranda azaltmıştır.

2. Üç gün süreyle uygulanan elektrik alan kontrole kıyasla karaciğer hidroksiprolin miktarlarını istatistiksel anlamda önemli ($p<0.01$) oranda azaltmıştır.

3. Beş gün süreyle uygulanan elektrik alan kontrole kıyasla karaciğer hidroksiprolin miktarlarını istatistiksel anlamda önemli ($p<0.01$) oranda azaltmıştır.

4. Yedi gün süreyle uygulanan elektrik alan kontrole kıyasla karaciğer hidroksiprolin miktarlarını istatistiksel anlamda önemli ($p<0.01$) oranda azaltmıştır.

5. Bir gün ve 3 gün süreli elektrik alan uygulamasında karaciğer hidroksiprolin miktarları arasındaki azalma, 3 gün süreli uygulamada 1 günlük uygulamaya nazaran daha fazladır ($p<0.01$).

6. Bir gün ve 5 gün süreli elektrik alan uygulamasında karaciğer hidroksiprolin miktarları arasındaki azalma, 5 gün süreli uygulamada 1 günlük uygulamaya nazaran daha fazladır ($p<0.01$).

7. Bir gün ve 7 gün süreli elektrik alan uygulamasında karaciğer hidroksiprolin miktarları arasındaki azalma, 7 gün süreli uygulamada 1 günlük uygulamaya nazaran daha fazladır ($p<0.01$).

8. Üç gün ve 5 gün süreli elektrik alan uygulamasında karaciğer hidroksiprolin miktarları arasındaki azalma, 5 gün süreli uygulamada 3 günlük uygulamaya nazaran daha fazladır. Ancak aralarındaki fark istatistiksel anlamda önemli değildir ($p>0.05$).

9. Üç gün ve 7 gün süreli elektrik alan uygulamasında karaciğer hidroksiprolin miktarları arasındaki azalma, 7 gün süreli uygulamada 3 günlük uygulamaya nazaran daha

fazladır ($p<0.01$).

10. Beş gün ve 7 gün süreli elektrik alan uygulamasında karaciğer hidroksiprolin miktarları arasındaki azalma, 7 gün süreli uygulamada 5 günlük uygulamaya nazaran daha fazladır ($p<0.01$).

Buna göre elektrik alanı uygulama süresi 1 günden 7 güne arttıkça, karaciğer hidroksiprolin miktarında daha fazla azalmaya neden olmaktadır.



6. TARTIŞMA

Araştırmada AC (alternatif akım) elektrik alanları farklı sürelerde uygulamanın karaciğer dokusunda hidroksprolin miktarına etkisi incelendi. Bu amaçla sinüzoidal dalga şekline sahip 50 Hz frekanslı 150 VAC gerilim uygulanarak oluşturulan 1.35 kV/m şiddetinde elektrik alan 8 saat/gün süreyle 1, 3, 5 ve 7 gün boyunca kobaylara uygulandı. Elektrik alana eşlik eden magnetik alanın büyüklüğü 0.59 pT idi. Elektrik alanın uygulama süresi arttıkça hidroksprolin miktarlarında azalış saptandı. Sözkonusu azalışta 7 günlük elektrik alan uygulama süresinin en çok etkili olduğu ve bunu 5 gün, 3 gün ve 1 günlük uygulama gruplarının izlediği tespit edildi ve hidroksprolin miktarında meydana gelen azalışların tümü istatistiksel anlamda önemli ($p<0.01$) bulundu.

Elektrik alan çalışmalarında gözönüne alınması gereken önemli parametrelerden biri elektrik alanın doğrultusu olmasına rağmen, bu konu ancak birkaç araştırmacının dikkatini çekmiştir:

Dikey ve yatay elektrik alanın etkilerini karşılaştıran ilk araştırmacı Marino olmuştur. Yaptığı çalışmayla dikey elektrik alanın yatay elektrik alandan daha etkili olduğunu, albuminde artışa, α , β ve γ globulinlerde ise azalışa neden olduğunu rapor etmiştir¹³⁶.

Bitki köklerinde yapılan araştırmada köklerin büyüme hızında dikey elektrik alanın yataydan daha etkili olduğu saptanmıştır²⁸⁸⁻²⁹⁰.

Modelleme çalışmaları ise farklı iletkenliklere sahip ortamlarda elektrik alanın yatay bileşeninin sürekli bir dağılım gösterdiğini, dikey bileşeninin ise ortamın iletkenliğine bağlı olarak kesikli dağılım gösterdiğini ortaya koymuştur²⁹¹.

Bu araştırmadan önce yaptığımız araştırmalarda Elektrik alanın şiddet ve doğrultusunun hidroksprolin ve diğer birçok parametre üzerinde etkilerini çalıştık: 1.9 kV/m`lik elektrik alan dikey ve yatay doğrultuda kobaylara uygulandı ve elektrik alanın her iki doğrultusu için de karaciğer, akciğer ve böbrek dokularında hidroksprolin, süperoksit dismütaz

ve askorbik asit miktarlarında artış, malondialdehit miktarlarında ise azalış saptandı^{8,88-117}. Çalışmanın devamında elektrik alan etkisinin yön dışında alan şiddetine bağımlılığı araştırıldı ve 0.9 kV/m'lik dikey ve yatay elektrik alanın karaciğer, akciğer ve böbrek hidroksiprolin ve askorbik asit miktarlarında azalışa, süperoksit dismütaz enziminde ise artışa neden olduğu gözlemlendi. Her iki elektrik alan şiddeti için meydana gelen değişimlerde dikey elektrik alanın KC ve diğer dokulardaki hidroksiprolin miktarında yataydan daima daha etkili olduğu saptandı^{8,88-117}. Elektrik alanın hem şiddet hemde doğrultusunun önemli olduğunu bulgulayan bu çalışmalardan sonra elektrik alan uygulamalarında incelenmesi gerekli bir diğer parametrenin alana maruz kalış süresi olduğu yaklaşımı ise bu çalışmada ele alındı.

Araştırmada 50 Hz, 1.35 kV/m'lik elektrik alan uyguladık. Yerden yükseklikleri 20 m olan 750 kV'luk yüksek gerilim hattının oluşturduğu elektrik alan şiddetinin 1 kV/m olması ve 1 kV/m'lik elektrik alanın yüksek gerilim hatları altında yaşayanlar için zararın başladığı eşik değer olarak kabul edilmesi^{19,21,24,25}, membran boyunca moleküllerin hareket ettirilebilmesi için pulslu 0.1-1 kV/m mertebesinde elektrik alana ihtiyaç duyulması^{227-231,286}, 0.8 kV/m'lik elektrik alanın etkisiyle retinada rastgele dağılım gösteren çubuk hücrelerin elektrik alan boyunca dizilmesi²²⁹, 1.2-1.9 kV/m'lik elektrik alanların canlılarda pineal melatonin konsantrasyonunda ve N-asetil transferaz enzim aktivitesinde değişime neden olması^{131,149,154}, 0.6-2 kV/m'lik elektrik alanların albümin seviyesinde artışa α , β ve γ globulinlerde azalışa neden olması¹³⁶, 1 kV/m'lik elektrik alandaki *Musca domestica* sineklerinin sirkadian lokomotor aktivitelerinde değişimlerin meydana gelmesi¹⁹¹, 1.2 kV/m'lik elektrik alanın farelerde ölüm hızını artırması²⁰⁸, yağmurlu havalarda kV/m'ler seviyesinde elektrik alanlara maruz kalmamız¹⁹⁻²³ ve yapılan hem modelleme hemde deneysel araştırmaların insanlar için 1 kV/m'lik elektrik alanı zararın başladığı eşik değer olarak kabul etmesi^{24,25}, bizi ~1 kV/m'lik elektrik alan şiddeti ile çalışmaya yönlendirmiştir.

Yaptığımız diğer bir çalışmada 0.9 kV/m'lik DC elektrik alanın karaciğer

hidroksiprolin miktarını azalttığına, buna karşın 1.9 kV/m şiddetindeki DC elektrik alanının ise hidroksiprolin miktarını artırdığına ilişkin bulgumuz, bize karaciğer hidroksiprolin miktarı için eşik değerin 0.9 kV/m ile 1.9 kV/m aralığında bir yerlerde olduğunu düşündürmüştür^{8,88-117}. Bu nedenle çalışmada etkisi araştırılacak alan şiddeti olarak 1.35 kV/m'lik bir ara değer seçildi.

DeneySEL çalışmalar kV/m'ler mertebesindeki ELF alanların biyolojik sistemlerde değişime neden olabilmesinin etki süresine bağlı olduğunu göstermektedir^{9,21,22}. Araştırmacıların bir kısmının elde ettikleri sonuçlar değerlendirildiğinde elektrik alanları kronik yani uzun süreli uygulamanın canlı organizma üzerinde daha etkili olduğu görülmektedir:

100 kV/m ve 25 kV/m'lik elektrik alanlara maruz bırakılan sıçanlarda karaciğer hücrelerinde stoplazmik boşluklar ve nekroz oluşumu, kalpte hiperplazi görülmesi kanda; kırmızı ve beyaz kan hücrelerinin miktarı ve hacmi, hemogloblin konsantrasyonu, total plazma proteinleri, SGOT, SGPT, alkalin fosfataz ve trigliserid seviyelerinde meydana gelen değişimlerde en etkili olan uygulamanın 38 hafta boyunca olan maruziyet sonunda gerçekleştiği saptanmıştır. 7 ve 10 hafta boyunca gerçekleşen maruziyetlerde meydana gelen değişimler 38 haftalık uygulama sonunda gerçekleşen değişimlere nazaran daha az/etkisiz olmuştur¹³⁷.

2 mA şiddetindeki doğru akım mikroelektrotlar yardımıyla akciğer tümörlü farelere 12 ve 16 gün boyunca uygulanmış ve 12 günlük uygulamada tümörün büyüklüğünde (mm) bir fark gözlenmezken, 16 günlük uygulamanın tümörü küçülttüğü tespit edilmiştir²⁹².

Invitro koşullarda insan perifer kan hücrelerine 25 G'luk magnetik alan ve bu alanın oluşturduğu 0.02 mV/cm'lik elektrik alan 24 ve 48 saat boyunca uygulanmış, her iki uygulama süresinde hücre çoğalmasına neden olurken, bu artışta 48 saatlik maruziyet 24 saatlik maruziyete kıyasla daha etkili bulunmuştur¹⁶¹.

1.2 kV/m'lik elektrik alana maruz bırakılan farelerde 5. günden itibaren kontrollere kıyasla ölüm hızı artmıştır. Ancak bu artışta 30 günlük uygulama daha etkili olmuştur²⁰⁸.

1166 V/cm'lik elektrik alana 6 saat boyunca maruz kalan civcivlerde DNA

sentezinde artış olurken, 2 ve 4 saatlik uygulamada ise DNA sentezinde kontrollere kıyasla bir fark görülmemiştir¹⁸⁵.

Araştırmamızda karaciğer hidroksiprolin miktarındaki en büyük değişim 7. günde olurken bunu 5, 3, ve 1 günlük elektrik alan uygulamaları takip etmiştir. Çalışma uzun süreli maruziyetin karaciğer hidroksiprolin miktarında daha etkili olduğunu göstermektedir. Bu araştırmaya paralel yürüttüğümüz bir diğer çalışmada da elektrik alanın uygulama süresi arttıkça kanda fosfor, klor, kalsiyum iyonları, karaciğerin fonksiyonel enzimlerinden alkalen fosfataz, alanin aminotransferaz, aspartat aminotransferaz ve laktat dehidrogenaz enzim seviyeleri ile üre, ürik asit, kreatin, kolesterol, trigliserid, glukoz, albumin ve total protein miktarının azaldığı saptanmıştır (henüz yayınlanmadı).

Uzun süreli uygulanan alanların etkili olduğunu gösteren çalışmalar; uygulama süresi arttıkça canlı organizmanın, elektrik veya elektromagnetik alana direncinin azaldığını, vücutta başta deri olmak üzere, çok yalıtkan yapıların dahi yalıtkan özelliklerini kaybetmesi sonucunda alanların organizma üzerinde çok daha etkili olduğunu düşündürmektedir. Hem deneysel hem de modelleme çalışmalarının tespit ettiği, elektrik alanın uygulandığı ortamın dielektrik özelliği azaldıkça veya bir başka deyişle iletkenlik özelliği arttıkça alanın o bölgeye etkisinin arttığı ve incelenen parametrelerde önemli değişimler gerçekleştiğidir²⁶⁻³⁹.

Ancak elektrik alanın etkilerini süreye bağlı olarak araştıran ve akut yani kısa süreli uygulamanın daha etkili olduğunu savunan araştırmacılar da vardır : 10 Hz'de 10^{-5} V/m'lik elektrik alanın invitro şartlarda civciv tibiası ve kollagen içeriğine etkisinin araştırıldığı çalışmada, elektrik alan 3 gün boyunca kesintisiz uygulandığında hidroksiprolin miktarı % 29, 30 dakika süreyle 3 gün boyunca uygulandığında % 83, yine 30 dakika süreyle sadece 1 gün uygulandığında da % 86 oranında artış saptanmıştır. 30 dakika süreyle 3 gün boyunca elektrik alana maruziyet tibiadaki kollagen formasyonunda % 588, hücre çoğalmasında ise % 295 oranında artışa neden olmuştur. Sadece 30 dakika boyunca elektrik alana maruz bırakılan kemik hücrelerine (³H) timidin bağlanabilirliğinde % 45 ve DNA sentezinde ise % 60 artış gözlenmiştir²⁹³.

Bir başka çalışmada ise tavşan flexör tendonuna 7 µA şiddetinde doğru akım uygulandığında 7. günde prolin seviyesinde % 91 ve hidrokisprolin seviyesinde ise % 255 artış saptanmıştır. 42 gün süren uygulamada ise prolinde % 40 ve hidrokisprolinde de % 60 artış tespit edilmiştir²⁹⁴.

Elektrik alanı kısa-sürelili uygulamanın etkili olduğunu gösteren çalışmalar: canlı organizmanın alana kısa süreli maruz kalması durumunda ortamdaki değişime adapte olamaması, buna karşılık alan uygulama süresi arttıkça geçen zaman içinde organizmanın bulunduğu ortama adapte olduğu şeklinde yorumlanmakta. Elektrik alana maruz kalan deney hayvanlarının 1. nesil yavrularında gözlenen etkinin daha sonraki nesillerde gözlenmediğini bulgulayan çalışmalar bu görüşe güç kazandırmakta^{204,205,207}. Ayrıca elektrikli cihazların, haberleşme hatlarının ve cep telefonlarının bu denli çok kullanıldığı günümüzde başta lösemi ve lenfoma olmak üzere kanserin çeşitli tiplerinin artış göstermesi, söz konusu alanlara adaptasyonumuzun henüz tamamlanmadığının bir başka göstergesi gibi gözükmektedir.

Elektrik alan uygulamalarında dikkate alınması gerekli önemli parametrelerden bir diğeri de frekanstır. Yapılan araştırmalar uygulanan elektrik alanın frekansı ile incelenen doku veya dokudaki herhangi bir parametrenin doğal rezonans frekansının yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. Araştırmacılara göre dışarıdan uygulanan alanın frekansı ile dokunun doğal rezonans frekansının aynı olması durumunda en büyük değişim gerçekleşmektedir: Elektrik alanların hücreden ⁴⁵Ca²⁺ salımına etkilerini inceleyen çalışmalar, salımında en büyük değişimi yapan frekansın 16 Hz olduğunu göstermiştir¹³⁸⁻¹⁴³. Dokuların alan frekansından etkilenebilmeleri ELF aralığında çeşitlilik gösterebilmektedir. Prolin içeriğindeki değişimlerin frekansa bağlı olabileceği gösterilmiştir. 10 mV/cm'lik elektrik alan sığır fibroblast kültüründe 0.1-1000 Hz aralığında prolin miktarını azaltırken, 10 Hz'den itibaren prolinde artışa neden olmuştur²⁹⁵. Araştırmamızda 50 Hz'lik (ELF) frekansın hidrokisprolin miktarında büyük azalışlara neden olması, ELF'de protein sentezinin baskılanmasının mümkün olabileceğini düşündürmektedir.

Dışarıdan uygulanan elektrik alanın frekansı arttıkça, hücrenin özdirenci ve yalıtkan özelliği azalmakta ve böylece hücre içi akımlar artarak hücrenin toplam geçirgenliğinde artışa neden olmaktadır. Bu durumun sonucu olarak membranlar çeşitli iyonlara karşı geçirgenliklerini değiştirebilecek yapıya kavuşmaktadırlar^{6,8-22,138-143,299}.

Bazı hücreler için uygulanan her frekansta hücre geçirgenliğini artıran eşik elektrik alan ve maksimum elektrik alan değerleri saptanmıştır. Çin Hamster Over hücreleri için hücre geçirgenliğinin artmaya başladığı eşik elektrik alan değeri 3 V/m iken, geçirgenliğin %100 arttığı elektrik alan 12 V/m olarak bulunmuştur. Kırmızı kan hücreleri için ise eşik değer 25 V/m, maksimum değer ise 40 V/m saptanmıştır²⁹⁶⁻²⁹⁸. Elektrik alanların hücre membranlarının geçirgenliklerinde meydana getirdiği bu tür değişimler, aynı zamanda hücrelerin yapısını oluşturdukları dokularında fonksiyonlarında değişime neden olmaktadır^{8-20,298}.

Hesaplamalar sonucunda; araştırmada dışarıdan uyguladığımız *1.35 kV/m'lik* elektrik alan kobayda $I = 0.096 \mu A'lik$ akım, vücut yüzeyinde $E_y = 6 kV/m'lik$ elektrik alan ve içeride $E_{iç} = 0.04 mV/m'lik$ elektrik alan oluşmasına neden olurken, aynı dış alan insan modelinde $I = 17 \mu A'lik$ akım, vücut yüzeyinde $E_y = 3 kV/m'lik$ elektrik alan ve içeride $E_{iç} = 2.6 mV/m'lik$ elektrik alanının oluşmasına neden olmaktadır. Uyguladığımız elektrik alanın kobayda oluşturduğu akım yoğunluğu $J = 1.9 \times 10^{-3} \mu A/cm^2$, insan modelinde oluşturacağı akım yoğunluğu ise $J = 0.96 \times 10^{-3} \mu A/cm^2$ 'dir. Yapılan çalışmalar; prolin konsantrasyonu ve Ca^{++} metabolizmasında değişime $1-5 \mu A/cm^2$ 'lik akım yoğunluğunun neden olduğunu göstermektedir²⁹⁵. Araştırmamızda oluşan akım yoğunluğu 10^3 kat daha küçük olmasına rağmen; hem hidroksprolin hem de Ca^{++} miktarında istatistiksel anlamda önemli değişimler meydana gelmiştir. Bu sonuç protein sentezine etkili olduğu saptanan akımların çok daha aşağılara çekilebileceği izlenimini vermektedir.

Elektrik alan çalışmalarında gözönüne alınması gereken önemli parametrelerden biri de dokunun su içeriğidir. Yağ oranı yüksek olan dokular yağ tabakasının

çok iyi bir yalıtkan olması nedeniyle, suyu fazla olan dokulara oranla uygulanan elektrik alanlara karşı yüksek direnç gösterirler. Dokulardaki su yüzdesi arttıkça iletkenlikte de o denli artış meydana gelmekte ve bu tür dokular elektrik alandan daha çok etkilenmektedirler^{8,29,30}. Karaciğer dokusunda dışarıdan uyguladığımız elektrik alanın bu denli etkili olmasında karaciğerin % 70-% 80 'ni suyun oluşturmasının rolü olduğu düşünülebilir^{8,29,30,88-117}.

Bir bağ doku proteini olan kollagenin elektromagnetik alanlardan etkilenmesinin temel nedenini; elektrikce yüklü olması oluşturmaktadır. Şayet asitte çözdürülen kollagen çözeltisine ~1 µA şiddetinde zayıf akım uygulanırsa katot civarında, çukur tarafı katoda doğru olan konkav bir kollagen bant oluşur. Bu sonuç kollagenin elektrik alanda bir katyon gibi hareket ettiğini göstermektedir³⁰⁰⁻³⁰⁴. Kollageni oluşturan aminoasitlerin 1/10'unu hidroksiprolinin oluşturması, hidroksiprolinin uygulanan elektrik alandan etkilenmesini izah etmektedir.

Protein sentezinde önce prolin sentezlenir ve prolin; prolin hidroksilaz enziminin varlığında hidroksiprolin dönüşür. Söz konusu hidroksilasyonun gerçekleşebilmesi için demir, moleküler oksijen, askorbik asit ve alfa ketoglutarata ihtiyaç vardır. Bunlardan birinin yokluğu ve eksikliğinde kollagen sentezi yavaşlar veya yapılamaz. Buda hidroksiprolin miktarının azalmasına neden olur^{258,266,305,306}.

Elektrik alanın uygulandığı bölgeye enerji transfer etmesi sonucunda organizmadaki moleküller oksijen (O₂) : tek oksijen ve süperoksit olarak bilinen serbest radikal formuna dönüşmüş olabilir. Bunun sonucunda hidroksiprolin sentezinde ihtiyaç duyulan moleküler oksijen varlığı azalacaktır. Oluşan serbest radikaller, enzimlerin çoğunda olduğu gibi, prolinin-hidroksiprolin dönüşümünde yardımcı olan alfa-ketoglutarat ve prolin hidroksilaz enzimlerinin fonksiyonlarının azalmasına neden olabilir. Ortamdaki moleküler oksijen varlığının azalması ve kollagen sentezi için gerekli olan enzimlerin yeterince fonksiyon görememesi nedeniyle elektrik alan hidroksiprolin miktarında azalışa neden olmuş olabilir.

Bu çalışma ve paralelindeki diğer çalışmalar, günlük yaşamda farkında olmadan maruz kaldığımız şiddetteki (~ 1 kV/m) elektrik alanların doğrultu, şiddet ve uygulama süresinin kollagen sentezine etkili olduğunu göstermiştir. Çevre elektrik alanlar mertebesindeki ELF elektrik alanların etkisi ile kollagen sentezinin baskılandığını bulgulayan bu çalışma, sürekli etkisinde olduğumuz 50 Hz frekanslı elektrik alanlara şimdilik ödediğimiz bedellerden birini göstermektedir. Çevre alanlara eğer adapte olmayı başarabileceksek, adaptasyon sürecinde başka hangi faturaların ödeneceğini ilerki çalışmalar gösterecektir.



7. ÖZET

Günlük yaşamda farkına varmadan maruz kaldığımız şiddetteki elektrik alanlara farklı sürelerde maruz kalmanın kollagen sentezine etkisi araştırıldı. Elektrik alanların kollagen sentezine etkisi karaciğer dokusunda hidroksiprolin seviyesi belirlenerek saptandı. Bu işlem için Stegemann- Stalder'ın "Hidroksiprolin Tayin Yöntemi" kullanıldı. Dikey doğrultuda 1.35 kV/m şiddetinde 50 Hz frekanslı sinüzoidal elektrik alan toplam 40 adet kobaya günde 9 saat olmak üzere 1 gün, 3 gün, 5 gün ve 7 gün boyunca uygulandı. 15 adet kobay ise elektrik alana maruz bırakılmadan ve fakat aynı şartlarda tutularak kontrol grubunu oluşturdu.

Uygulanan elektrik alanın tüm uygulama süreleri için karaciğer hidroksiprolin miktarını kontrollere oranla istatistiksel anlamda önemli ölçüde azalttığı saptandı.

Ayrıca araştırmada dışarıdan uygulanan 1.35 kV/m'lik elektrik alanların kobay ve insan modellerinde vücut yüzeyi ve içinde oluşturduğu elektrik alan, akım ve akım yoğunluğu değerleri saptandı.

8. SUMMARY

The effects of Extremely Low Frequency (ELF) Electric Field which we are exposed in daily life on collagen synthesis was studied in different exposure periods. The effect was evaluated by assessing the amount of hydroxyproline in the liver tissue. 1.35 kV/m AC electric field with 50 Hz frequency was applied to 40 guinea pigs in 4 different application times being 1 day, 3 days, 5 days and 7 days with daily exposure period of 9 hours. 15 guinea pigs were also kept in the same laboratory conditions and served as control without any electrical field application. At the end of each exposure period liver hydroxyproline contents were determined using Stegemann-Stalder's method.

The applied electric field was found decreased hydroxyproline amount of liver tissues significantly in all of the exposure periods w.r.t the controls suggesting decreased synthesis of collagen under ELF Electric field.

Beside that, theoretical values of electric field, current intensity and current density on the surface and inside of the guinea pigs and human models were calculated.

9. EKLER

9.1. İSTATİSTİK DEĞERLENDİRMELERE AİT BİLGİSAYAR

ÇIKTILARI

tu=tr=tr=πNφ=

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
FACTOR	4	0.589574	0.147393	1315.33	0.000
ERROR	50	0.005603	0.000112		
TOTAL	54	0.595176			

INDIVIDUAL 95 PCT CI'S FOR MEAN
BASED ON POOLED STDEV

LEVEL	N	MEAN	STDEV	
K	15	0.33080	0.01842	(*)
G1	10	0.12450	0.00628	(*)
G2	10	0.10300	0.00585	(*)
G3	10	0.09480	0.00365	(*)
G4	10	0.07940	0.00280	(*)

POOLED STDEV = 0.01059

0.080 0.160 0.240 0.320

MTB) PRINT C1-C5

ROW	K	G1	G2	G3	G4
1	0.348	0.128	0.101	0.098	0.077
2	0.361	0.122	0.114	0.099	0.076
3	0.314	0.121	0.095	0.097	0.079
4	0.294	0.119	0.106	0.097	0.081
5	0.319	0.116	0.102	0.099	0.077
6	0.339	0.135	0.098	0.092	0.082
7	0.341	0.130	0.101	0.094	0.080
8	0.346	0.132	0.103	0.092	0.083
9	0.338	0.121	0.099	0.091	0.083
10	0.297	0.121	0.111	0.089	0.076
11	0.329				
12	0.328				
13	0.341				
14	0.338				
15	0.329				

Data File : Keyboard

Function : RANGE

Error Mean Square = 0.0001120

Error Degrees of Freedom = 50

No. of observations to calculate a mean = 11

Duncan's Multiple Range Test

LSD value = 0.01208

$s_e = 0.003191$ at $\alpha = 0.010$

X

Original Order				Ranked Order			
Mean	1 =	0.3400	A	Mean	1 =	0.3400	A
Mean	2 =	0.1300	B	Mean	2 =	0.1300	B
Mean	3 =	0.1100	C	Mean	3 =	0.1100	C
Mean	4 =	0.1000	C	Mean	4 =	0.1000	C
Mean	5 =	0.08000	D	Mean	5 =	0.08000	D

10. KAYNAKLAR

1. WERTHEIMER, N., LEEPER, E.: Adult Cancer Related to Electrical Wires Near the Home. *Int. J. Epidemiol.*, 11, 345-354. (1982).
2. COGGON, D., PANNETT, B., OSMOND, C., ACHESON, E.D.: A Survey of Cancer and Occupation in Young and Middle Aged Men: II. Non-Respiratory Cancers. *Br. J. Ind. Med.*, 43, 381-386. (1986).
3. EASTERLY, C.E: Residential Exposures to Indoor Air Pollutants could Yield Childhood Leukemia Risk Levels Similar to Those Associated with 60 Hz Magnetic Fields in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", (BLANK, M., ed.), 440-442, San Francisco Press, San Francisco, (1993).
4. ALDRICH, T.E., DRANE, J.W.: Geographic Studies of Cancer Risk Posed by EMF from Electric Power Facilities in "Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields". (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 459-460, Plenum Press, New York and London, (1985).
5. JENSEN, K.J., FOLKERSEN, E.: Exposure Assesment in the Danish Epidemiological Study of Cancer in Children Living Close to HV Installations in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", (MARTIN, B., ed.), 423-425, San Francisco Press, San Francisco, (1993).
6. BARNES, F.S.: Some Engineering Models for Interactions of Electric and Magnetic Fields With Biological Systems. *Bioelectromagnetics*, Suppl. 1, 67-85. (1992).
7. SINGH, S., KARTZ, J.L.: Scientific Basis of Electro-Stimulation. *J. Bioelectricity*, 5, 285-327. (1986).
8. GÜLER, G.: Elektrik Alanın Doku Hidroksiprolin Düzeyine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniv. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyofizik Anabilim Dalı. Ankara (1994).
9. KRAUS J.D : *Electromagnetics*. Third ed., 11-47. McGraw Hill Book Company, New York, (1984).

10. ZAHN, M.: Electromagnetic Field Theory : A Problem Solving Approach, 49-301. Robert E. Krieger Publishing Company, Inc.. Florida. (1987).
11. HOLLIDAY, D., RESNICH, R.: Fundamentals of Physic, Second ed., 419-494. John Wiley & Sons. Inc., Singapore, (1981).
12. WELLNER, M.: Elements of Physics, 319-338, Plenum Press, New York and London, (1991).
13. GIANCOLI, D.C : Physics, Second ed., 353-368, Prentice Hall, Inc., New Jersey. (1985).
14. DUNCAN, T.: Physics, A Textbook for Advanced Level Students, 221-238, John Murray Ltd., London, (1982).
15. KELLER, F.J., GETTYS, W.E, SKOVE, M.J.: Physics, 565-657, McGraw-Hill, Inc., New York, (1995).
16. LUCAS, G.: Transfer Theory for Trapped Electromagnetic Energy, Second ed., 5-52, John Wiley & Sons, Chichester, (1983).
17. CRAWFORD, F.S.: Waves, Berkeley Physics Course, Vol. III, 259-268, McGraw Hill, Inc., New York, (1990).
18. UESS, M.J., BENWELL-MORRISON, D.A.: Nonionizing Radiation Protection, Second ed., 15, WHO Regional Publications, Denmark, (1989).
19. SHEPPARD, A.R., EISENBUD, M.: Biological Effects of Electric and Magnetic Fields of Extremely Low Frequency. 1-30, New York University, New York. (1977).
20. ŞEKER, S., ÇEREZCİ, O.: Elektromagnetik Alanların Biyolojik Etkileri Güvenlik Standartları ve Korunma Yöntemleri, 26-90, Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, İstanbul, (1991).
21. WORLD HEALTH ORGANIZATION: Environmental Health Criteria 35. Extremely Low Frequency (ELF) Fields. 27-70. Printed In Finland, Geneva, (1984).
22. BARNES, F.S.: Interaction of DC Electric Fields with Living Matter in ``CRC Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields``. (POLK, C., POSTOW, E., ed.). 99-199, CRC Press, Boston . (1986).
23. GRANDOLFO, M., VECCHIA, P.: Natural and Man-Made Environmental Exposures to Static and ELF Electromagnetic Fields in ``Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF

- Electromagnetic Fields'', (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 49-70. Plenum Press, New York and London, (1985).
24. REPACHOLI, M.H.: Standards on Static and ELF Electric and Magnetic Fields and Their Scientific Basis in ''Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields'', (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 667-684, Plenum Press, New York and London, (1985).
25. GRANDOLFO, M., REPACHOLI, M.H.: Risk Assessment and Irpa / Inirc Guidelines on Protection Against Electromagnetic Fields and Waves in ''Electricity and Magnetism in Biology and Medicine'', (BLANK, M., ed.), 77-80, San Francisco Press, San Francisco, (1993).
26. BRACKER, T.D.: Experimental Macroscopic Dosimetry for Extremely-Low-Frequency Electric and Magnetic Fields, *Bioelectromagnetics*, Suppl. 1, 15-26. (1992).
27. KAUNE, W.T., FORSYTHE, W.: Current Densities Induced in Swine and Rat Models by Power-Frequency Electric Fields, *Bioelectromagnetics*, 9, 1-24. (1988).
28. MILLER, D.L.: Minature-Probe Measurements of Electric Fields and Currents Induced by a 60 Hz Magnetic Field in Rat and Human Models, *Bioelectromagnetics*, 12, 157-71. (1991).
29. SCHWAN, H.P., PIERSOL, G.M.: The Absorbtion of Electromagnetic Energy in Body Tissues in ''Biological Effects of Electromagnetic Radiation'', (OSEPCHUK, J.M., ed.), 6-22, IEEE Press, New York, (1984).
30. SCHWAN, H.P.: Electrical Properties of Tissue and Cell suspensions in ''Advances in Biological and Medical Physics''. (LAWRENCE, J.H., TOBIAS, C.A., ed.), Vol.5, 147-209 Academic Press, New York, (1957).
31. KAUNE, W.T., MILLER, M.C.: Short-Circuit Currents, Surface Electric Fields, and Axial Current Densities for Guinea Pigs Exposed to ELF Electric Fields, *Bioelectromagnetics*, 5, 361-364. (1984).
32. KAUNE, W.T., PHILLIPS, R.D.: Dosimetry for Extremely Low-Frequency Electric Fields in ''Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields'', (GRANDOLFO,

- M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 145-165. Plenum Press, New York and London, (1983).
33. KAUNE, W.T., PHILLIPS, R.D.: Comparison of the Coupling of Grounded Humans, Swine, and Rats to Vertical 60-Hz Electric Fields, *Bioelectromagnetics*, 1, 117-129. (1980).
34. KAUNE, W.T., PHILLIPS, R.D., HJERESSEN, D.L., RICHARDSON, R.L., BEAMER, J.L.: A Method for the Exposure of Miniature Swine to Vertical 60 Hz Electric Fields, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 25, 276-283. (1978).
35. ANDERSON, L.E., KAUNE, W.T.: Electric and Magnetic Fields at Extremely Low Frequencies in Nonionizing Radiation Protection", (SUESS, M.J., BENWELL-MORISON, D.A., ed.), 175-243, World Health Organization, Copenhagen, (1989).
36. KAUNE, W.T.: Power-Frequency Electric Fields Averaged Over the Body Surfaces of Grounded Humans and Animals, *Bioelectromagnetics*, 2, 403-406. (1981).
37. KAUNE, W.T.: General Properties of the Interaction Between Animals and ELF Electric Fields, *Bioelectromagnetics*, 2, 1-11. (1981).
38. MISAKIAN, M., SHEPPARD, A.S.: Biological, Physical, and Electrical Parameters for In Vitro Studies with ELF Magnetic and Electric Fields: A Primer, *Bioelectromagnetics*, Suppl. 2, 37-67. (1993).
39. MILLER, M.W.: Extremely Low Frequency (ELF) Electric Fields: Experimental Work on Biological Effects in "CRC Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields", (POLK, C., POSTOW, E., ed.), Vol. 3, 139-168, CRC Press, Boston, (1986).
40. BRAMBILLA, R.: Mathematical Models of Bodies Exposed to ELF Fields and Scaling Criteria in "Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields", (GRANDOLFO, M., MICHELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 167-182. Plenum Press, New York and London, (1983).
41. KAUNE, W.T., GUTTMAN, J.L., KAVET, R.: Comparison of Coupling of Humans to Electric and Magnetic Fields with Frequencies Between 100 Hz and 100 kHz, *Bioelectromagnetics*, 18, 67-76. (1997).

42. POLK, C.: Bioelectromagnetic Dosimetry in "Electromagnetic Fields. Biological Interactions and Mechanisms", (BLANK, M., ed.), 57-78. Advances in Chemistry Series 250. Washington, DC, (1995).
43. ASANOVA, T.R., RAKOV, A.M.: The State of Health of Persons Working in the Electric Field of Outdoor 400 kV and 500 kV Switchyards, *Gig. Tr. Prof. Zabol.*, 10, 50-52. (1966).
44. MICHAELSON, M.: Epidemiologic Studies of Persons Exposed to Power Frequency Electric and Magnetic Fields: A Critical Analysis in "Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields", (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 571-605. Plenum Press, New York and London, (1985).
45. SAZANOVA, T.E.: A Physiological Assessment of Work Conditions in 400-500 kV Open Switching Yards in "CRC Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields", (POLK, C., POSTOW, E., ed.), 139-168, CRC Press, Boston. (1986).
46. REVNOVA, N.V., AZANOVA, T.P., SEMENOVSKAYA, N.A.: Effects of the High Intensity Electric Field of Industrial Frequency in "Environmental Health Criteria 35, Extremely Low Frequency (ELF) Fields". (World Health Organization), 71. Printed in Finland, Geneva, (1984).
47. DANILIN, V.A., VORONIN, A.K., MODORSKII, V.A.: The State of Health of Personnel Working in High-Voltage Electric Fields, *Gig. Trud Prof. Zabol.*, 13, 51-52. (1969).
48. FILIPOV, V.: The Influence of Electric Fields on People in "Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields". (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 571-605. Plenum Press, New York and London. (1985).
49. FOLE, F.F., MARTINEZ, F.G., DUTRUS, E.: New Contribution to the Study of Electromagnetic Fields Generated by High Voltages in "Environmental Health Criteria 35, Extremely Low Frequency (ELF) Fields". (World Health Organization), 71. Printed in Finland, Geneva, (1984).
50. FOLE, F.F.: The HVS Effect in Electric Power Substations. *Med. Secur. Trab.*, 21, 15-18. (1973).
51. KRIVOVA, T.I., LUKOVKIN, V.V., SAZANOVA, T.E.: The Influence of an Electric Field of Commercial Frequency and Discharges on the Human Organism in "Biological Effects and

- Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields". (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 571-605. Plenum Press, New York and London, (1985).
52. MALBOYSSON, E.: Medical Control of Men Working within Electromagnetic Fields. Rev. Gen. Ele., Special Issue, 75-80. (1976).
53. ROBERGE, P.F.: Study of the State of Health of Electrical Maintenance Workers on Hydro Quebec's 735 kV Power Transmission System in "Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields", (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A. ed.), 571-605. Plenum Press, New York and London, (1985).
54. KOROBKOVA, V.P., MOROZOV, U.A., STOLYAROV, M.D., YAKUB, Y.A.: Influence of the Electric Field in 500 and 750 kV Switchyards on Maintenance Staff and Means for its Protection in "Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields", (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 345-378, Plenum Press, New York and London, (1985).
55. ISSEL, I., KEMPE, H., SEEBER, A., WOLF, I.: Occupational-Medical and Psychological Examinations on Electrical Fitters Comment on a New Regulation, Dtsch. Gesundheitswes, 32, 1526-1531. (1977).
56. KUPFER, J.I.: Results of Occupational Medical and Psychological Examinations on Electrical Fitters in "Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields", (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 571-605. Plenum Press, New York and London, (1985).
57. NORDSTROM, S., BIRKE, E., GUSTAVSSON, L.: Reproductive Hazards Among Workers at High Voltage Substations. Bioelectromagnetics, 4, 91-102. (1983).
58. BAUCHINGER, M., HAUF, R., SCHMID, E., DRISP, J.: Analysis of Structural Chromosome Changes and SCE after Occupational Long Term Exposure to Electric and Magnetic Fields from 380 kV Systems. Radiat. Environ. Biophys., 19, 235-238. (1981).
59. KORPINEN, L., PARTANEN, J., UUSITALO, A.: Influence of 50 Hz Electric and Magnetic Fields on the Human Heart, Bioelectromagnetics, 14, 329-340. (1993)

60. OHNO, K., MIYATA, N., OHNO, A., NAKAMURA, K., NAKAGAWA, M.: Health Effects of Occupational Exposure to ELF EM Environment in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", (BLANK, M., ed.), 447-448. San Francisco Press, San Francisco, (1993).
61. KHEIFETS, L.I., AFIFI, A.A., BUFFLER, P.A., ZHANG, Z.W.: Occupational Electric and Magnetic Field Exposure and Brain Cancer: A Meta Analysis, JOEM, 37, 1327-1341. (1995).
62. MILHAM, S.: Mortality from Leukemia in Workers Exposed to Electrical and Magnetic Fields, New England J. Medicine, 307, 249. (1982).
63. WRIGHT, W.E., PETERS, J.M., MACK, T.M.: Leukemia in Workers Exposed to Electrical and Magnetic Fields Lancet, 11, 1160-1161. (1982).
64. MCDOWALL, M.E.: Leukemia a Mortality in Electrical Workers in England and Wales, Lancet, 1, 246. (1983).
65. COLEMAN, M., BELL, J., SKEET, R.: Leukemia Incidence in Electrical Workers, Lancet, 1, 982-983. (1983).
66. VAGERO, D., OLIN, R.: Incidence of Cancer in the Electronics Industry Using the New Swedish Cancer Environment Registry as a Screening Instrument, Brit. J. Ind. Med., 40, 188-192. (1983).
67. NAKAGAWA, M., KOANA, T., TOMITA, M., ODAKA, M., OHNO, K.: Estimation of Standardized Mortality Ratios in JNR Chort by Occupation in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", (BLANK, M., ed.), 449-455, San Francisco Press, San Francisco, (1992).
68. MCMILLAN, G.H., PETHYBRIDGE, R.J.: The Health of Welder in Naval Dockyards Propotional Mortality Study of Welders and Two Control Groups, J. Soc. Occup. Med., 33, 75-84. (1983).
69. MAGNANI, C., COGGON, D., OSMOND, C., ACHESON, E.D.: Occupation Five Cancers: A Case Control Study Using Death Certificates, Br. J. Ind. Med., 44, 769-776. (1987).
70. TORNQVIST, S., NORELL, S., AHLBOM, A., KNAVE, B.: Cancer in the Electric Power Industry, Br. J. Ind. Med., 43, 212-213. (1986).

71. SAHL, J.D., KELSH, M.A., GREENLAND, S.: Cohort and Nested Case Control Studies of Hematopoietic Cancers and Brain Cancer Among Electrical Utility Workers. *Epidemiology*, 4, 104-114, (1993).
72. THERIAULT, G., GOLDBERG, M., MILLER, A.B.: Cancer Risks Associated with Occupational Exposure to Magnetic Fields Among Electric Utility Workers in Ontario and Quebec, Canada and France: 1970-1989, *Am. J. Epidemiol.*, 139, 550-572. (1994).
73. SOBEL, E., DAVNAIPOUR, Z., SULKAVA, R., ERKINJUNTTI, T., WIKSTROM, J., HENDERSON, V.W., BUCKWALTER, G., BOWMAN, J.D., LEE, P.: Occupations with Exposure to Electromagnetic Fields: A Possible Risk Factor for Alzheimer's Disease, *Am. J. Epidemiol.*, 142, 515-524, (1995).
74. ANDERSON, L.E., PHILLIPS, R.D.: Biological Effects of Electric Fields An Overview in "Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields", (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 345-366, Plenum Press, New York and London, (1985).
75. KNAVE, B.G., TORNQVIST, S.G.: Epidemiological Studies on Effects of Exposure to ELF Electromagnetic Fields in "Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields". (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 607-619, Plenum Press, New York and London, (1985).
76. HAUF, R.: Hematological and Biochemical Effects of ELF Fields in Man-Laboratory Experiments in "Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields", (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.) , 525-537, Plenum Press, New York and London, (1985).
77. HAUF, R., WIESINGER, J.: Biological Effects of Technical Electric and Electromagnetic VLF Fields, *Int. J. Biometeor.*, 17, 213-215. (1973).
78. JOHANSSON, R., LUNDQVIST, A.G., LUNDQVIST, S., SCUKA, V.: Is There a Connection Between the Electricity in the Atmosphere and the Function of Man? in "Biological Effects of

- Electric and Magnetic Fields of Extremely Low Frequency”, (SHEPPARD, A.R., EISENBUD, M., ed.), 15-21, New York Press, New York, (1977).
79. BEISCHER, D.E., GRISSETT, J.D., MITCHELL, R.E.: Exposure of Man to Magnetic Fields Alternating at Extremely Low Frequency in “Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields”, (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 571-605, Plenum Press, New York and London, (1985).
80. ADEY, W.R.: Tissue Interactions with Nonionizing Electromagnetic Fields, *Physiological Reviews*, 61, 435-514. (1981).
81. COOK, M.R., GRAHAM, C., COHEN, H.D., GERKOVICH, M.M.: A Replication Study of Human Exposure to 60 Hz Fields: Effects on Neurobehavioral Measures. *Bioelectromagnetics*, 13, 261-285. (1992).
82. KORPINEN, L., PARTANEN, J.: Influence of 50 Hz Electric and Magnetic Fields on the Pulse Rate of Human Heart, *Bioelectromagnetics*, 15, 503-512. (1994).
83. GRAHAM, C., COOK, M.R., COHEN, H.D., GERKOVICH, M.M.: Dose Response Study of Human Exposure to 60 Hz Electric and Magnetic Fields, *Bioelectromagnetics*, 15, 447-463. (1994).
84. LEBARS, H., ANDRE, G.: Biological Effects of an Electric Field on Rats and Rabbits, *Rev. Gen. Electr., Numero special (juillet)*, 91-97. (1976).
85. MARINO, A.A., BECKER, R.O.: Biological Effects of Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields: A Review. *Physiol. Chem. Phys.*, 9, 131-147. (1977).
86. KRUEGER, A.P., REED, E.J.: A Study of the Biological Effects of Certain ELF Electromagnetic Fields, *Int. J. Biometeor.*, 19, 194-201. (1975).
87. PHILLIPS, R.D., ANDERSON, L.E., KAUNE, W.T.: Biological Effects of 60-Hz electric Fields on Small Laboratory Animals in “Nonionizing Radiation Protection.” (SUESS, M.), 175-243, WHO Regional Publications, Denmark (1989)
88. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N.: Collagen Synthesis in Lung and Kidney Tissues Under ELF Electric Fields, *Medical & Biological Engineering & Computing*, Suppl. 1, 46. (1997).

89. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., BOR, V., ÇEVİK, C.: Functional Enzymes of Liver. Total Blood Protein and Albumin Levels Under Electric Fields. *Medical & Biological Engineering & Computing, Suppl. 1*, 45. (1997) .
90. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., YETMEZ, M. : ELF Electric Field Effect on Bone Tissue, *Medical & Biological Engineering & Computing, Suppl. 1*, 42. (1997).
91. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., ALTAN, N.: Is It Possible to Inhibit the Effect of Free Radicals with Electric Fields ?. *Medical & Biological Engineering & Computing, Suppl. 1*, 46. (1997).
92. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., ÖZOĞUL, C., ERDOĞAN, D.: Biochemical and Structural Approach to Collagen Synthesis Under Electric Fields, *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, NICE, 14-19 September* , 38. (1997).
93. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., GÖNÜL, G., KOZ, M.: Adrenal Bez ve Karaciğer Dokularında Radikal Oluşumuna Elektrik Alanların Etkisi, *IX. Ulusal Biyofizik Kongresi, Ankara, 5-6 Eylül, Bildiri Özetleri*, 74. (1997).
94. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N.: Changes in Hydroxyproline Levels in Electric Field Tissue Interaction, *Indian Journal Of Biochemistry and Biophysics* , 33, 531-533. (1996).
95. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N.: The Effect of Vertical and Horizontal Electric Fields on Collagen Synthesis , *Progress in Biophysics & Molecular Biology*, 65 , Suppl.1 , 215. (1996).
96. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., ALTAN, N., GÖNÜL, B., ÇEVİK, C.: Tissue Response to Electric Fields with Different Intensities and Directions . *Progress in Biophysics & Molecular Biology* , 65 , Suppl.1 , 215. (1996).
97. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., ÖZOĞUL, C., ERDOĞAN, D.: Biochemical and Structural Approach to Collagen Synthesis Under Electric Fields . *Gen. Physiol. Biophys.*, 15, 429-440. (1996).
98. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N.: "Protein Sentezinin Elektrik Alan Altında İncelenmesi: Spektrofotometrik Analiz" Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu (AFS) Projesi Kesin Raporu. TF.01/95-4, (1996).

99. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., ÖZOĞUL, C., ERDOĞAN, D.: Dokuların Yapısal Değişiminde DC Elektrik Alan Etkisi, VIII. Ulusal Biyofizik Kongresi, Gebze/Kocaeli, 26-28 Eylül, Özet Kitapçığı, 32. (1996).
100. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., ÖMEROĞLU, S., ERDOĞAN, D.: Alternatif Elektrik Alanların Kemik Dokusuna Etkisi : Histolojik İnceleme , VIII. Ulusal Biyofizik Kongresi, Gebze/Kocaeli, 26-28 Eylül, Özet Kitapçığı, 25. (1996).
101. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., BOR, V., ÇEVİK, C.: Elektrik Alanın Kan Total Proteini, ALP, ALT, GGT ve Albümin Üzerine Etkisi, VIII. Ulusal Biyofizik Kongresi, Gebze/Kocaeli, 26-28 Eylül, Özet Kitapçığı, 34. (1996).
102. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., BOR, V., ÇEVİK, C.: Elektrik Alanların Kan Kalsiyum, Klor ve Fosfor Seviyesine Etkisi , VIII. Ulusal Biyofizik Kongresi, Gebze/Kocaeli, 26-28 Eylül, Özet Kitapçığı, 23. (1996).
103. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N.: The Interaction of Electric Field with Biological Systems I: Liver Hydroxyproline, Gazi Medical Journal, 6, 125-129. (1995).
104. DİNÇER, S., KOZ, M., ÖZ, E., GÖNÜL, B., GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N.: Dikey ve Yatay Doğrultularda Elektrik Alan Uygulamasının Kobaylarda Adrenal Bez Askorbik Asit ve Malondialdehit Düzeylerine Etkisi, Optimal Tıp Dergisi, 8, 135-138, (1995).
105. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N.: "Elektrik Alanın Doku Hidroksiprolin Seviyesine Etkisi" Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu (AFS) Projesi Kesin Raporu, SBE.11/94-12. (1995).
106. DİNÇER, S., KOZ, M., ÖZ, E., GÖNÜL, B., GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N.: Elektrik Alan Uygulamasının Böbreküstü Bezi Askorbik Asit ve Malondialdehit Düzeyleri Üzerine Etkisi, Türk Fizyolojik Bilimler Derneği 21. Ulusal Kongresi, Ankara, 24-28 Eylül, Bildiri Özetleri, 124. (1995).
107. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N.: Çevremizde Maruz Kaldığımız Elektrik Alanlar Protein Sentezini Etkiler mi ? Türk Fizyolojik Bilimler Derneği 21. Ulusal Kongresi, Ankara, 24-28 Eylül, Bildiri Özetleri, 125. (1995).

108. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., ALTAN, N., YAVUZ, Ö.: Süperoksit Dismutaz Aktivitesini artırmada Yeni Bir Etken : Elektrik Alanlar. Türk Fizyolojik Bilimler Derneği 21. Ulusal Kongresi, Ankara. 24-28 Eylül, Bildiri Özetleri . 126. (1995).
109. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., DİNÇER, S., KOZ, M., GÖNÜL, B.: DC Elektrik Alanların Protein Sentezi, Radikal Oluşumu ve Askorbik Asit Düzeyine Etkisi. VII. Ulusal Biyofizik Kongresi, Adana, 11-13 Ekim, Bildiri Özetleri, 16. (1995).
110. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., ÇEVİK, C., ELMALI E.: Farklı Şiddet ve Doğrultulardaki Elektrik Alanların Biyolojik Sistemler Üzerine Etkisi, VII. Ulusal Biyofizik kongresi, Adana, 11-13 Ekim, Bildiri Özetleri, 42. (1995).
111. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N.: A New Approach for Altering Superoxide Dismutase Activity: Electric Field Exposure, International Congress on Free Radicals in Health and Disease, İstanbul, 6-10 September. 17. (1995).
112. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N.: Elektrik Alan-Kollagen Sentezi Etkileşimi. VII. Ulusal Biyofizik Kongresi, Adana, 11-13 Ekim, Bildiri Özetleri, 44. (1995).
113. GÜLER, G., CANSEVEN, A., ATALAY SEYHAN, N.: DC Electric Field Effect on Tissue Hydroxyproline Level . Physics in Medicine & Biology . 39 a, 767. (1994).
114. GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N., KOZ, M., GÖNÜL, G.: Elektrik Alanın Böbreküstü Bezi MDA Seviyesine Etkisi, Türkiye Tıp Dergisi, 1 , 161-167. (1994).
115. ATALAY SEYHAN, N., GÜLER, G., KOZ, M., GÖNÜL, G.: Elektrik Alanın Böbreküstü Bezi MDA Seviyesine Etkisi , VI. Ulusal Biyofizik Kongresi, Silivri/İstanbul, 28-30 Eylül, Bildiri Özetleri, 35. (1994).
116. ATALAY SEYHAN, N., GÜLER, G.: Elektrik Alan Doku Etkileşimi : Vektörel Alanların Akciğer Dokusu Hidroksiprolin Miktarına Etkisi. VI. Ulusal Biyofizik Kongresi, Silivri/İstanbul, 28-30 Eylül, Bildiri Özetleri, 64. (1994).
117. ATALAY SEYHAN N.: Does Electric Field Effect Collagen Synthesis in Tissue ?. Gazi Medical Journal. 6, 1-6. (1995).

118. CANSEVEN, A.G., ATALAY SEYHAN, N.: Is It Possible to Trigger the Collagen Synthesis by Electric Current in Skin Wounds?. *Indian J. Biochem. Biophys.*, 33, 223-227. (1996).
119. CANSEVEN, A.G., ATALAY SEYHAN, N.: Yara İyileşmesinde Kollagen Sentezi-Elektrik Akımı Etkileşimi. *Türkiye Tıp Dergisi*, 2, 71-77. (1995).
120. CANSEVEN, A.G., ATALAY SEYHAN N., ALAN, G., ERDOĞAN, D.: Structural Changes in Skin with the Effect of Low Intensity Direct Current (LIDC) , *Physics in Medicine & Biology*, 39a, 235. (1994).
121. CANSEVEN, A.G., GÜLER, G., ATALAY SEYHAN, N.: Biochemical Changes in Skin with the Effect of Low Intensity Direct Current (LIDC). *Physics in Medicine & Biology*, 39a, 767. (1994).
122. CANSEVEN, A.G., ATALAY SEYHAN, N.: Düşük Şiddete Sabit Doğru Akımın Yara Dokusu Hidroksiprolin Seviyesine Etkisi. VI. Ulusal Biyofizik Kongresi, Silivri/İstanbul. Bildiri Özetleri. 36. (1994).
123. CANSEVEN, A.G., ALAN, G., ATALAY SEYHAN, N., ERDOĞAN, D.: Structural and Biochemical Changes in Skin with the Effect of Low Intensity Direct Current (LIDC). Joint Meeting The Wound Healing Society & European Tissue Repair Society, Amsterdam , Netherland. Proceed., 132. (1993).
124. CANSEVEN, A.G., ATALAY SEYHAN, N.: Low Intensity Direct Current Effect on Collagen Synthesis in Wound Healing. 11th International Biophysics Congress. Budapest, Hungary. Proceed. 233. (1993).
125. CANSEVEN, A.G.:Düşük Şiddetli Sabit Akımların Yara Kollagen Sentezine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniv. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Biyofizik Anabilim Dalı. Ankara. (1993).
126. KROPINSKI, A.M., MORRIS W.C. SCZEWCZUK M.R.: Sinusoidal 60 Hz Electromagnetic Fields Failed to Induce Changes in Protein Synthesis in Escherichia Coli. *Bioelectromagnetics*, 15, 283-291. (1994).

127. ATALAY, N., AYDIN, G., PAMUK, F.: The Effects of Alternating Current on Bacterial Growth. IEEE / VIII Annual Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society Proceeding . CH2368-9 / 86 / 00, 1398-1399. (1986).
128. ATALAY, N., ÇELİK, S.: The Effect of Direct Current on Bacterial Growth , Medical and Biological Engineering and Computing , 23 , Supp.1, 100-101. (1985).
129. ATALAY, N.: Doğru Akım, Alternatif Akım ve Magnetik Alanın Bakteri Üremesine Etkilerinin Şiddet ve Frekansa Göre İncelenmesi, Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Biyofizik Bilim Dalı, Diyarbakır (1983).
130. DUTTA, S.K., VERMA, M., BLACKMAN, C.F.: Frequency Dependent Alterations in Enolase Activity in Escherichia Coli Caused by Exposure to Electric and Magnetic Fields. Bioelectromagnetics, 15, 377-383. (1994).
131. ANDERSON, L.E, PHILLIPS, R.D.: Biological Effects of Electric Fields: An Overview in "Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields", (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 345-378, Plenum Press, New York and London, (1985).
132. BYUS, C.V., PIEPER, S.E., ADEY, W.R.: The Effects of Low Energy 60 Hz Environmental Electromagnetic Fields. Carcinogenesis. 8. 1385-1389. (1987).
133. DEBRUYN, L., DELAGER, L., DEWET, J.I: Can a Low Level Electric Field Induce Stress in Mice? in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine". (BLANK, M., ed.), 828-830, San Francisco Press. San Francisco, (1993).
134. CONTI, R., PREVI, A., MARGONATO, V., VEICSTEINAS, A.: Progress on the Research Carried Out in Italy by ENEL on the Effects of High Intensity 50 Hz Electric Fields in "Environmental Health Criteria 35. Extremely Low Frequency (ELF) Fields". (World Health Organization), 50-71. Printed in Finland, Geneva, (1984).
135. CERRETELLI, P., MALAGUTI, C.: Research Carried Out in Italy by ENEL on the Effects of High-Voltage Electric Fields. Rev. Gen. Electr., Numero special (juillet), 65-74. (1976).

136. MARINO, A.A., BERGER, T.J., MITCHELL, J.T., DUHACEK, B.A., BECKER, R.: Electric Field Effects in Selected Biologic Systems. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 405, 436-444. (1983).
137. MARGONATO, V., VEICSTEINAS, A., CONTI, R., NICOLINI, P., CERRETELLI, P.: Biologic Effects of Prolonged Exposure to ELF Electrmagnetic Fields in Rats I. 50 Hz Electric Fields. *Bioelectromagnetics*, 14, 479-493. (1993).
138. BAWIN, S.M., ADEY, W.R.: Sensitivity of Calcium Binding in Cerebral Tissue to Weak Environmental Electric Fields Oscillating at Low Frequency, *Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 78, 1999. (1976).
139. BLACKMAN, C.F., BENANE, S.G., KINNEY, L.S., JOUNES, W.T., HOUSE, D.E.: Effects of ELF Fields on Calcium-Ion efflux From Brain Tissue in Vitro. *Radiat. Res.*, 92, 510-520. (1982).
140. GAVALAS-MEDICI, R.J., DAY-MAGDALENO, S.R.: Extremely Low Frequency, Weak Electric Fields Affect Schedule-Controlled Behaviour of Monkeys. *Nature*. 261, 256-259. (1976).
141. GAVALAS-MEDICI, R.J., BAWIN, S.M., ADEY, W.R.: Effects of Modulated Very High Frequency Fields on Specific Brain Rhythms in Cats, *Brain Res.*, 58, 365-384. (1973).
142. GAVALAS-MEDICI, R.J., WALTER D.O.: Effect of Low Level, Low Frequency Electric Fields on EEG and Behavior in *Macaca Nemestrina*, *Brain Res.*, 18, 491-501. (1970).
143. KACZMAREK, L.K., ADEY, W.R.: Weak Electric Gradients Change Ionic and Transmitter Fluxes in Cortex, *Brain Res.*, 66, 537-540. (1974).
144. CALLAHAN, D.E., LIBURDY, R.P., MAESTRE, M. F.: Single Cell Techniques for Monitoring the Effects of ELF Fields: Fluorescence Microscopy Approaches for Real Time Analysis of Early Signal Transduction Events in Living Cells in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine". (BLANK, M., ed.), 328-330, San Francisco Press, San Francisco, (1993).
145. LYLE, D.B., DOSHI, J., FUCHS, T.A., CASAMENTO, J.P., SEI, Y., ARORA, Y.S., SWICORD, M.L.: Intracellular Calcium Signaling in Jurkat E6-1 Cells Exposed to an Induced 1 mV/cm. 60 Hz Sinusoidal Electric Field in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine". (BLANK, M., ed.), 307-308, San Francisco Press, San Francisco. (1993).

- 146.** SONTAG, W.: Action of Extremely Low Frequency Electric Fields on the Cytosolic Calcium Concentration of Differentiated HL-60 Cells: Nonactivated Cells. *Bioelectromagnetics*, 19, 32-40. (1988).
- 147.** WALLECZEK, J., LIBURDY, R.P.: Nonthermal 60 Hz Sinusoidal Magnetic-Field Exposure Enhances $^{45}\text{Ca}^{2+}$ Uptake in Rat Thymocytes: Dependence on Mitogen Activation, *FEBS*, 271, 157-160. (1990).
- 148.** LIBURDY, R.P., CALLAHAN, D.E., HARLAND, J., DUNHAM, E., SLOMA, T.R., YASWEN, P.: Experimental Evidence for 60 Hz Magnetic Fields Operating Through the Signal Transduction Cascade, Effects on Calcium Influx and c-MYCmRNA Induction, *FEBS*, 334, 301-308. (1993).
- 149.** LEE, J., STORMSHAK, F., THOMPSON, J., THINESEN, P., PAINTER, L., OLENCHEK, B., HESS, D., FORBES, R.: Endocrine Responses of Ewe Lams Exposed to 60 Hz Electric and Magnetic Fields from a 500 kV Transmission Line in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", (BLANK, M., ed.), 401-404, San Francisco Press, San Francisco, (1993).
- 150.** WILSON, B.M., ANDERSON, L.E., HILTON, D.T., PHILLIPS, R.D.: Chronic Exposure to 60 Hz Electric Fields Effects on Pineal Function in the Rat *Bioelectromagnetics*, 2, 371-380. (1981).
- 151.** REITER, R.J., ANDERSON, L.E., BUSCHOM, R.L., WILSON, B.W.: Reduction of the Nocturnal Rise in Pineal Melatonin Levels in Rats Exposed to 60 Hz Electric Fields in Utero and for 23 Days after Birth, *Life Sci.*, 42, 2203-2206. (1988).
- 152.** REITER, R.J.: Static and Extremely Low Frequency Electromagnetic Field Exposure: Reported Effects on the Circadian Production of Melatonin. *J. Cellular Biochem.*, 51, 394-403. (1993).
- 153.** WILSON, B.W., STEVENS, R.G., ANDERSON, L.E.: Neuroendocrine Mediated Effects of Electromagnetic Field Exposure: Possible Role of the Pineal Gland. *Life Sci.*, 45, 1319-1332. (1989).
- 154.** WILSON, B.W., CHESS, E.K., ANDERSON, L.E.: 60 Hz Electric Field Effects on Pineal Melatonin Rhythms: Time Course of Onset and Recovery. *Bioelectromagnetics*, 7, 239-242. (1986).

155. ROGERS, W.R., REITER, R.J., SMITH, H.D., BARLOW-WALDEN, L.: Rapid Onset/ Offset. Variably Scheduled 60 Hz Electric and Magnetic Field Exposure Reduces Nocturnal Serum Melatonin Concentration in Nonhuman Primates, *Bioelectromagnetics*, Suppl. 3, 119-122. (1995).
156. ROGERS, W.R., ORR, J.L., REITER, R.J.: 60 Hz Electric and Magnetic Fields and Primate Melatonin in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", (BLANK, M., ed.), 393-395, San Francisco Press, San Francisco, (1993).
157. LYMANGROVER, J.R., KEKU, E. SETO, Y.: 60 Hz Electric Field Alters the Steroidogenic Response of Rat Adrenal Tissue. *In Vitro, Life Sci.*, 32, 691-696. (1983).
158. ZECCA, L., FERRARIO, P., MARGONATO, V., CERRETELLI, P., ZONTA, N.: Neurotransmitter Amino Acid Variations in Striatum of Rats Exposed to 50 Hz Electric Fields, *Biochim. Biophys. Acta.*, 1075, 1-5. (1991).
159. HOLIAN, O., ASTUMIAN, R.D., LEE, R.C., REYES, H.M., ATTAR, B.M., WALTER, R.J.: Protein Kinase C Activity Is Altered in HL60 Cells Exposed to 60 Hz AC Electric Fields, *Bioelectromagnetics*, 17, 504-509. (1996).
160. MCCOY, S.L., HEFENEIDER, S.H., OGDEN, B.E., HALL, A.S.: Effect of 60 Hz. Electric and Magnetic Fields from a 500 kV Transmission Line on Interleukin 1 Production and Antibody Response by Ewe Lbs in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", (BLANK, M., ed.), 633-634, San Francisco Press, San Francisco. (1993).
161. COSSARIZZA, A., CAPRI, M., SALVIOLI, S., MONTI, D., FRANCESHI, C., BERSANI, F., CADOSSO, R., ZUCCHINI, P., ANGIONI, S., PETRAGLIA, F., SCARFI, M.R.: Electromagnetic Fields Affect Cell Proliferation and Cytokine Production in Human Cells in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", (BLANK, M., ed.), 640-642, San Francisco Press, San Francisco. (1993).
162. LIBURDY, R.P., CALLAHAN, D.E., HARLAND, J.D.: Protein Sheedding and ELF Magnetic Fields: Antibody Binding at the CD3 and CD20 Receptor Sites of Human Lymphocytes in

- "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", (BLANK, M., ed.), 651-653. San Francisco Press, San Francisco. (1993).
- 163.** YOUBICIER, B.J., BOUDARD, F., CABANER, C., BASTIDE, M.: Biological Effects of Continuous Exposure of Embryos and Young Chickens to Electromagnetic Fields Emitted by Video Display Units, *Bioelectromagnetics*, 18, 514-523. (1997).
- 164.** CARTER, J.H., GRAVES, H.B.: Effects of High Intensity AC Electric Fields on the Electroencephalogram and Electrocardiogram of Domestic Chicks: Literature Review and Experimental Results in "Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields", (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 345-378, Plenum Press New York and London. (1985).
- 165.** HANSSON, H.A.: Lamellar Bodies in Purkinje Nerve Cells Experimentally Induced by Electric Field, *Brain Res.*, 216, 187-191. (1981).
- 166.** HANSSON, H.A.: Purkinje Nerve Cell Changes Caused by Electric Fields: Ultrastructural Studies on Long Term Effects on Rabbits, *Med. Biol.*, 59,103-110. (1981)
- 167.** JAFFE, R.A., LASZEWSKI, B.L., CARR, D.B.: Chronic Exposure to a 60 Hz Electric Field: Effects on Neuromuscular Function in the Rat, *Bioelectromagnetics*, 2, 227-239. (1981).
- 168.** JAFFE, R.A., LASZEWSKI, B.L., CARR, D.B., PHILLIPS, R.D.: Chronic Exposure to a 60 Hz Electric Field: Effects on Synaptic Transmission and Peripheral Nerve Function in the Rat. *Bioelectromagnetics*, 1, 131-147. (1980).
- 169.** MARINO, A.A., BERGER, T.J., AUSTIN, B.P., BECKER, R.O.: Evaluation of Electrochemical Information Transfer System. I. Effect of Electric Fields on Living Organisms, *J. Electrochem. Soc.*, 123, 1199-1200. (1976).
- 170.** SETO, Y.J., LYMAN-GROVER, J.R., DUNLAP, W.P., HSIEH, S.T., MAJEAU-CHARGOIS, D.: Some Endocrine Effects on Rats with Chronic Exposure to 80 kV/m Field for Three Generations in "Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields", (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A. ed.), 345-378, Plenum Press, New York and London, (1985).

171. FREE, M.J., KAUNE, W.T., PHILIPS, R.D., CHENG, H.C.: Endocrinological Effects of Strong 60 Hz Electric Fields on Rats. *Bioelectromagnetic Fields on Rats Bioelectromagnetics*, 2, 105-121. (1981).
172. JAFFE, R.A., LASZEWSKI, B.L., CARR, D.B., PHILLIPS, R.D.: Chronic Exposure to a 60 Hz Electric Field: Effects on Synaptic Transmission and Peripheral Nerve Function in the Rat. *Bioelectromagnetics*, 1, 131. (1980).
173. ROSENBERG, R.S., DUFFY, P.H., SACHER, G.A., EHRET, C.F.: Relationship Between Field Strength and Arousal Response in Mice Exposed to 60 Hz Electric Fields. *Bioelectromagnetics*, 4, 181-191. (1983).
174. FREEMAN, J.A., MANIS, P.B., SNIPES, G.J., MAYES, B.N., SAMSON, P.C: Steady Growth Cone Currents Revealed by a Novel Circularly Vibrating Probe, *J. Neurosci. Res.*, 13, 257-283. (1985).
175. HINKLE, L., MCCAIG, C.D., ROBINSON, K.R.: The Direction of Growth of Differentiating Neurons and Myoblasts from Frog Embryos in an Applied Electric Field, *J. Physiol. Lond.*, 314, 121-135. (1981).
176. POLK, C.: Therapeutic Applications of Low Frequency Electric and Magnetic Fields in "Electromagnetic Fields in Living Systems", (LIN, J.C.,ed.). 129-153, Plenum Press, New York. (1994).
177. ITO, H., BASSETT, C.A.L.: Effect of Weak, Pulsing Electromagnetic Fields on Neural Regeneration in the Rat, *Clin. Orth.*, 181, 283-290. (1983).
178. GOODMAN, R., HENDERSON, S.A.: Transcription and Translation in Cells Exposed to Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 25, 335-355. (1991).
179. HANSSON, H.: Lamellar Bodies in Purkinje Nerve Cells Experimentally Induced by Electric Field. *Brain Res.*, 216, 187-191. (1981).
180. CEVC, G., SVETINA, S., ZEKS, B: Electrostatic Potential of Bilayer Lipid Membranes with the Structural Surface Charge Smeared Perpendicular to the Membrane Solution Interface. An

- Extension of the Gouy Chapman Diffuse Double Layer Theory, *J. Phys. Chem.*, 85, 1762-1767. (1981).
- 181.** SEVSEK, F., SUKHAREV, S., SVETINA, S., ZEKS, B.: The Shapes of Phospholipid Vesicles in Electric Field as Determined by Video Microscopy, *Bioelectromagnetics*, 13, 143-146. (1990).
- 182.** ZECCA, L., MANTEGAZZA, C., MARGONATO, V., CERRETELLI, P., CANIATTI, M., PIVA, F., DONDI, D., HAGINO, N.: Biological Effects of Prolonged Exposure to ELF Electromagnetic Fields in Rats: III. 50 Hz Electromagnetic Fields, *Bioelectromagnetics*, 19, 57-66. (1988).
- 183.** BLANK, M., SOO, L., LIN, H., GOODMAN, R., HENDERSON, A.S.: Stimulation of Transcription in HL-60 Cells by Alternating Currents from Electric Fields in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine". (BLANK, M., ed.), 516-518, San Francisco Press, San Francisco, (1993).
- 184.** SCARFI, M.R., ZENI, O., FRANCESCHETTI, G., D'AMBROSIO, G., MASSA, R., CADOSSO, A., COSSARIZZA, A., MONTI, D., FRANCESCHI, C., LIOI, M.B., BERSANI, F.: Genotoxic Effects of 50 Hz Electromagnetic Fields in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", (BLANK, M., ed.), 654-656. San Francisco Press, San Francisco, (1993).
- 185.** RODAN, G., BOURRET, L.A., NORTON, L.A.: DNA Synthesis in Cartilage Cells is Stimulated by Oscillating Electric Fields. *Science*, 199, 690-692. (1978).
- 186.** GOLDMAN, R., POLLACK, S.: Electric Fields and Proliferation in a Chronic Wound Model. *Bioelectromagnetics*, 17, 450-457. (1996).
- 187.** SILNEY, J.: Effects of Electric Fields on the Human Organism in "Environmental Health Criteria 35. Extremely Low Frequency (ELF) Fields". (World Health Organization), 50-71. Printed in Finland. Geneva. (1984).
- 188.** COELHO, A.M., ROGERS, W.R., EASLY, S.P.: Effects of Concurrent Exposure to 60 Hz Electric and Magnetic Fields on the Social Behavior of Baboons, *Bioelectromagnetics*, Suppl. 3, 71-92. (1995).

189. COELHO, A.M., EASLEY, S.P., ROGERS, W.R.: Effects of Exposure to 30 kV/m Electric Fields on the Social Behavior of Baboons. *Bioelectromagnetics*, 12, 117-135. (1991).
190. EASLEY, S.P., COELHO, A.M., ROGERS, W.R.: Effects of Exposure to 60 kV/m Electric Fields on the Social Behavior of Baboons. *Bioelectromagnetics*, 12, 361-375. (1991).
191. ENGELMANN, W., HELLRUNG, W., JOHNSON, A.: Circadian Locomotor Activity of *Musca* Flies: Recording Method and Effects of 10 Hz Square Wave Electric Fields. *Bioelectromagnetics*, 17, 100-110. (1996).
192. EASLEY, S.P., COELHO, A.M., ROGERS, W.R.: Effects of a 30 kV/m, 60 Hz Electric Field on the Social Behavior of Baboons A Crossover Experiment, *Bioelectromagnetics*, 13, 395-400. (1992).
193. MOOS, W.S.: A Preliminary Report on the Effects of Electric Fields on Mice. *Aerosp. Med.*, 35, 374-377. (1964).
194. GREENBERG, B., BINDOKAS, V.B., GAUGER, J.R.: Biological Effects of a 765-kV Transmission Line: Exposures and Thresholds in Honeybee Colonies. *Bioelectromagnetics*, 2, 315-328. (1981).
195. GRAVES, H.B.: Some Biological Effects of High Intensity Low Frequency (60 Hz) Electric Fields on Small Birds and Mammals in "Biological Effects and Dosimetry of static and ELF Electromagnetic Fields", (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 345-378, Plenum Press, New York and London. (1985).
196. STERN, S., LATIES, V.G., STANCAMPIANO, C. V., COX, C., DELORGE, J.O.: Detection of 60 Hz Electric Fields by Rats. *Bioelectromagnetics*, 4, 215-247. (1983).
197. GRAVES, H.B., CARTER, J.H., KELLMEL, D., COOPER, L.: Perceptibility and Electrophysiological Response of Small Birds to Intense 60 Hz Electric Fields. *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, PAS-97, 1070-1073. (1978).
198. ROSENBERG, R.S., DUFFY, P.H., SACHER, G.A., EHRET, C.F.: Relationship Between Field Strength and Arousal Response in Mice Exposed to 60-Hz Electric Fields, *Bioelectromagnetics*, 4, 181-191. (1983).

- 199.** PHILLIPS, R.D.: Biological Effects of 60 Hz Electric Fields on Small and Large Animals in "Biological Effects and Dosimetry of Static and ELF Electromagnetic Fields", (GRANDOLFO, M., MICHAELSON, S.M., RINDI, A., ed.), 345-378. Plenum Press, New York and London. (1985).
- 200.** DELORGE, J.: Operant Behavior of Rhesus Monkeys in the Presence of Extremely Low Frequency-Low Intensity Magnetic and Electric Fields: Experiment 1 in "Nonionizing Radiation Protection", (SUESS, M.J., BENWELL-MORISON, D.A., ed.), Second Ed., 175-243. WHO Regional Publications, Denmark, (1989).
- 201.** DELORGE, J.: Operant Behavior of Rhesus Monkeys in the Presence of Extremely Low Frequency-Low Intensity Magnetic and Electric Fields: Experiment 2 in "Nonionizing Radiation Protection", (SUESS, M.J., BENWELL-MORISON, D.A., ed.), Second Edition, 175-243, WHO Regional Publications, Denmark, (1989).
- 202.** DELORGE, J.: Operant Behavior of Rhesus Monkeys in the Presence of Extremely Low Frequency-Low Intensity Magnetic and Electric Fields: Experiment 3 in "Nonionizing Radiation Protection", (SUESS, M.J., BENWELL-MORISON, D.A., ed.), Second Edition, 175-243. WHO Regional Publications, Denmark, (1989).
- 203.** BANKOSKE, J.W., MCKEE, G.W., GRAVES, H.B.: Ecological Influence of Electric Fields in "Environmental Health Criteria 35, Extremely Low Frequency (ELF) Fields", (World Health Organization), 50-71, Printed in Finland, Geneva, (1984).
- 204.** MARINO, A.A., BECKER, R.O., ULLRICH, B.: The Effect of Continuous Exposure to Low Frequency Electric Fields on Three Generations of Mice: A Pilot Study, *Experientia*, 32, 565-566. (1976).
- 205.** MARINO, A.A., REICHMANS, M., BECKER, R.O., ULLRICH, B., CULLEN, J.M.: Power Frequency Electric Field Induces Biological Changes in Successive Generations of Mice. *Experientia*, 36, 309-311. (1980).

- 206.** KNICKERBOCKER, G.G., KOUWENHOVEN, W.B., BARNES, H.C.: Exposure of Mice to a Strong AC Electric Fields: An Experimental Study. *IEEE Trans. Power Appl. Syst., PAS-86*, 498-505. (1967).
- 207.** DEJAGER, L., DEBRUYN, L.: Effects of 50 Hz Electric Fields on the Life Expectancy of Mice in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine". (BLANK, M.,ed.), 833-834. San Francisco Press, San Francisco, (1993).
- 208.** MOOS, W.S.: A Preliminary Report on the Effects of Electric Fields on Mice, *Aerospace. Med.*, 35, 374-377. (1964).
- 209.** GREENBERG, B., BINDOKAS, V.P. GAUGER, J.R.: Biological Effects of a 765-KV Transmission Line: Exposure and Thresholds in Honeybee Colonies. *Bioelectromagnetics*, 2, 315. (1981).
- 210.** HILL, S.D., BEAVER, D.L., LEDERLE, P.E., HERMAN, D.L.: An Investigation of the Effect of ELF Electromagnetic Radiation on Embryological Development in Free Living Tree Swallows in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine". (BLANK, M., ed.), 347-348. San Francisco Press, San Francisco, (1993).
- 211.** DEJAGER, L., HAMLET, D.K., DEBRUYN, L.: Epididymal Sperm Counts in Mice Exposed to a 10 kV/m Electric Field in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", (BLANK, M.,ed.), 831-832, San Francisco Press, San Francisco, (1993).
- 212.** KAUNE, W.T., PHILLIPS, R.D., HJERESSEN, D.L., RICHARDSON, R.L., BEAMER, J.L.: A Method for the Exposure of Miniature Swine to Vertical 60 Hz Electric Fields. *IEEE Trans., Biomed. Eng.*, 25, 141-144. (1978).
- 213.** MCCLANAHAN, B.J., PHILLIPS, R.D.: The Influence of Electric Field Exposure on Bone Growth and Fracture Repair in Rats, *Bioelectromagnetics*, 4, 11-20. (1983).
- 214.** MARINO, A.A., CULLEN, J.M., REICHMANIS, M., BECKER, R.O.: Fracture Healing in Rats Exposed to Extremely Low Frequency Electric Fields, *Clin. Orthop.*, 145, 239-244. (1979).
- 215.** CERRETELLI, P.L., MALAGUTI, C.: Research Carried in Italy by ENEL on the Effects of High Voltage Electric Fields. *Rev. Gen. Electr., Special Issue*, 65-74. (1976).

216. BLANCHI, C.L., CEDRINI, L., CERIA, F., MEDA, E., RE, G.: Exposure of Mammals to Strong 50 Hz Electric Fields, *Arch. Fisiol.*, 70, 30-34. (1973).
217. SCHWAN, H.P.: Nonthermal Cellular Effects of Electromagnetic Fields : AC-Field Induced Ponderomotoric Forces, *Br. J. Cancer, Suppl.* 5, 220-223. (1982).
218. KAVET, R. : EMF and Current Cancer Concepts, *Bioelectromagnetics*, 17, 339-357. (1996).
219. MCLEOD, K.J.: Microelectrode Measurements of Low Frequency Electric Field Effects in Cells and Tissues, *Bioelectromagnetics, Suppl.* 1, 161-178. (1992).
220. POLK, C.: Dosimetry of Extremely - Low- Frequency Magnetic Fields, *Bioelectromagnetics, Suppl.* 1, 209-235. (1992).
221. TEKLE, E., CHOCK, P.B., ASTUMIAN, R.D.: Electric Field Induced Asymmetric Breakdown of Cell Membranes in "Charge and Field Effect in Biosystems-3", (ALLEN M.J., CLEARY, S.F., A.E., SHILLADY, D.D., ed.), 467-476, Copyright Clearance Center, Birkhauser Boston, (1992).
222. HOLIAN, O., ASTUMIAN, R.D., LEE, R.C., REYES, H.M., ATTAR, B.M, WALTER, R.J.: Protein Kinase C Activity is Altered in HL60 Cells Exposed to 60 Hz AC Electric Fields, *Bioelectromagnetics*, 17, 504-509. (1996).
223. WEAVER, J.C., ASTUMIAN, R.D.: The Response of Living Cells to Very Weak Electric Fields : The Thermal Noise Limit, *Science*, 247, 459-462. (1990).
224. WEAVER, J.C., ASTUMIAN, R.D.: Estimates for ELF Effects: Noise - Based Thresholds and the Number of Experimental Conditions Required for Empirical Searches, *Bioelectromagnetics, Suppl.* 1, 209-235. (1992).
225. TENFORDE, T.S.: Biological Interaction of Extremely-Low-Frequency Electromagnetic Fields in "Biological Effects of Magnetic and Electromagnetic Fields", (UENO, S., ed.), 23-35. Plenum Press. New York and London, (1996).
226. LIBURDY, R.P.: Electromagnetic Fields and Cellular Systems. Signal Transduction, Cell Growth and Proliferation in "Biological Effects of Magnetic and Electromagnetic Fields", (UENO, S., ed.), 85-100. Plenum Press. New York and London, (1996).
227. LIBURDY, R.P.: Calcium Signaling in Lymphocytes and ELF Fields Evidence for an Electric

- Field Metric and a Site of Interaction Involving the Calcium Ion Channel, FEBS, 301, 53-59. (1992).
228. MOSER, C.C., KESKE, J. M., WARNCKE, K., FARID, R.S., DUTTON, P.L.: Nature of Biological Electron Transfer, *Nature*, 355, 759-802. (1992).
229. KOVACS, E.C., DINU, A., SAVOPOL, T.: The Interaction of the Protoreceptor Cells with the Constant Electric Field in "Charge and Field Effects in Biosystems-3", (ALLEN, M.J., CLEARY, S.F., SOWERS, A.E., SHILLADY, D.D., ed.), 341-347, Copyright Clearance Center, Birkhauser, Boston, (1992).
230. BARNES, F.S.: The Effects of ELF on Chemical Reaction Rates in Biological Systems in "Biological Effects of Magnetic and Electromagnetic Fields", (UENO, S., ed.), 37-44. Plenum Press, New York and London, (1996).
231. POLK, C.: Physical Mechanisms for Biological Effects of Low Field Intensity ELF Magnetic Fields in "Biological Effects of Magnetic and Electromagnetic Fields", (UENO, S., ed.), 63-83, Plenum Press New York and London, (1996).
232. MCLEOD, K.J., DONAHUE, H.J., FONTAINE, M.A., RUBIN, C.T.: Cell Density Effects on the Interaction of Electric Fields with Cells in Vitro in "Electromagnetic Fields, Biological Interactions and Mechanisms". (BLANK, M., Ed.), 291-294. *Advances in Chemistry Series 250*, Washington, DC, (1995).
233. ADEY, R.W.: Biological Effects of Electromagnetic Fields, *J. Cell. Biochim.*, 51, 410-416. (1992).
234. WILSON, B.W., REITER, R.J., PILLA, A.A.: Review of EMF Bioeffects Literature Relative to Maglev- Generated Magnetic Fields in "Electromagnetic Fields, Biological Interactions and Mechanisms". (BLANK, M., Ed.), 251-254, *Advances in Chemistry Series 250*, Washington, DC, (1995).
235. GOODMAN, R., HENDERSON, A.S.: Sine Waves Enhance Cellular Transcription, *Bioelectromagnetics*, 7, 23-29. (1986).
236. GOODMAN, R., WEI, L-X, XU, J-C, HENDERSON, A.S.: Exposure of Human Cells to

- Low- Frequency Electromagnetic Fields Results in Quantitative Changes in Transcripts. *Biochim. Biophys. Acta.*, 1009, 216-220. (1989).
237. WEI, L-X, GOODMAN, R., HENDERSON, A.: Changes in Levels of c-myc and Histone H2B Following Exposure of Cells to Low - Frequency Sinusoidal Electromagnetic Fields : Evidence for a Window Effect, *Bioelectromagnetics*, 11, 269-272. (1990).
238. CRIDLAND, N.A., SIENKIEWICZ, Z.J., KOWALCZUK, C.I., SAUNDERS, R.D.: Recent Biological Studies Relevant to Carcinogenesis in "Biological Effects of Magnetic and Electromagnetic Fields", (UENO, S., ed.), 221-238, Plenum Press, New York and London (1996).
239. RANNUG, A., HOLMBERG, B., EKSTROM, T., MILD, K.H.: Rat Liver Foci Study on Coexposure with 50 Hz Magnetic Fields and Known Carcinogens, *Bioelectromagnetics*, 14,17-27. (1993).
240. PHILLIPS, J.L., WINTERS, W.D., RUFLEDGE, L.: In Vitro Exposure to Electromagnetic Fields : Changes in Tumour Cell Properties, *Int. J. Radiat. Biol.*, 49, 463-469. (1986).
241. ADEY, W.R.: A Growing Scientific Consensus on the Cell and Molecular Biology Mediating Interactions with Environmental Electromagnetic Fields in "Biological Effects of Magnetic and Electromagnetic Fields", (UENO, S., ed.), 45-62, Plenum Press, New York and London, (1996).
242. ANDERSON, L.E.: Investigation of Exposure to Extremely Low Frequency (ELF) Magnetic and Electric Fields, Status of Laboratory Animal Studies in "Biological Effects of Magnetic and Electromagnetic Fields", (UENO, S., ed.), 131-138, Pleum Press, New York and London, (1996).
243. DELGADO, J.M.R., LEAL, J., MONTEAGUDO, J.L., GARCIA, M.G.: Embryological Changes Induced by Weak, Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields, *J. Anat.*, 134, 551-553. (1982).
244. MCGIVERN, R.M., SOKOL, R.Z., ADEY, W.R.: Prenatal Exposure to a Low- Frequency Electromagnetic Field Demasculinizes Adult Scent Marking Behavior and Increases Accessory Sex Organ Weight in Rats, *Teratology*, 41, 1-8. (1990).
245. POLK, C.: Therapeutic Applications of Low Frequency Electric and Magnetic Fields,

- Advances in Electromagnetic Fields in Living Systems.1. 129-153. (1994).
246. LYLE. D.B., SCHECHTER. P., ADEY, W.R., LUNDAK, R.L.: Supression of T Lymphocyte Cytotoxicity Following Exposure to 60 Hz Sinusoidal Electric Fields. *Bioelectromagnetics*, 9, 303-313. (1988).
247. LYLE, D.B., SCHECHTER. P, ADEY, W.R., LUNDAK, R.L.: Supression of T Lymphocyte Cytotoxicity Following Exposure to Sinusoidally Amplitude-Moduted Fields. *Bioelectromagnetics*, 4 , 281-292. (1983).
248. IERAN. M., ZAFFUTO, S., BAGNACANI, M., ANNOVI, M., MORATTI, A., CADOSSO, R.: Effect of Low Frequency Pulsing Electromagnetic Fields on Skin Ulcers of Venous Origin in Humans : A Double - Blind Study. *J. Orthop. Research.*, 8, 276-282. (1990).
249. GOODMAN. R., HENDERSON, S.A.: Transcription and Translation in Cells Exposed to Exremely Low Frequency Electromagnetic Fields. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 25, 335-355. (1991).
250. FERREIRE. H.G., MARSHALL. M.W.: *The Biophysical Basis of Excitability*, 70-98. Cambridge University Press. Australia, (1985).
251. DAWSON. T.W., CAPUTA, K., STUCHLY, M.A.: Influence of Human Model Resolution on Computed Currents Induced in Organs by 60-Hz Magnetic Fields. *Bioelectromagnetics*. 18. 478-490. (1990).
252. FOSTER, K.R., SCHWAN, H.P.: Dielectric Properties of Tissues in "CRC Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields", (POLK, C., POSTOW, E., ed.), 27-87, CRC Press. Boston. (1986).
253. WILLIAMS. P.L., DYSON. M.: *Gray's Anatomy. Educational Low-Priced Books Scheme (ELBS) Funded by the British Government. Seventh ed.* 58-70, Longman Group UK Ltd., London. (1992).
254. SAĞLAM. M.: *Genel Histoloji*. 131-164. Yorum Matbaacılık Sanayii. Ankara, (1993).
255. IRVIN, T: *Wound Healing Principles and Practice*. 2-6, Chapman and Hall Ltd., Cambrige. (1981).

256. JUNOUERIA, L.C., CARNEIRO, J., KELLEY, R.O.: Basic Histology, Seventh ed., 25-65. Prentice Hall Internatinal Inc., Canada. (1992).
257. MARTIN, D.W.: Contractile and Structural Proteins in "Harper's Review of Biochemistry" (MARTIN, D.W., MAYES, P.A., RODWELL, V.W., ed.), 458-461, Lage Medical Publications, California, (1985).
258. STYER, L.: Biochemistry, 185-203, W.H. Freeman and Company, San Francisco. (1981).
259. YENSON, M: İnsan Biyokimyası, 6. Baskı, 343-483, Beta Basımevi, İstanbul, (1988).
260. SMITH, E.L., HILL, R.L., LEHMAN, I.R.: Principles of Biochemistry. Seventh ed., 23-82, McGraw-Hill Book Company, Tokyo. (1983).
261. MONTES, G.: Structural, Biology of the Fibres of the Collagenous and Elastic Systems, Cell Biology, Intenational, 20, 15-27. (1996).
262. CAROLA, R., HARLEY, J.P., NOBACK, C.R.: Human Anatomy and Physiology, Second ed., 44-117, McGraw-Hill Inc., Tokyo. (1992).
263. GRANT, R.A.: Estimation of Hydroxyproline by the Auto Analyser, J. Clin. Path., 17, 685-686. (1964).
264. ROSS, M.H., ROMRELL, L.J., KAYE, G.I.: Histology, a Text and Atlas. Third ed., 94-124, A Waverly Company, Tokyo, (1995).
265. BURGESON, R.E., NIMNI, M.E.: Basic Science and Pathology, Collagen Types: Molecular Structure and Tissue Distribution, Clinical Orthopaedics and Related Research, 281, 250-272. (1992).
266. TAKEHARA, K., GRATENDORST, G.R.: Ascorbate Effects on Type I Procollagen Synthesis by Human Adult Skin Fibroblast: Different Migration Position of Type I Procollagen Chains on SDS Polyacrylamide Gel after Incubation with Ascorbate. Collagen Rel. Res., 6, 455-466. (1986).
267. FUKADA, E.: Piezoelectric Properties of Organic Polymers, Ann. N.Y. Acad. Sci., 405, 7-25. (1983).
268. SINGH, S., KARTZ, J.L.: Scientific Basis of Electro-Stimulation, J. Bioelectricity, 5, 285-327. (1986).

269. SINGH, S., KARTZ, J.L.: Electromechanical Properties of Bone, *J. Bioelectricity*, 7. 285-327. (1989).
270. TRYGGVASON, K., SOININEN, R., HOSTIKKA, S.L., GANGULY, A., HUOTARI, M., PROCKOP, D.J.: Structure of the Human Type IV Collagen Genes, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 580, 97-111. (1990).
271. LOHI, J., LEIVO, I., TANI, T., KIVILUOTO, T., KIVILAAKSO, E., BURGESSON, R.E., VIRTANEN, I.: Laminins, Tenascin and Type VII Collagen in Colorectal Mucosa. *J. Histochemical*, 28, 431-440. (1996).
272. NISHIMURA, I., MURAGAKI, Y., HAYASHI, M., NINOMIYA, Y., OLSEN, B.R.: Tissue-Specific Expression of Type IX Collagen, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 580, 112-119. (1990).
273. SHIMOKOMAKI, M., WRIGHT, D.W., IRWIN, M.H., REST, M., MAYNE, R.: The Structure and Macromolecular Organization of Type X Collagen in Cartilage, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 580, 1-7. (1990).
274. GORDON, M., GERECKE, D.R., DUBLET, B., REST, M., SUGRUE, S.P., OLSEN, B.R.: The Structure of Type XII Collagen, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 580, 8-16. (1990).
275. FUKAI, N., APTE, S.S., OLSEN, B.R.: Nonfibrillar Collagens. *Methods in Enzymology*, 245, 3-28. (1994).
276. GUYTON, A.C.: *Textbook of Medical Physiology*, Eighth ed., 1202-1211, W.B. Saunders Company, Tokyo. (1991).
277. CAROLA, R., HARLEY, J.P., NOBACK, C.R.: *Human Anatomy and Physiology*. Second ed., 789-792. McGraw Hill Inc., Tokyo. (1992).
278. JUNQUEIRA, L.C., CARNEIRO, J., KELLEY, R.O.: *Basic Histology*, Seventh ed., 380-396. Prentice-Hall International Inc., Canada. (1992).
279. ROSS, M.H., ROMRELL, L.J., KAYE, G.I.: *Histology, a Text and Atlas*. Third ed., A Waverly Company, Tokyo. (1995).
280. STEGEMANN, H., STALDER, K.: Determination of Hydroxyproline. *Clin. Chim. Acta.*, 18, 267-273. (1967).

281. STEGEMANN, H., STALDER, K.: Zur Ausscheidung von Hydroxyprolin im Harn, Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem., 348, 242-243. (1967).
282. STEGEMANN, H., STALDER, K., BERNHARD, G.: Über die Isomerisierung von Hydroxyprolin, Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem., 337, 179-185. (1964).
283. STEGEMANN, H., FUCHS, G., EGER, W.: Der Transplantierte Knochenspan und Seine Qualität Nach Partieller und Vollständiger Enteiweibung Bei Erhaltener Anorganischer Substanz, Arch., Klin. Chir., 303, 240-260. (1958).
284. STEGEMANN, H.: Mikrobestimmung von Hydroxyprolin Mit Chloramin-T und p-Dimethylaminobenzaldehyd, Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem., 311, 41-45. (1958).
285. SOKAL, R.R., ROHLF, F.J.: Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Biological Research, 776, W.H. Freeman Company, San Francisco, (1995).
286. WEAVER, J.C.: Electroporation: A Dramatic Nonthermal Electric Field Phenomenon in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", (BLANK, M., ed.), 95-100, San Francisco Press, San Francisco, (1993).
287. KRUEGER, W.F., GIAROLA, A.J.: Effects of Electromagnetic Fields on Fecundity in the Chicken, Ann. New York Acad. Sci., 247, 391-400. (1975).
288. ROBERSTON, D., MILLER, M.W., CARSTENSEN, E.L.: Relationship of 60-Hz Electric Field Parameters to the Inhibition of Growth of Pisum Sativum Roots. Radiat. Environ. Biophys., 19, 227. (1981).
289. ROBERSTON, D., MILLER, M.W., COX, C., DAVIS, A.T.: Inhibition and Recovery of Growth Processes in Roots of Pisum Sativum L. Exposed to 60-Hz Electric Fields, Bioelectromagnetics, 2, 329. (1981).
290. MILLER, M.W., DOOLEY, D.A., COX, C., CARSTENSEN, E.L.: On the Mechanism of 60-Hz Electric Field Induced Effects in Pisum Sativum L. Roots: Vertical Field Exposures, Radiat. Environ. Biophys., 22, 203. (1983).

291. WANG, W., LITOVITZ, T.A., PENAFIEL, L.M., MEISTER, R.: Determination of the Induced ELF Electric Field Distribution in a Two Layer In Vitro System Simulating Biological Cells in Nutrient Solution, *Bioelectromagnetics*, 14, 29-39. (1993).
292. MARINO, A.A., MORRIS, D.M., ARNOLD, T.: Electrical Treatment of Lewis Lung Carcinoma in Mice, *J. Surg. Res.*, 41, 198-201. (1986).
293. FITZSIMMONS, R.J., FARLAY, J., ADEY, W.R., BAYLINK, D.J.: Embryonic Bone Matrix Formation is Increased After Exposure to a Low Amplitude Capacitively Coupled Electric Field. *in Vitro, Biochimica. et. Biophysica. Acta.*, 882, 51-56. (1986).
294. NESSLER, J.P., MASS, D.P.: Direct Current Electrical Stimulation of Tendon Healing in Vitro, *Clin. Orthop.*, 217, 303-312. (1987).
295. MCLEOD, K.J., LEE, R.C., EHRLICH, H.P.: Frequency Dependence of Electric Field Modulation of Fibroblast Protein Synthesis, *Science*, 236, 1465-1469. (1987).
296. ROLS, M.P., TEISSIE, J.: Time Course of Electroporation in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", (BLANK, M., ed.), 151-154, San Francisco Press, San Francisco, (1993).
297. ROLS, M.P., DAHOU, F., TEISSIE, J.: Protein Electroporation into Mammalian Cells by "Pulsed-First" Electroporation with Erythrocyte Ghosts in "Electricity and Magnetism in Biology and Medicine", (BLANK, M., ed.), 151-154, San Francisco Press, San Francisco. (1993).
298. CLEARY, S.F., LIU, L.M., CAO, G.: Cellular Effects of Extremely Low Frequency (ELF) Electromagnetic Fields in "Charge and Field Effects in Biosystems-3", (ALLEN, M.J., CLEARY, S.F., SOWERS, A.E., SHILLADY, D.D., ed.), 203-215, Copyright Clearance Center, Birkhauser Boston. (1992).
299. LIBURDY, R.P.: Calcium Signaling in Lymphocytes and ELF Fields. Evidence for an Electric Field Metric and a Site of Interaction Involving the Calcium Ion Channel, *FEBS*, 301, 53-59. (1992).

652-654. (1964).

- 305.** MYLLYLA, R., MAJAMA, K.: Ascorbate is Consumed Stoichiometrically in the Uncoupled Reactions Catalyzed by Prolyl 4-Hydroxylase and Lysyl Hydroxylase, *J. Biol. Chem.*, 259, 5403-5405. (1984).
- 306.** PINNELL, S.R.: Regulation of Collagen Biosynthesis by Ascorbic Acid: A Review, *Yale J. Biol.*, 58, 553-559. (1985).
- 307.** SEYHAN, N.: Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Başhekimliği' ne verilen, "Günlük Yaşamda ve Hastane Ortamında Kullandığımız Elektrikli Cihazların ve Cep Telefonlarının Bilinmeyen Etkileri" konulu Biyofizik Anabilim Dalı Araştırma Laboratuvarı Raporu (1998).
- 308.** SEYHAN, N.: Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı'na verilen, "Günlük Yaşamda ve Hastane Ortamında Kullandığımız Elektrikli Cihazların ve Cep Telefonlarının Bilinmeyen Etkileri" konulu Biyofizik Anabilim Dalı Araştırma Laboratuvarı Raporu (1998).
- 309.** SEYHAN, N.: Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlığı'na verilen, "Dekanlık Binası Yakınındaki Trafo Kompleksinin Güvenlik Mesafesine Taşınması" konulu Biyofizik Anabilim Dalı Araştırma Laboratuvarı Raporu (1997).



310. ATALAY SEYHAN, N., CANSEVEN, A: Tübitak Tıp Araştırma Grubu 'na verilen. "Belkahve Otobüs Bakım Atölyesi ve Yüksek Gerilim Hattı" konulu, Tübitak Raporu (12.1.1994).
311. ATALAY SEYHAN, N.: Tübitak Temel Bilimler Araştırma Grubu'na verilen, "Beyin Dinamiği Araştırma Ünitesi" kurulmasına ilişkin, Tübitak Raporu (17.12.1993).
312. CANSEVEN, A.G., SEYHAN, N., AYDIN, A., İŞİMER, A.: Effect of Magnetic Field on Concentrations of Blood Plasma Electrolytes, *Med. & Biol. Eng. & Comput.*, 35, Suppl. 1., 43. (1997).
313. CANSEVEN, A.G., SEYHAN, N., AYDIN, A., İŞİMER, A.: Does ELF Magnetic Field Influence Cu^{++} , Zn^{++} , Ca^{++} ve Mg^{++} Concentrations of Brain Tissue ?, *Med. & Biol. Eng. & Comput.*, 35, Suppl. 1, 3. (1997).
314. CANSEVEN, A.G., SEYHAN, N., MIRSHAHIDI, S., TURHAN, A., İMİR, T.: Inhibition of Natural Killer (NK) Cell Activity by ELF Magnetic Fields, *Med. & Biol. Eng. & Comput.*, 35, Suppl. 1., 44. (1997).
315. CANSEVEN, A.G., SEYHAN, N., MIRSHAHIDI, S., TURHAN, A., İMİR, T.: Magnetik Alanın Natural Killer (NK) Aktivitesine Etkisi, IX. Ulusal Biyofizik Kongresi, ANKARA, Bildiri Özetleri, 75. (1997).
316. CANSEVEN, A., SEYHAN, N.: "Hayvan Deneilerine Uygun Magnetik Alan Düzeneginin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi" Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu (AFS) Projesi Kesin Raporu. TF 01 / 96-21. (1997).
317. CANSEVEN, A.G., SEYHAN, N.: "Magnetik Alanın Biyolojik Sistemlere Etkisi", Tübitak, TBAG-1240 Araştırma Projesi Sonuç Raporu (1996).
318. CANSEVEN, A.G., ATALAY SEYHAN, N.: Elektromagnetik Kirlenme ve Biyolojik Boyutları, *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 394, 87-91. (1995).
319. CANSEVEN, A.G., ATALAY SEYHAN, N.: Hayvan Deneileri için Homojen Magnetik Alan Elde Etmeye Uygun Düzeneklerin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Türk Fizyolojik Bilimler Derneği 21. Uusal Kongresi, Bildiri Özetleri Kitabı, 123. (1995).

320. CANSEVEN, A.G., ATALAY SEYHAN, N.: Helmholtz Bobin Çifti ile Magnetik Alan Düzeneginin Oluşturulması ve Biyolojik Çalışmalara Adaptasyonu, VII. Ulusal Biyofizik Kongresi, ADANA, Bildiri Özetleri, 14. (1995).
321. CANSEVEN, A.G., ATALAY SEYHAN, N., AYDIN, A., İŞİMER, A.: Magnetik Alanın Plazma Elektrolitlerinden Cu^{++} , Zn^{++} , Ca^{++} ve Mg^{++} Seviyesine Etkisi, VII. Ulusal Biyofizik Kongresi, ADANA, Bildiri Özetleri, 40. (1995).



11. Ö Z G E Ç M İ Ş / G Ö K N U R G Ü L E R

Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi

Adres : Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı

06510 Beşevler/ANKARA

Tel : 0-312-2141000/6941

Fax : 0-312-2134338

E-posta: gutfb-c@servis.net.tr

Doğum yeri ve tarihi : Diyarbakır-1968

Eğitimi :

1) **Orta öğretim:** Ankara Lisesi (1982-1985)

2) **Üniversite:** Atatürk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik

Bölümü'nden Haziran-1990'da bölüm **birincisi** olarak mezuniyet.

3) **Mezuniyet Sonrası Eğitim ve Görevler**

1991-1994 Yüksek Lisans. Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi

Biyofizik Anabilim Dalı

1994- Doktora. Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi

Biyofizik Anabilim Dalı

1992- Araştırma Görevlisi. Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi

Biyofizik Anabilim Dalı

*** Tamamlanmış Projeler**

1) GAZİ ÜNİVERSİTESİ ARAŞTIRMA PROJESİ - SBE 11 / 94-12

(Sağlık Bilimleri Enstitüsü) (1994-1995 : Sonuçlandı)

" Elektrik Alanın Doku Hidroksiprolin Seviyesine Etkisi "

2) GAZİ ÜNİVERSİTESİ ARAŞTIRMA PROJESİ - TF.01 / 95-4

(Tıp Fakültesi) (1995-1996 : Sonuçlandı)

" Protein Sentezinin Elektrik Alan Altında İncelenmesi :

Spektrofotometrik Analiz "

* Sonuçlandırılan Araştırmalar

I. 150V DC Gerilim Uygulanarak Oluşturulan Dikey Ve Yatay

Elektrik Alanların Dokuya Etkisi

Akciğer dokusu hidroksiprolin miktarı

Böbrek dokusu hidroksiprolin miktarı

Karaciğer dokusu MDA miktarı

Karaciğer dokusu C Vitamini

Böbreküstü bezi C Vitamini

Kanda C Vitamini

İdrarda C vitamini

Karaciğer dokusu süperoksit dismutaz (SOD) miktarı

Karaciğer fonksiyonel enzimleri (ALT, AST , ALP, LDH)

Serum protein fraksiyonları çalışılmıştır.

II. 300 V DC Gerilim Uygulanarak Oluşturulan Dikey Ve Yatay

Elektrik Alanların Dokuya Etkisi

Karaciğer dokusu MDA miktarı

Karaciğer dokusu C Vitamini

Böbreküstü bezi C Vitamini

Böbreküstü bezi MDA miktarı

Kanda C Vitamini

İdrarda C vitamini

Karaciğer dokusu süperoksit dismutaz (SOD) miktarı

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Tıp Fakültesi
Fizyoloji Anabilim Dalı
Doç. Dr. Mustafa ÖZKAN

Karaciğer fonksiyonel enzimleri (ALT, AST , ALP, LDH)

Serum protein fraksiyonları çalışılmıştır.

*** Devam Etmekte Olan Araştırmalar**

I. Magnetik Alanın Biyolojik Sistemlere Etkisi

20 Gauss şiddetinde, 50 Hz frekanslı AC Magnetik Alanın günde 4 saat olmak üzere 5gün / hafta periyodu ile uygulandığı ve devam etmekte olan araştırmalardır.

Araştırmada:

Karaciğer dokusu hidroksiprolin miktarı

Akciğer dokusu hidroksiprolin miktarı

Böbrek dokusu hidroksiprolin miktarı çalışılmaktadır.

II. AC Elektrik Alanın Dokuya Etkisi

50 Hz , 150 V AC gerilim uygulanarak oluşturulan elektrik alanın günde 9 saat olmak üzere 1 gün ; 3 gün ; 5 gün ve 7 gün uygulamasının tamamlandığı ; 10 gün ve 20 günlük uygulamaların devam ettiği çalışmalardır.

Bu çalışmada aşağıdaki değişimler gözlenmektedir :

Akciğer dokusu hidroksiprolin miktarı

Böbrek dokusu hidroksiprolin miktarı

Deri dokusu hidroksiprolin miktarı

Karaciğer dokusu MDA miktarı

Akciğer dokusu MDA miktarı

Böbrek dokusu MDA miktarı

Dalak dokusu MDA miktarı

Kanda C Vitamini

Karaciğer dokusu süperoksit dismütaz (SOD) miktarı

Karaciğer fonksiyonel enzimleri (ALT, AST , ALP, LDH)

Serum protein fraksiyonları

Karaciğer dokusunda kollagen dizilimi (yapısal inceleme) ve morfolojik farklılaşmalar

Kemik dokusunda stress-strain değişimi

Kemik dokusunda yapısal değişim ve morfolojik farklılaşma

Travmatik kulak zarı perforasyonu

Siatik sinir kollagen dizilimi

Kan kalsiyum, klor ve fosfor miktarı

Kan total protein, albumin, ALP, ALT, GGT miktarı

Kan kolesterol ve ürik asit miktarı

