

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK GERİLİMLERİN OLUŞTURDUĞU ELEKTRİK
ALANLARIN KEMİK KANSERİ ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MELİH ÇOBAN

BOLU, ARALIK - 2017

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI



YÜKSEK GERİLİMLERİN OLUŞTURDUĞU ELEKTRİK
ALANLARIN KEMİK KANSERİ ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MELİH ÇOBAN

BOLU, ARALIK - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Melih ÇOBAN tarafından hazırlanan “YÜKSEK GERİLİMLERİN OLUŞTURDUĞU ELEKTRİK ALANLARIN KEMİK KANSERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 08/12/2017 tarihinde ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Murat FİDAN
Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Üye
Yrd. Doç. Dr. Oktay AYTAR
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Yrd. Doç. Dr. Hasbi İSMAİLOĞLU
Kocaeli Üniversitesi

İmza



Mezuniyet tarihi:

...../...../20....

.....
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Ömer ÖZYURT



Aileme,

ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Melih ÇOBAN

ÖZET

YÜKSEK GERİLİMLERİN OLUŞTURDUĞU ELEKTRİK ALANLARIN KEMİK KANSERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MELİH ÇOBAN

ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. MURAT FİDAN)

BOLU, ARALIK - 2017

Yüksek gerilimlerin meydana getirdiği elektrik alanların kemik kanserine yakalanmış hastalar üzerindeki etkileri araştırılması gereken önemli bir konudur. Bu çalışma ile osteosarkom hücre kültürü üzerinde elektrik alan uygulaması yapabilen bir deney sistemi oluşturulmuş ve AA/DA yüksek gerilimlerin etkileri laboratuvar koşullarında incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda hücrelerin zarar görmeden yaşayabileceği koşullara ayarlanabilen deney sistemi gerçekleştirilmiş olup düzgün elektrik alan üretebilecek düzlemsel elektrotlar tasarlanmıştır. İncelemelerin yapıldığı 14 adet osteosarkom hücre hattı numunesi; kontrol grubu, birinci grup, ikinci grup ve üçüncü grup olmak üzere rastgele 4 gruba ayrılmıştır. Birinci ve ikinci grup numunelerine farklı şiddetlerde 50 Hz sinüzoidal elektrik alan 10 dakika boyunca uygulanmış olup birinci grubun incelemesi 24 saat sonra, ikinci grubun incelemesi ise 48 saat sonra yapılmıştır. Üçüncü grup numunelerine de farklı şiddetlerde DA elektrik alan 10 dakika boyunca uygulanmış olup grubun incelemesi 48 saat sonra gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonuçlarına göre deney gruplarında bulunan osteosarkom hücrelerinin, kontrol grubundakilere oranla anlamlı bir şekilde fazla ürettiği söylenebilmektedir ($p<0.05$). Ayrıca DA elektrik alanının 50 Hz sinüzoidal elektrik alana göre osteosarkom hücre sayısının daha fazla artmasına neden olabileceği gözlemlenmiştir. Bu tez çalışması sonucunda, belirli şiddetteki AA ve DA elektrik alanların, kemik kanseri hastalığının yayılma hızını artırıcı etkiye sahip olabileceği kanısına varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELE: Elektrik alan, Kemik kanseri, Hücre kültürü

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF ELECTRIC FIELDS GENERATED BY HIGH VOLTAGE ON BONE CANCER

MSC THESIS

MELIH COBAN

**ABANT IZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. MURAT FIDAN)**

BOLU, OCTOBER 2017

The effects of high-voltage electric fields on patients with bone cancer are an important and up-to-date issue to be investigated. In this study, an experimental system capable of applying electric fields on osteosarcoma cell culture was established and the effects of AC / DC were investigated. In accordance with this purpose, experimental system that can adjust to suitable conditions at which cells can live without degradation has been realized and planar electrode system were designed to produce a uniform electric field. The 14 samples osteosarcoma cell line in which the reviews were made were divided into 4 groups which are control group, first group, second group and third group. Samples of first and second group were subjected to 50 Hz sinusoidal electric field for 10 minutes at different electric field intensities. The examination of first group was conducted after 24 hours and the examination of second group was conducted after 48 hours. DC electric fields were applied to samples of third group for 10 minutes and different electric field intensities and third group was examined after 48 hours. According to the application results, the osteosarcoma cell counts in the experimental groups were significantly higher than the osteosarcoma cell counts in the control group ($p < 0.05$). It has also been observed that the DC electric field is more effective than the 50 Hz sinusoidal electric field in increasing the number of osteosarcoma cells. As a result of this, it has been concluded that certain AC and DC electric fields may increase the rate of spread of the bone cancer disease.

KEYWORDS: Electric field, Bone cancer, Cell culture

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ.....	xiii
TEŞEKKÜR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİK ALAN	9
2.1 Boşlukta Statik Elektrik Alan.....	9
2.2 Elektrik Alan Vektörü.....	10
2.3 Statik Elektrik Alan ve Alan Çizgileri.....	10
3. YÜKSEK GERİLİM ELEKTROT SİSTEMLERİ	12
3.1 Düzlemsel Elektrot Sistemi.....	12
3.2 Eş Merkezli Küresel Elektrot Sistemi.....	13
3.3 Eş Eksenli Silindirsel Elektrot Sistemi	15
3.4 Bazı Elektrot Sistemlerinde Maksimum Elektrik Alan İfadeleri	16
3.4.1 Küre Düzlem Elektrot Sistemi	17
3.4.2 Küre – Küre Elektrot Sistemi.....	17
3.4.3 Silindir – Düzlem Elektrot Sistemi	18
3.4.4 Silindir – Silindir Elektrot Sistemi.....	19
4. BULANIK MANTIK.....	21
4.1 Bulanık Mantık Kontrol Sistemlerinin Gelişimi	22
4.2 Bulanık Mantık Denetleyici Sistemleri.....	23
4.3 Bulanık Mantık Denetleyici Sistem Tasarımı	24
4.3.1 Denetim Kurallarının Oluşturulması	24
4.3.2 Bulanık Mantık Denetleyicisinin Temel Yapısı.....	25
4.3.3 Bulanık Mantık Araç Çubuğu	26
5. DENEY SİSTEMİNİN TASARIMI.....	27
5.1 Deney Sisteminin Yapısal Tasarımı	27
5.1.1 Yüksek Gerilim Elektrotlarının Tasarımı ve Yapımı	27
5.1.2 Deney Kabının Tasarımı ve Yapımı.....	28
5.2 Elektrik Alan Oluşturulmasında Kullanılan Yüksek Gerilimler	31
5.2.1 Alternatif Yüksek Gerilimlerin Üretilmesi ve Ölçülmesi.....	32
5.2.2 Doğru Yüksek Gerilimlerin Üretilmesi ve Ölçülmesi.....	37
5.2.3 Darbe Gerilimlerin Üretilmesi ve Ölçülmesi.....	39
5.3 Elektronik Devreler ve Güç Modülleri	42
5.3.1 Güç Modülü	42
5.3.2 Isıtıcı Besleme Modülü.....	43

5.3.3	Kontrol Kartının Tasarımı	45
5.4	Bulanık Mantık Denetleyicisinin Tasarımı	50
6.	HÜCRE KÜLTÜRLERİNE ELEKTRİK ALANLARIN UYGULANMASI	
	53	
6.1	Deney Sisteminin Tanıtılması	53
6.2	Deney Prosedürü.....	55
6.3	Elektrik Alanların Uygulanması.....	56
6.3.1	AA Elektrik Alanın 1. ve 2. Grup Numunelerine Uygulanması..	57
6.3.2	DA Elektrik Alanın 3. Grup Numunelerine Uygulanması	64
7.	HÜCRE KÜLTÜRLERİNİN İNCELENMESİ.....	72
7.1	Ortalama Hücre Sayısı ve Mikroskopik Özellikler	72
7.2	İstatistiksel Analiz	77
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER	79
9.	KAYNAKLAR	81
10.	EKLER	90
EK A		90
EK B		91
EK C		93
11.	ÖZGEÇMİŞ.....	96

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Noktasal yükün meydana getirdiği kuvvet alanı	9
Şekil 2.2. Elektrik alan içindeki yüklerin davranışı	10
Şekil 2.3. a) + ve + yük b) - ve - yük c) - ve + yük etkileşimleri için; elektrik alan çizgileri (KBT Bilim Sitesi, 2012)	11
Şekil 3.1. Düzlem elektrot sistemi.....	12
Şekil 3.2. Eş merkezli küresel elektrot sistemi.....	13
Şekil 3.3. Eş merkezli küresel elektrot sisteminde yarıçapa bağlı olarak a) Elektrik alan b) Elektriksel potansiyel değişimi (Özkaya, 1996)...	14
Şekil 3.4. Eş eksenli silindrsel elektrot sistemi	15
Şekil 3.5. Eş eksenli silindrsel elektrot sisteminde yarıçapa bağlı olarak a) Elektrik alan b) Elektriksel potansiyel değişimi (Özkaya, 1996)...	16
Şekil 3.6. Küre - düzlem elektrot sistemi.....	17
Şekil 3.7. Karşılıklı yerleştirilmiş küre - küre elektrot sistemi	18
Şekil 3.8. Karşılıklı yerleştirilmiş silindir düzlem elektrot sistemi	19
Şekil 3.9. Karşılıklı yerleştirilmiş silindir - silindir elektrot sistemi	20
Şekil 4.1. a) Açık döngü b) Kapalı döngü; kontrol şeması (Elmas, 2011)	24
Şekil 4.2. Bulanık mantık denetleyicisi temel birimleri (Elmas, 2011).....	25
Şekil 4.3. Matlab programı bulanık mantık arayüzü	26
Şekil 5.1. Tasarlanan yüksek gerilim elektrotunun resmi.....	28
Şekil 5.2. Deney kabının alt ve üst kapaklarının polietilen malzemeden işlenmesi.....	29
Şekil 5.3. Divizör için bağlantı aparatı	30
Şekil 5.4. Deney sisteminin ilk tasarımı ve gerçekleştirilmesi	31
Şekil 5.5. Deney sisteminin tamamlanmış durumu	31
Şekil 5.6. Varyak ve transformatör bağlantı şeması.....	33
Şekil 5.7. Yüksek gerilim transformatörünün beslenmesinde kullanılan varyak.....	33
Şekil 5.8. Ön direnç içyapısı ve tamamlanmış hali	34
Şekil 5.9. Gerilim bölücü devre şeması	35
Şekil 5.10. Gerilim bölücü içyapısı ve tamamlanmış vaziyeti.....	36
Şekil 5.11. a) Yarım dalga doğrultucu b) Tam dalga doğrultucu.....	37
Şekil 5.12. Kondansatör bloğu	38
Şekil 5.13. Doğrultucu bloğu a) içyapısı b) tamamlanmış hali.....	38
Şekil 5.14. Darbe elektrik alan üreticinin genel devre şeması.....	39
Şekil 5.15. Seri bağlı Mosfet transistörler ile yapılan devre şeması (Hess ve Baker,2000).....	40
Şekil 5.16. Mosfet sürücü genel devre şeması	41
Şekil 5.17. Mosfet sürücü kartı	42
Şekil 5.18. Güç modülünün genel devre şeması	43
Şekil 5.19. Güç modülünün a) Devre kartı, b) Tamamlanmış durumu	43
Şekil 5.20. Isıtıcı besleme genel devre şeması; a) Elektrot ısıtıcısı, b) Deney odacığı ısıtıcısı, c) Dış ceket ısıtıcısı	44
Şekil 5.21. Isıtıcı besleme modülünün görüntüsü	45
Şekil 5.22. DS18B20 sıcaklık sensörü.....	46
Şekil 5.23. SHT11 sıcaklık ve nem sensörü.....	47

Şekil 5.24. Çalışmada tercih edilen MQ 135 hava kalite sensörü	47
Şekil 5.25. Mpx5700 basınç sensörü	48
Şekil 5.26. Kontrol mekanizması genel devre şeması	48
Şekil 5.27. Deney sistemi kontrol modülü	49
Şekil 5.28. Kontrol ve güç modülleri.....	49
Şekil 5.29. Hata değişkeni üyelik fonksiyonları	50
Şekil 5.30. Deltahata değişkeni üyelik fonksiyonları	51
Şekil 5.31. PWM değişkeni üyelik fonksiyonu.....	51
Şekil 5.32. Sistemin kural tablosu	52
Şekil 6.1. DA uygulama devresi.....	53
Şekil 6.2. Deney odacığı	54
Şekil 6.3. AA uygulama devresi.....	55
Şekil 6.4. Hücre kabı (flask)	56
Şekil 6.5. Hücre kültürlerinin deney odacığına yerleştirilmesi.....	57
Şekil 6.6. 8 kV _{rms} için elektrik alan şiddeti	58
Şekil 6.7. 8 kV _{rms} için elektriksel potansiyel değişimi	59
Şekil 6.8. 8 kV _{rms} için elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği.....	59
Şekil 6.9. 12 kV _{rms} için elektrik alan şiddeti	60
Şekil 6.10. 12 kV _{rms} için elektriksel potansiyel değişimi	60
Şekil 6.11. 12 kV _{rms} için elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği	61
Şekil 6.12. 16 kV _{rms} için elektrik alan şiddeti	61
Şekil 6.13. 16 kV _{rms} için elektriksel potansiyel değişimi	62
Şekil 6.14. 16 kV _{rms} için elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği	62
Şekil 6.15. 20 kV _{rms} için elektrik alan şiddeti	63
Şekil 6.16. 20 kV _{rms} için elektriksel potansiyel değişimi	63
Şekil 6.17. 20 kV _{rms} için elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği	64
Şekil 6.18. 1750 V _{dc} için elektrik alan şiddeti.....	65
Şekil 6.19. 1750 V _{dc} için elektriksel potansiyel değişimi	65
Şekil 6.20. 1750 V _{dc} için elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği.....	66
Şekil 6.21. 3500 V _{dc} için elektrik alan şiddeti.....	67
Şekil 6.22. 3500 V _{dc} için elektriksel potansiyel grafiği	67
Şekil 6.23. 3500 V _{dc} için elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği.....	68
Şekil 6.24. 5250 V _{dc} için elektrik alan şiddeti.....	68
Şekil 6.25. 5250 V _{dc} için elektriksel potansiyel grafiği	69
Şekil 6.26. 5250 V _{dc} elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği	69
Şekil 6.27. 8100 V _{dc} için elektrik alan şiddeti.....	70
Şekil 6.28. 8100 V _{dc} için elektriksel potansiyel değişimi	71
Şekil 6.29. 8100 V _{dc} için elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği.....	71
Şekil 6.30. Thoma laminin görüntüsü.....	71
Şekil 7.1. AA uygulaması birinci grup için ortalama hücre sayıları	73
Şekil 7.2. 1AA4kV/cm isimli numunenin mikroskop görüntüsü.....	74
Şekil 7.3. 1AA3kV/cm isimli numunenin mikroskop görüntüsü.....	74
Şekil 7.4. AA uygulaması ikinci ortalama hücre sayıları	75
Şekil 7.5. 2AA2kV/ cm isimli numunenin mikroskop görüntüsü.....	76
Şekil 7.6. DA uygulaması üçüncü grup ortalama hücre sayıları.....	77
Şekil 7.7. DA1kV/cm isimli numunenin mikroskop görüntüsü.....	77
Şekil 10.1. Isı yalıtımlı kabın içindeki hücre kültürlerinin görüntüsü.....	90
Şekil 10.2. Deney öncesi dezenfektasyon işlemi	90
Şekil 10.3. DA elektrik alan uygulaması	91
Şekil 10.4. Kontrol kartı 3 boyutlu görünümü	91

Şekil 10.5. Sensör kartı 3 boyutlu görünümü.....	92
Şekil 10.6. Mosfet sürücü kartı 3 boyutlu görünümü	92



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1. Bulanık mantık kontrolünün uygulamaları (Elmas, 2011, syf:189)	23
Çizelge 5.1. Hata değeri için bulanık küme tanımlaması	50
Çizelge 5.2. Deltahata değeri için bulanık küme tanımlaması.....	51
Çizelge 5.3. Bulanık kural çizelgesi	52
Çizelge 7.1. Numene isimleri ve deney koşulları.....	72
Çizelge 7.2. AA uygulaması birinci grup inceleme sonuçları	73
Çizelge 7.3. AA uygulaması ikinci grup inceleme sonuçları.....	75
Çizelge 7.4. DA uygulaması üçüncü grup inceleme sonuçları	76
Çizelge 10.1. Birinci grup için hücre sayımları	93
Çizelge 10.2. İkinci grup için hücre sayımları	94
Çizelge 10.3. Üçüncü grup için hücre sayımları	95

KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Laplace denklemi genel çözümü katsayısı
AA	: Alternatif Akım
AC	: Alternative Current (Alternatif Akım)
ASD	: Analog Sayısal Dönüştürücü
B	: Laplace denklemi genel çözümü katsayısı
C	: Kapasite
CO₂	: Karbon dioksit
d	: Mesafe
DA	: Doğru Akım
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
E	: Elektrik alan
EKG	: Elektrokardiyografi
F	: Kuvvet (N)
FEMM	: Finite Element Method Magnetic
Hz	: Hertz
I	: Akım
I_{ds}	: Drain source akımı
IGBT	: Insulated Gate Bipolar Transistör
k	: Düzeltme katsayısı
kPa	: KiloPascal
LCD	: Liquid Crystal Display (Sıvı Kristal Ekran)
MMN	: Mismatch Negativity (Uyumsuzluk Negativitesi)
PEF	: Pulsed Electric Field (Darbe Elektrik Alan)
Ppm	: Parts Per Million (milyonda bir)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
r	: Yarıçap
R	: Direnç
R_T	: Toplam Direnç
R_{out}	: Çıkış Direnci
S	: Alan

T	: Tesla
U	: Gerilim
uT	: Mikro Tesla
V	: Elektriksel potansiyel
V_{ds}	: Drain soruce gerilimi
W	: Watt
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
q	: Noktasal yük
Q	: Yük (Coulomb)
ε	: Dielektrik sabiti
ε₀	: Boşluğun dielektrik sabiti

TEŞEKKÜR

Çalışma süresince değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat FİDAN' a, hücre kültürlerinin incelenmesinde yardımcı olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Erkan KILINÇ' a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ayhan ÇETİNKAYA' ya, Sayın Dr. Çağrı ÇAMSARI' ya, gerek fikirleriyle gerek önerileriyle yardımlarını esirgemeyen A.İ.B.Ü Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Ömer ZORBA' ya, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanımız Sayın Erdal BEKİROĞLU' na, laboratuvar imkanlarını bize açan Elop A.Ş. müdürü Sayın Ekrem TEMEL' e, 2016.09.03.1003 numaralı proje ile çalışmaya destek veren A.İ.B.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine, atölye çalışmalarında yardımcı olan teknisyen Sayın Sedat ÖZER' e ve desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişimi her geçen gün artışını sürdürmektedir. Teknolojideki gelişmelerle elektrikli araç gereç kullanımı yaygınlaşırken, insanların maruz kaldığı elektrik alan şiddeti ve süresi de orantılı olarak artmaktadır. İnsanların ve diğer canlıların elektrik alana maruz kalması, elektrikli aletlerin kullanımı ile beraber elektriksel enerjinin iletimi ve dağıtımı sırasında da ortaya çıkabilmektedir. Elektrik alana maruz kalma sonucunda insanlarda ve canlılarda görülen etkilerin incelendiği çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Söz konusu bu çalışmalarda, deney hayvanları ve hücre kültürü tercih edilebilmektedir. Elektrik alanların meydana getirdiği etkilerin incelendiği hücre kültürü çalışmalarına bir yenisinin eklenmesi maksadıyla bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması Abant İzzet Baysal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen 2016.09.03.1003 numaralı proje kapsamında yapılmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı, AA ve DA elektrik alanların osteosarkom hücreleri üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu nedenle osteosarkom hücrelerine farklı değerlerde AA ve DA elektrik alan uygularken, deney parametrelerini kontrol altında tutabilen bir deney sistemi geliştirilmiştir. Söz konusu deney sistemi yalnız osteosarkom hücrelerinin test edilmesine yönelik değildir. Tüm hücre kültürlerinin yaşam şartlarına uygun sıcaklık sağlayabilen bir yapıya sahiptir. Ek olarak nem, basınç ve deney ortamının hava kalitesi bilgilerini ölçebilmektedir. Sistemin kontrolünde bulanık mantık kullanılarak, deney odacığının iç sıcaklığı istenilen seviyeye olabildiğince hızlı getirilmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmasının birinci bölümünde gerçekleştirilen çalışmanın genel hatlarından ve daha önce yapılmış benzer çalışmalardan bahsedilmiştir. İkinci bölümde elektrik alanın temelleri ve genel formüller hakkında bilgi verilmiştir. Elektrik alan vektörleri ve elektrik alan içindeki yüklerin davranışı tanımlanmıştır. Üçüncü bölümde, temel elektrot yapıları tanımlanarak elektrotlar arasında gerçekleşen elektrik alan ifadeleri paylaşılmıştır. Ayrıca bazı elektrot sistemleri için maksimum elektrik alan ifadeleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde deney sisteminin

sıcaklık kontrolünde kullanılan bulanık mantık yapısı açıklanarak bulanık mantık denetleyici tasarımı hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde, deney sisteminin tasarımı ve yapım aşamaları anlatılarak kullanılan malzemeler hakkında bilgi verilmiştir. Altıncı bölümde, hücre kültürleri üzerinde elektrik alan uygulamaları ve deney prosedürü anlatılarak elektrik alan değerlerine ilişkin FEMM 4.2 programı ile yapılan analiz sonuçları verilmiştir. Yedinci bölümde, incelenen hücre kültürlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları paylaşılmıştır. Sekizinci bölümde ise çalışma sonunda elde edilen sonuç ve öneriler paylaşılmıştır.

Yüksek gerilimlerin oluşturduğu elektrik alanların canlılar üzerine etkilerinin incelendiği çok sayıda çalışma literatürde mevcuttur. Bu kapsamda yapılmış olan bazı çalışmalar aşağıda yer almaktadır.

Elektriksel sinyaller canlı vücudunun bir kısmından diğer kısmına bilgi gönderme ve biyolojik işlemlerin devam edebilmesi için önemlidir. Canlı vücudunda gerçekleşen değişimlerin elektriksel sinyaller ile beyine ulaştığı bilinmektedir. Elektrik ve manyetik alana maruz kalma sonucunda biyolojik organların ve elektriksel sinyallerin nasıl etkileneceği üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan bir araştırma sonucunda düşük frekans elektrik alanların kanseri tetikleyici bir rol üstleneceği kanısına varılabilmektedir (Davis ve Mills, 1993).

Hauf ve Wiesinger (1973) yaptıkları çalışmada 25 kişiye 3 saat boyunca 1, 15 ve 20 kV/m şiddetinde elektrik alan uygulamışlardır. Uygulama sonucunda kişilerde yapılan incelemeler sonucunda hematolojik ve biyokimyasal herhangi bir etki görülmemiştir.

Lebars ve Andre (1976) yaptıkları çalışmada, 60 Hz 50 kV/m şiddetinde elektrik alanı günde 8 saat 16 gün boyunca tavşanlara uygulamışlardır. Uygulama sonunda tavşanların lökosit ve kırmızı hücrelerinde artış gözlemlemişlerdir.

Gerçekleştirilen bir çalışmada 400 kV' luk enerji iletim hattının altında bir saat boyunca elektrik ve manyetik alana maruz kalmış insanların kalp atış hızını ve kan basınçlarını ölçmüşlerdir. Ölçüm sonucunda çalışmaya katılan insanların kalp atış hızı düşük, kan basıncı yüksek çıkmıştır (Korpinen ve Partenen,1994).

Korpinen ve Partenon (1996)' nun yaptığı çalışmada seçilen 41 gönüllü üzerinde 50 Hz (AA) sinüzoidal elektrik ve manyetik alanın kalp atışı ve kan basıncı üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Deney grubu ve kontrol grubu olmak üzere oluşturulan iki grubun da çalışmaya başlanmadan önce EKG (elektrokardiyografi) ve kan basınç değerleri kaydedilmiştir. Deney grubuna 3,5 – 4,3 kV/ m elektrik alan ve 1,4 – 6,6 uT manyetik alan uygulanmıştır. Çalışma sonunda yapılan istatistiksel analiz sonucuna göre kayda değer hiçbir etki olmadığı ifade edilmiştir.

Şeker ve Çerezci (1997) beyin dokusunda bulunan iyonların elektrik alandan etkilene durumunu inceledikleri bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonunda beyin dokusunda bulunan kalsiyum iyonlarının elektrik alan şiddet ve frekansına bağlı olarak etkilendiği görülmüştür.

Sağlıklı kişilerde serbest radikaller (bir elektronunu kaybetmiş molekül) ve antioksidanlar arasında bir denge olduğu ifade edilmektedir. Zehirli oksijen serbest radikalleri biyomoleküllere önemli zararlar verebilmektedir. Bir diğer çalışmada karaciğer, böbrek ve akciğer dokularına 50 Hz sinüzoidal elektrik alan uygulanarak radikaller açısından inceleme yapılmıştır. Uygulanan elektrik alan şiddet değerleri, 0,3 kV/m - 1,8 kV/m şeklindedir. Uygulama dokulara yatay ve dikey bir şekilde 1, 3, 5, 7 ve 10 gün süre ile günde 8 saat olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda süre ve elektrik alan şiddetine bağlı olarak değişimler gözlenmiştir (Güler vd., 2006).

Canlı hücreler yüklü moleküller içerdikleri için elektrik alana maruz kaldıklarında tepki oluşturmaktadırlar. 100 kHz' in üzerinde frekans değerine sahip elektrik alanların canlı hücreler açısından bir anlam ifade etmediği tanımlanmaktadır. Bu tanımlamalar ışığında, şiddeti ve frekansı düşük elektrik alan ratlarda (deney faresi) bulunan tümörlere uygulanmıştır. Bu çalışma sonucunda uygulama yapılan tümörde büyüme olmadığı görülmüş olup insanlar üzerinde çalışma planları yapılmıştır (Kirson vd., 2007).

Elektrik alan uygulaması yaparken elektrot cinsinin kullanışlı olup hücre görüntülenmesi esnasında kolaylık sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle flask içerisine yerleştirilmiş mini elektrotların gerekli kolaylığı sağladığı düşünülmektedir. Bir çalışmada kök hücrelerine 14 gün boyunca günde 4 saat 1 Hz 1, 10, 100 ve 1000

V gerilim seviyelerinde sinüzoidal elektrik alan uygulanmıştır. Uygulama sonunda hücre içindeki kalsiyum sinyallerinin arttığı gözlenmiştir (McCullen vd., 2010).

Alçak frekanstaki elektrik ve manyetik alanlar bilim açısından büyük bir ilgi konusudur. Yavru ratların gelişmekte olan omuriliklerinin üzerinde 50 Hz sinüzoidal elektrik alanın oksidatif stres etkisinin incelendiği bir çalışma yapılmıştır. Ratlar; kontrol, doğum öncesi-doğum sonrası ve doğum sonrası olarak üç gruba ayrılmışlardır. Kontrol grubuna herhangi bir uygulama yapılmamıştır. Doğum öncesi- doğum sonrası gruba hem gebelik esnasında hem de doğum sonrasında 10 kV/m 50 Hz sinüzoidal elektrik alan uygulanmıştır. Doğum sonrası gruba ise doğumdan hemen sonra elektrik alan uygulanmaya başlanmıştır. Doğum öncesi- doğum sonrası grup ile kontrol grubu arasında istatistik olarak fark gözlenmiştir. Diğer deney grubu ile kontrol grubu arasında kayda değer bir fark gözlenmemiştir (Uzar vd., 2011).

Farklı seviyelerde ve sürelerde 50 Hz AA (alternatif akım) sinüzoidal elektrik alanın ratlar üzerindeki uyumsuzluk negatifliği (MMN) incelenmiştir. Uyumsuzluk negatifliği, standart bir ses dizisinden sonra farklı bir ses duyulması halinde ortaya çıkan potansiyel tepki olarak tanımlanabilmektedir. Bu incelemede 90 tane 3 aylık erkek rat 6 gruba ayrılmıştır. Ratlar 2 paralel levha arasına yerleştirilerek elektrik alana maruz bırakılmışlardır. Birinci grup 12 kV/m şiddetinde elektrik alana 2 hafta, ikinci grup 4 hafta boyunca maruz bırakılmıştır. Üçüncü grup 18 kV/m elektrik alan şiddetine 2 hafta ve dördüncü grupta 4 hafta boyunca maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda kontrol grubu ve deney grupları arasında kayda değer tepki farklılıkları gözlenmiştir (Gok vd., 2014).

Elektrik alanın canlılar üzerindeki etkileri tartışmaya açık bir konudur. Bu etki her zaman negatif yönde olmayıp, pozitif yönde de olabilmektedir. Elektrik alan; şiddeti, dalga şekli ve süresi açısından değişik parametrelere sahiptir. Bu parametrelere bağlı olarak elektrik alan canlılar üzerinde değişik etkiler gösterebilmektedir. Hücrelere veya dokulara kısa süreli yüksek güçte elektrik alan uygulayarak hücre zarı üzerinde bulunan porların (kesecik) geçici veya kalıcı olarak madde geçişine izin vermesi işlemi elektroporasyon olarak tanımlanmaktadır. Hücre zarının geçirgenliğinin artırıldığı elektroporasyon uygulamaları ve gıda sektöründe ısıtma işlemi gerektirmeden pastörizasyon işlemleri PEF aracılığıyla

gerçekleştirilebilmektedir (Schoenbach vd., 1997; Weaver, 2000; Pakhomov vd., 2010; Qin vd., 2014; Gao vd., 2016).

Gıda yaşam için temel bir gereksinimdir. İnsan gıdaları mikroorganizmalar için büyük bir besin kaynağıdır. Sıcaklık ve nemin uygun olduğu ortamlarda gıda maddeleri içerisinde mikroorganizmalar hızla çoğalabilmektedirler. Gıdalardaki mikrobik canlılar ürünlerin bozulmasına veya besin değerlerinin azalmasına neden olabilmektedir. Mikropların öldürülmesi termal veya termal olmayan yollarla gerçekleştirilmektedir. Termal işlemlerde gıda istenilen süre boyunca uygulamaya tabi tutularak mikroorganizmalar öldürülmektedir fakat termal işlem gören ürünlerin tazeliği ve ürün değerleri azalabilmektedir. PEF yöntemi gıda işleme için termal olmayan bir yol olarak görülmektedir. Bu yöntem sayesinde gıdaların tazeliği ve diğer özellikleri korunmaya çalışılmaktadır (Norman vd., 1996; Jay, 1996; Barbosa vd., 2000; Frazier ve Westhoff, 2004; Reddy ve Penchalaraju, 2014).

Zhang ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada elma suyuna 2 μ s genişliğinde 50 kV/cm şiddetinde 10 adet darbe elektrik alan uygulamışlardır. Uygulama sonunda elma suyu içerisindeki mikroorganizmaların etkisizleştirilmesinde olumlu sonuçlar almışlardır (Zhang vd.,1994).

Ohshima ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ticari olarak satılan sütlerin içindeki kolibasili bakterisini hedef almışlardır. Yapılan çalışmada 100 Hz 10 kV/cm elektrik alan darbeleri 20 saniye boyunca süte uygulanmıştır. Deneysel sürecin verimli olması için termal kontrol sistemi devreye alınmıştır. 50° C sıcaklıkta bulunan süte 10 saniye PEF uygulanması sonucunda kolibasili bakterisinin aktivitesini kaybettiği gözlenmiştir. Çalışma sonucunda ön ısıtma ve uygulama sürecinin önemli olduğu ifade edilmiştir (Ohshima vd., 2016).

İnsan ve hayvan kırmızı kan hücrelerinin (eritrosit-alyuvar) harici elektrik alan ile hemoliz olmaları (alyuvarların yıkımı) bu hücrelerin içinde bulunduğu ortama bağlıdır. İzotonik NaCl ve KCl çözeltilerinin içinde bulunan alyuvar yıkım başlangıç değeri 4 kV/cm ve %50 yıkım/hemoliz 6 kV/cm değerinde gözlemlenmektedir. Zimmerman ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada elektriksel hemoliz için bir elektriksel boşalma haznesi kullanmışlardır. Bu hazne pleksiglastan yapılmış olup düzlemsel yapıda 1cm ara ile yerleştirilmiş iki platin elektrottan

oluşmaktadır. Kırmızı kan hücrelerinden oluşan süspansiyon ile doldurulmuş deney haznesi yüksek gerilim devresine bağlanmıştır (Zimmerman vd., 1976).

İnsan eritrositlerinin izotonik koşullar altında birkaç kV/cm' lik yüksek gerilim darbesine maruz bırakılması kırmızı kan hücrelerinin tamamıyla yıkıma uğramasına neden olabilir. Kinosit ve Tsong tarafından yapılan çalışmada yüksek gerilim darbesi oda sıcaklığında bir defa uygulanmıştır. Deney numunesi iki paralel elektrot arasına yerleştirilerek çalışma gerçekleştirilmiştir (Kinosit ve Tsong, 1977).

Son yıllarda, darbe elektrik alan biyomedikal etkileri nedeniyle tümör tedavisinde yeni bir çalışma alanı açmıştır. Bu nedenle PEF uygulamaları biyoelektromanyetik alanında önemli bir konuma gelmiştir. Yapılan çalışmalar farklı özelliğe sahip PEF dalgalarının farklı etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Yapılan çalışmalarda tümör tedavilerinde PEF uygulamalarının etkili olduğu gözlemlenmiştir (Gundersen vd., 2002; Beebe vd., 2002; Yao vd., 2004; Yao vd., 2009).

Elektrik alanların aracılık ettiği gen elektrotransferi basit, çok yönlü fiziksel bir yöntem ve düşük maliyetli bir gen dağıtım yaklaşımıdır. Gen elektrotransferi, kanseri ve çeşitli sistemik bozuklukları tedavi etmek, yaraları iyileştirmek ve birçok uygulamayı geliştirmek için klinik öncesi ve klinik araştırmalarında test edilmiştir. Gen elektrotransferinin verimliliğinin artırılması, klinik çalışmaları için giderek önemli hale gelirken uygulama yöntemlerini genişletmesi beklenmektedir (Trezise vd., 2003; Heller ve Heller, 2006; Gothelf ve Gehl, 2010; Andre ve Mir, 2010).

Lackovic ve arkadaşları elektroporasyon esaslı tedaviler için kullanılan elektrik darbelerinin yan etkisi olarak görülen doku ısınmasını yaptıkları çalışma vasıtasıyla analiz etmişlerdir. Yapılan analiz 3 boyutlu sonlu elemanlar yaklaşımını kullanan elektrotermal bir modele dayanmaktadır. Çalışma sonunda önemli olmamakla birlikte ısınma ile DNA hasarına veya denatürasyonuna bağlı olarak gen elektrotransferinin başarısız olabileceği ortaya çıkmıştır (Lackovic vd., 2009).

Guo ve arkadaşları nanosaniye darbe elektrik alanların (nsPEF) yeşil florasan proteinini kodlayan plazmitler üzerindeki etkisine bakmışlardır. Yapılan bu çalışmada deneyler esnasında milisaniye darbe elektrik alanlarda (msPEF)

uygulanmıştır. Nanosaniye Pef uygulamaları gen elektrotransferini hızlandırıcı olarak görev almıştır. Elektrik alan darbe parametrelerinin gen elektrotransferi üzerine etkisi deneyler esnasında gözlenmiştir (Guo vd., 2014).

Elektrokemoterapi kanser tedavisinde yeni bir metot olarak görülmektedir. Elektrik darbeleri, hücre zarında ufak delikler açarak anti kanser ilaçların hücre içine girişini hızlandırmaktadır (Mir vd., 1988; Orłowski vd., 1988; Powell vd., 1989; Heller ve Grasso, 1990; Heller ve Gilbert, 1992; Prausnitz vd., 1993).

Prausnitz ve arkadaşları yaptıkları çalışmada milisaniyeler mertebesinde elektrik darbelerini insan derisine uygulayarak gözenek oluşturmaya çalışmışlardır. Yağ tabakalarında ufak gözenekler açıldığını gözlemleyerek bunun ilaç uygulamaları açısından önemli olabileceğini aktarmışlardır (Prausnitz vd., 1993).

Atık suların temizlenmesi endüstri için büyük öneme sahiptir. PEF Kirli sularda bulunan zararlı organizmaları öldürerek temiz su kaynaklarının artmasına yardımcı olmaktadır. İki elektrot arasından geçirilen kirli su elektrik alana maruz kaldıktan sonra büyük oranda temizlenebilmektedir (Jhostone ve Bodger, 1997; Akiyama, 2000; Ghazala vd., 2002; Izdebski vd., 2011; Elserougi, 2016).

Kolibasili bakterisine düşük şiddette uzun süreli 10 Hz- 1 MHz frekans aralığında sinüzoidal elektrik alan uygulanmıştır. Kolibasili bakterisi izole edildikten sonra 1 gün boyunca 37° C derece inkübatör içinde kalmıştır. İnceleme sonrasında 10 Hz- 100 Hz frekans aralığında bakteri sayısında önemli bir azalma gözlenmiştir. Yüksek seviyeli frekans değerlerinde değişim gözlenmemiştir (Shawki ve Gaballah, 2015).

Nanoteknoloji, malzemelerin nano seviyelerde çalışılması ve geliştirilmesidir. Gelişmiş uygulamalarla yeni malzemeler oluşturma potansiyeline sahip olduğu için hızla büyüyen bir bilim dalı olarak görülmektedir. Bu teknoloji birçok mühendislik alanını etkilemiştir. Nanofiberlerin birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Elektrospinning (elektro eğirme) yönteminin nanofiber üretmek için uygun bir teknik olduğu fark edilmiştir (Dashi ve Reneker, 1995; Reneker ve Chun, 1996; MacDiarmid vd., 2001).

Elektrospinning, polimer çözeltisinin damlacıklarını püskürtmek için elektrik alan kullanılan bir yöntemdir. Elektrospinning, mikron ve submikron boyutlu polimer lifleri imal etmek için iyi bilinen bir işlemdir. Basit bir elektrospinning aparatı, yüksek gerilim kaynağı, şırınga ve toprak potansiyelindeki bir toplayıcı içermektedir (Subbiah vd., 2005; Rutledge ve Fridrikh, 2007; Reneker ve Yarin, 2008; Bhardwaj ve Kund, 2010).

Elektrik alan, elektrospinning işleminde en kritik parametrelerden birdir. Jentsch ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada çok işlevli bir elektrospinning platformunun kapsamlı bir elektrik alan analizi yapılmıştır. Gerçekleştirilen analiz FEMM 4.2 programı aracılığıyla yapılmıştır. Platformun elektrik alan dağılımı farklı gerilim seviyelerinde analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre uygulanan gerilim ve şırınga ile toplayıcı arasındaki mesafenin elektrospinning işleminde önemli parametreler olduğu gözlenmiştir (Jentsch vd., 2012).

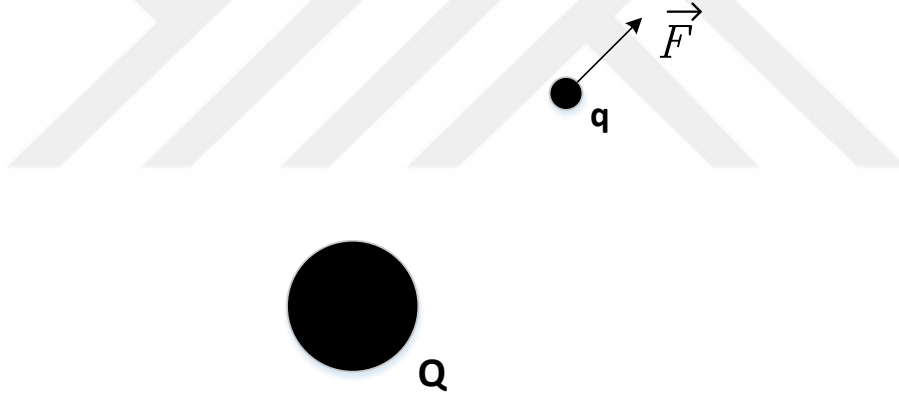
Dünya sağlık organizasyonu (WHO) tarafından elektrik alanın 10 kV/m'yi aştığı yaşam alanlarında ve sanayi ortamlarında, elektrik alanlarına maruz kalmanın sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir. Bu sınırlamaya 1 kV/m'den 10 kV/m' ye kadar alan şiddetleri için uyulması önerilmiştir (Karacaörenli, 2007; Health Topics).

2. ELEKTRİK ALAN

Elektrik alan birim yük başına düşen kuvvet olarak tanımlanabilir. Elektrik alan, yer çekimine benzetilebilir ve cisimlere etki eden bir kuvvet olarak ifade edilebilir (Akhunlar, 1971) .

2.1 Boşlukta Statik Elektrik Alan

Charles de Coloumb tarafından gerçekleştirilen çalışmalar statik elektrik alan için önem taşımaktadır. Bu deneyler sonucunda ortaya çıkan itme ve çekme kuvveti özelliği, statik elektrik alanın açıklanabilmesi için varsayım olarak kabul edilebilir. Şekil 2.1’ de noktasal yükün oluşturduğu kuvvet alanı görülmektedir (Özkaya, 1996).



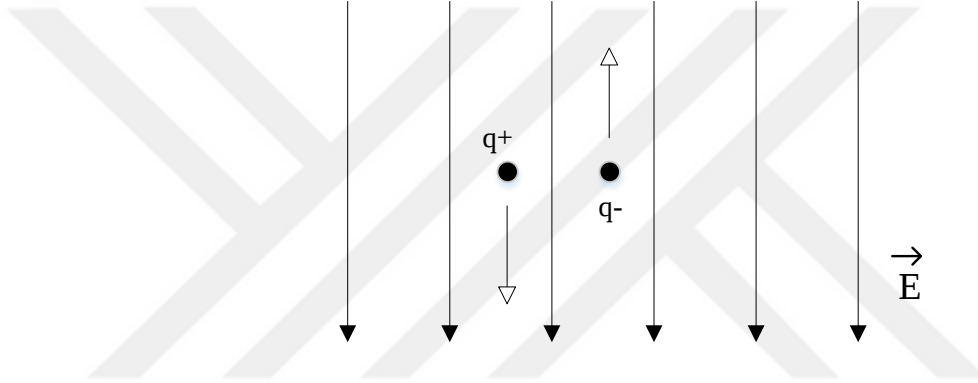
Şekil 2.1. Noktasal yükün meydana getirdiği kuvvet alanı

Üzerinde Q yükü bulunan bir cismin etrafında meydana gelen kuvvet alanı q elektrik yükü ile ortaya çıkarılabilir. Araştırmacı olarak kullanılan q yükünün değeri değişirse buna etkiyen vektörel F değeri de değişir. Kuvvet ile elektrik alan arasındaki ilişki (2.1) bağıntısı ile belirlenebilir. Bu bağıntıda F kuvveti, E elektrik alanı, q da parçacık üzerindeki yükü temsil etmektedir. Ayrıca F şiddet ve yön içerdiğinden dolayı vektörel bir ifadedir (Akhunlar, 1965).

$$\vec{F} = k \cdot q \cdot \vec{E} \quad (2.1)$$

2.2 Elektrik Alan Vektörü

Uzayda bulunan elektrik yüklü bir cisme elektriksel kuvvet etkimesi durumunda, cismin bulunduğu konumda elektrik alanın varlığından söz edilebilir. Araştırmacı parçacık üzerinde etkiye sahip olan cisimlerin elektriksel olup olmadığını anlamak için araştırmacı parçacık yüklü veya yüksüz iken gözlemler yapılabilir. Belirli bir elektrik alandaki $+q$ yüklü araştırmacı parçacık elektrik alan doğrultusu ve yönünde bir kuvvete maruz kalırken $-q$ yüklü araştırmacı parçacık ise elektrik alan doğrultusunun ters yönünde bir kuvvete maruz kalabilir. Şekil 2.2’ de elektrik alan içindeki yüklerin davranışı gösterilmektedir (Özkaya, 1996; Kutucu, 2009).



Şekil 2.2. Elektrik alan içindeki yüklerin davranışı

2.3 Statik Elektrik Alan ve Alan Çizgileri

Herhangi q_1 ve q_2 yükünün birbirlerine uyguladıkları itme veya çekme kuvveti (2.2) eşitliğiyle ifade edilebilir. (2.2) eşitliğinde r yükler arasındaki mesafe, ϵ_0 boşluğun dielektrik sabitidir (İdemen, 1996).

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (2.2)$$

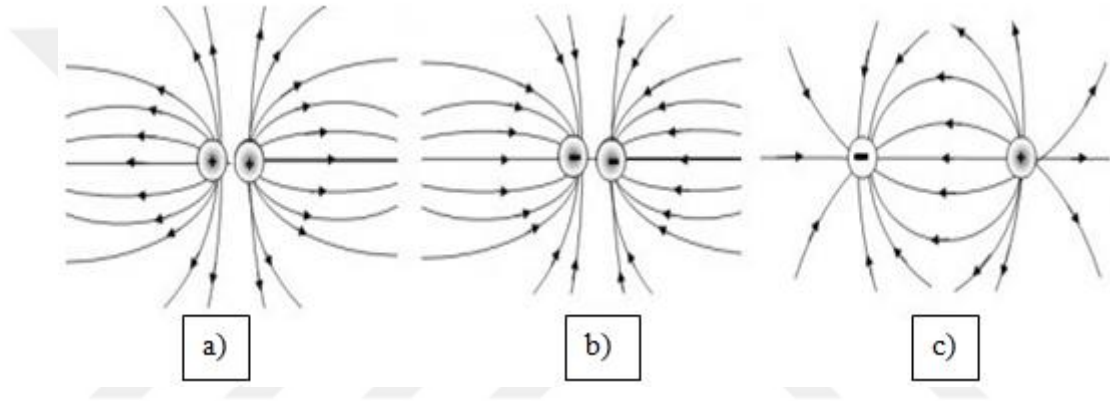
Eşitlik (2.1) ve (2.2) birlikte ele alındıklarında herhangi bir q yüküne etki eden elektrik alan (2.3) eşitliğindeki gibi ifade edilebilir (İdemen, 1996).

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (2.3)$$

$q=1$ C olduğu durumda elektrik alan birim yüke etki eden kuvvet olarak tanımlanabilir. Elektrik alan bütün uzayda tanımlı vektörel alan olarak ifade edilir.

Hareketsiz elektrik yükleri tarafından oluşturulan bu alan statik elektrik alan olarak tanımlanabilir (İdemen, 1996).

Elektrik alan uzaklıkla ters orantılı olduğu için yükten uzaklaştıkça alan vektörleri azalır. Bu vektörlerin yönleri yarıçapsal olarak dışa doğrudur. Elektrik alan vektörlerinin birleşmesiyle alan çizgileri ortaya çıkmaktadır. Alan çizgilerinin sıklığı alan şiddeti hakkında bilgi vermektedir. Uzayda tek bir yükün olduğu varsayılırsa bu yükün oluşturduğu elektrik alan çizgileri sonsuz uzunluğa sahipmiş gibi düşünülebilir. Farklı kutuplara sahip yüklerin meydana getirdiği elektrik alan çizgileri Şekil 2.3' te verilmiştir (Özkaya, 1996).



Şekil 2.3. a) + ve + yük b) - ve - yük c) - ve + yük etkileşimleri için; elektrik alan çizgileri (KBT Bilim Sitesi, 2012)

Elektrik alan çizgileri yüksek potansiyelden alçak potansiyele ya da + yükten – yüke doğru yönelir. Eşitlik (2.3)' te elektrik alan ifadesine yer verilmiştir. Şekil 2.3' te görüldüğü gibi elektrik alan çizgileri birbirini kesmemektedir. Birden fazla yükün olduğu ortamlarda elektrik alan şiddeti, elektrik alan şiddetlerinin vektörel olarak toplamına eşittir (İdemen, 1996).

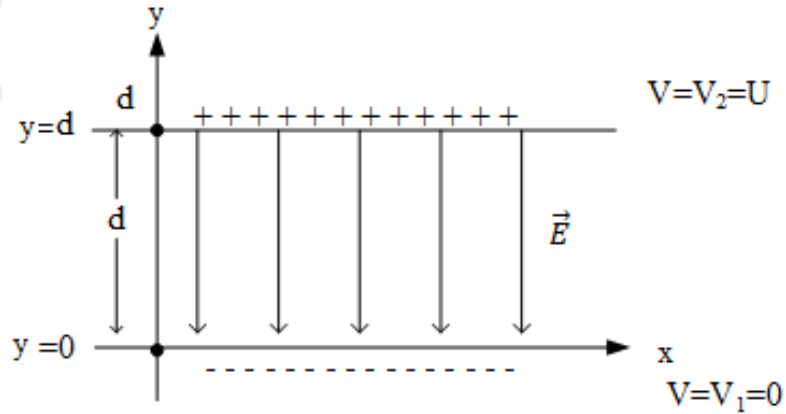
$$\vec{E} = - \text{grad } V = -\nabla V \quad (2.3)$$

3. YÜKSEK GERİLİM ELEKTROT SİSTEMLERİ

Bu bölümde temel olarak kullanılan düzlemsel, küresel ve silindrisel elektrot sistemlerinin basit analizleri ele alınmıştır. İncelemeler kenar etkileri ihmal edilerek gerçekleştirilmiştir.

3.1 Düzlemsel Elektrot Sistemi

Düzlemsel elektrot sisteminin basitleştirilmiş hali Şekil 3.1’ de görülmektedir. Elektrotlara uygulanan gerilim U ve elektrotlar arası açıklığı d olan bir sistem için hesaplamalar yapılarak kenar etkileri ihmal edilmiştir. V elektriksel potansiyeli Şekil 3.1’ den de görüldüğü gibi y eksenini doğrultusunda değişim göstermektedir.



Şekil 3.1. Düzlem elektrot sistemi

Eşitlik (3.1)’ de verilen Laplace ifadesinin genel çözümü (3.3) bağıntısında gösterilmiştir. Sınır değerleri (3.3) bağıntısında yerine yazıldığında A ve B değerleri elde edilmektedir.

$$\frac{d^2V}{dy^2} = 0 \quad (3.1)$$

$$\vec{E} = -gradV \quad (3.2)$$

$$V = A + By \quad (3.3)$$

Elde edilen A ve B değerleri (3.3) eşitliğinde yerine yazıldığında (3.4) eşitliği elde edilebilmektedir.

$$V = \frac{U}{d}y \quad (3.4)$$

Eşitlik (3.2)' yi göz önünde bulundurarak elektrik alan ifadesini (3.5) eşitliğindeki denklem olarak elde edebiliriz.

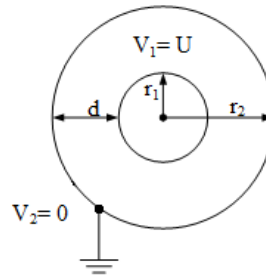
$$\vec{E} = -\frac{U}{d} \quad (3.5)$$

Yukarıda elde edilen eşitliklere göre elektrik alanın y eksenine bağlı olarak değişmediği görülmektedir. Fakat V potansiyeli y eksenine bağlı olarak doğrusal bir biçimde değişmektedir. Yani düzlemsel elektrot sisteminde uygulanan gerilim ve elektrotlar arası uzaklık sabit kabul edilirse elektrik alan şiddeti de sabit kabul edilebilmektedir. Bu elektrot sisteminin kapasitesi (3.6) eşitliği ile belirlenebilmektedir (Kalenderli vd., 2011).

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon.S}{d} \quad (3.6)$$

3.2 Eş Merkezli Küresel Elektrot Sistemi

Yarıçapları sırasıyla r_1 ve r_2 olan eş merkezli elektrotlara Şekil 3.2' deki gibi U geriliminin uygulandığı düşünülürse eşitlik (3.7)' ye göre V potansiyelinin r yarıçapına bağlı olarak değiştiği söylenebilmektedir.



Şekil 3.2. Eş merkezli küresel elektrot sistemi

Eşitlik (3.7)' de gösterilen Laplace denkleminin genel çözümü (3.8) eşitliğindeki gibi elde edilebilir.

$$\frac{d^2}{dr^2} + \frac{2}{r} * \frac{dV}{dr} = 0 \quad (3.7)$$

$$V = A + \frac{B}{r} \quad (3.8)$$

Sınır değerleri yerine yazıldığında A ve B değerleri (3.9) ve (3.10) bağıntısında görüldüğü gibi elde edilebilir.

$$A = -U \frac{r_1}{r_2 - r_1} \quad (3.9)$$

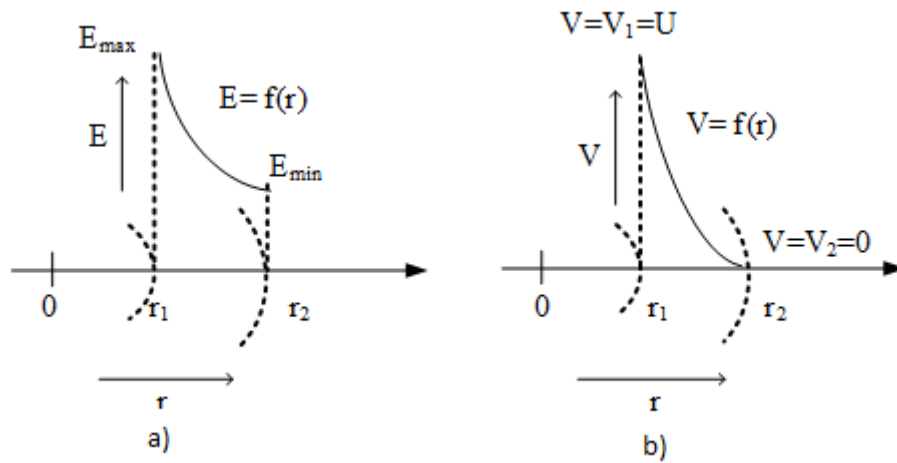
$$B = U \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} \quad (3.10)$$

A ve B değerleri genel çözümde yerine yazılarak (3.11) eşitliğindeki gradyen işlemi gerçekleştirilirse küresel elektrotlar için elektrik alan ifadesi (3.12) eşitliğindeki gibi belirlenebilir.

$$\vec{E} = - \text{grad } V = -\nabla V \quad (3.11)$$

$$\vec{E} = U \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} * \frac{1}{r^2} \quad (3.12)$$

Küresel elektrot sistemi için elektrik alan ve potansiyelin yarıçapa bağlı olarak değişimi Şekil 3.3' te görülmektedir.



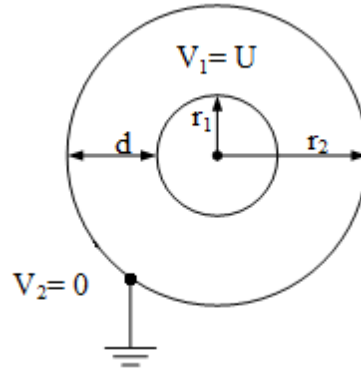
Şekil 3.3. Eş merkezli küresel elektrot sisteminde yarıçapa bağlı olarak a) Elektrik alan b) Elektriksel potansiyel değişimi (Özkaya, 1996)

Eş merkezli küresel elektrot sistemin kapasitesi (3.13) eşitliğinde verilmiştir.

$$C = \frac{Q}{V} = 4\pi\epsilon \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} \quad (3.13)$$

3.3 Eş Eksenli Silindirsil Elektrot Sistemi

Eş eksenli silindirsil elektrot sistemleri uygulama açısından en sık karşılaşılan elektrot sistemidir. Geçit izolatörleri ve kablolar Şekil 3.4’ te gösterilen bu sisteme en iyi örneklerdir. Eş eksenli elektrot sisteminde V potansiyeli (3.14) bağıntısından anlaşıldığı üzere, yalnızca yarıçap değerine bağlı olarak değişmektedir. U gerilim, r_1 iç silindir yarıçapı ve r_2 dış silindir yarıçapını ifade etmektedir.



Şekil 3.4. Eş eksenli silindirsil elektrot sistemi

Eşitlik (3.14)’ te verilen Laplace denkleminin genel çözümü (3.15) bağıntısında verilmiştir.

$$\frac{d^2 V}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dV}{dr} = 0 \quad (3.14)$$

$$V = A + B \cdot \ln r \quad (3.15)$$

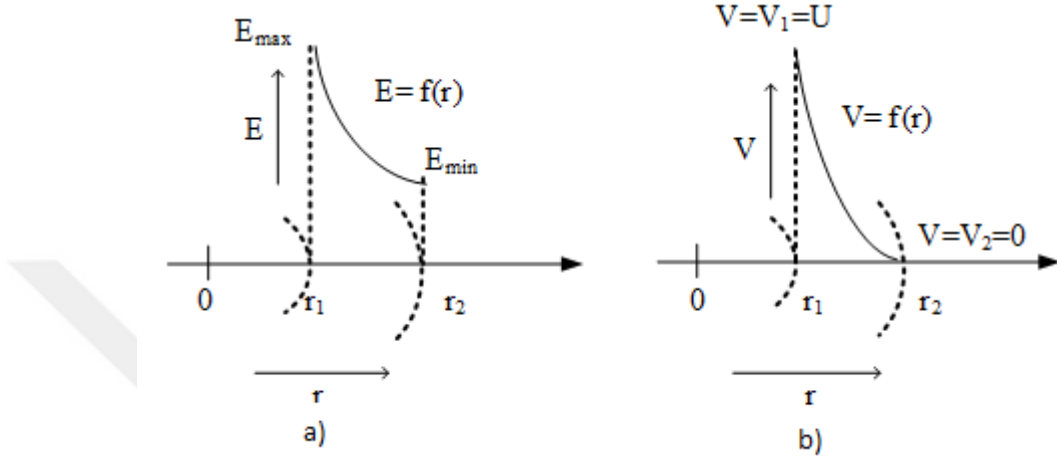
Sınır koşulları kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu A ve B değişkenleri eşitlik (3.16) ve (3.17)’ deki gibi elde edilmiştir. A ve B değerleri potansiyel ifadesinde yerine yazıldığında (3.18) ifadesine ulaşılabilir (Özkaya, 1996).

$$A = \frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \ln r_2 \quad (3.16)$$

$$B = -\frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (3.17)$$

$$V = \frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}} (\ln r_2 - \ln r) \quad (3.18)$$

Şekil 3.5’ te potansiyel ve elektrik alanın eş eksenli silindrsel elektrotların yarıçapına bağlı olarak değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Eş eksenli silindrsel elektrot sisteminde yarıçapa bağlı olarak a) Elektrik alan b) Elektriksel potansiyel değişimi (Özkaya, 1996)

Eşitlik (3.18)’ de bulunan potansiyel ifadesine (3.11)’ de belirtilen gradyen işleminin uygulanması durumunda eşitlik (3.19)’ da verilen elektrik alan ifadesi elde edilir. Ayrıca eş eksenli silindrsel elektrot sisteminin kapasitesi (3.20) eşitliğindeki gibi ifade edilmiştir.

$$E = \frac{U}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \cdot \frac{1}{r} \quad (3.19)$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon l}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (3.20)$$

3.4 Bazı Elektrot Sistemlerinde Maksimum Elektrik Alan İfadeleri

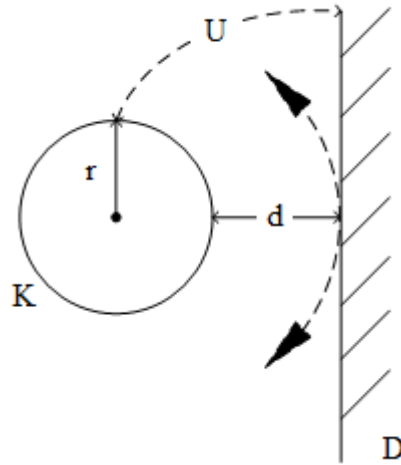
Yaklaşık hesap yönteminde ele alınan küresel veya silindrsel elektrot sistemleri, kendi türlerinden olan en basit elektrot sistemlerine benzetilebilirler. Benzetme yapılırken k düzeltme faktörü göz önünde bulundurularak işlemler

yapılabilmektedir. Ele alınan elektrot sistemlerinde maksimum elektrik alan şiddetinin elektrotlar arasındaki en dar bölgede olması beklenir ve yarıçapı küçük elektrot üzerinde olması muhtemeldir (Özkaya, 1996; Arıkan, 2013).

3.4.1 Küre Düzlem Elektrot Sistemi

Karşılıklı yerleştirilmiş küre düzlem elektrot sistemi Şekil 3.6' da verilmiştir. Küre düzlem elektrot sisteminde maksimum elektrik alanın, elektrotların birbirine en yakın olduğu yerde gerçekleşmesi beklenir. Eşitlik (3.21)' de verilen maksimum elektrik alan ifadesinde yer alan k değişkeni düzeltme faktörüdür ve yaklaşık olarak 0,9 alınabilmektedir.

$$E_{max} = k \cdot \frac{U}{d} \cdot \frac{r+d}{r} \quad (3.21)$$



Şekil 3.6. Küre - düzlem elektrot sistemi

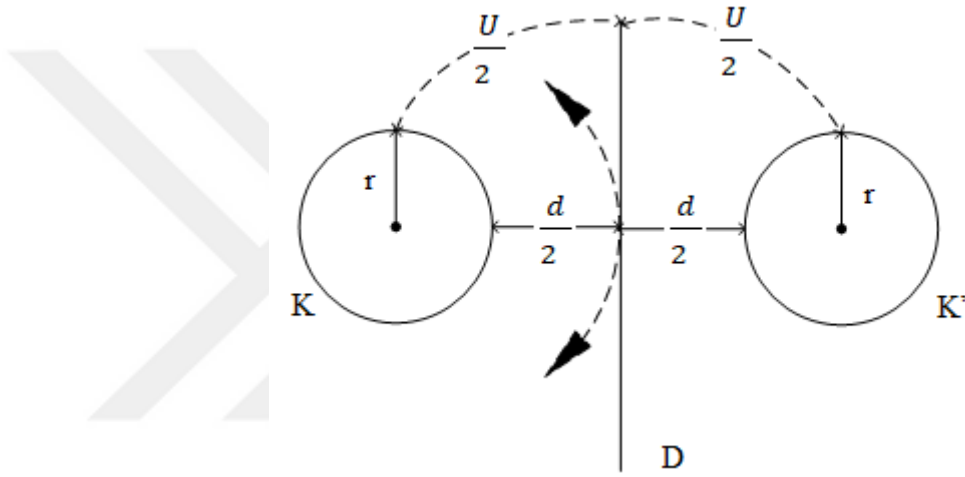
Şekil 3.6' da görüldüğü gibi yarıçapı r olan K küresi ile D düzlemi karşılıklı olarak yerleştirilmiştir. Düzlem ve küre arasındaki potansiyel fark U ve mesafe d olarak verilmiştir.

3.4.2 Küre – Küre Elektrot Sistemi

Aynı yarıçapa sahip karşılıklı iki kürenin bulunduğu küre – küre elektrot sistemi çözümlenirken, küre - düzlem elektrot sistemine benzetilebilir. İki küre

arasındaki d mesafesi ikiye bölünerek $d/2$ mesafesine sahip iki adet küre düzlem elektrot sistemi meydana getirilebilir. İki küre arasındaki potansiyel fark U olarak kabul edildiğinde her bir küre düzlem arasına uygulanan gerilim $U/2$ olarak kabul edilir ve çözüm o yönde yapılabilir. Şekil 3.7' de küre- küre elektrot sistemi gösterilmiştir. Söz konusu sistem için maksimum elektrik alan ifadesi eşitlik (3.22)' deki gibi elde edilebilir ve bağıntıda bulunan k düzeltme faktörü yaklaşık olarak 0,9 alınabilir (Özkaya, 1996).

$$E_{max} = k \cdot \frac{U}{d} \cdot \frac{r + \frac{d}{2}}{r} \quad (3.22)$$



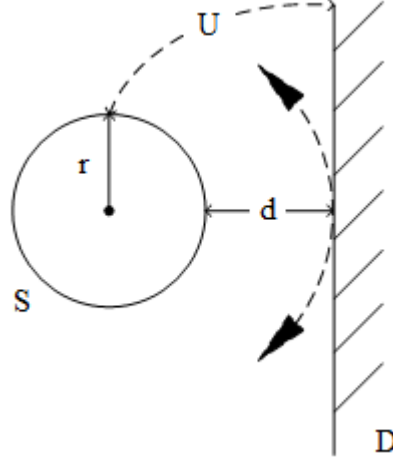
Şekil 3.7. Karşılıklı yerleştirilmiş küre - küre elektrot sistemi

3.4.3 Silindir – Düzlem Elektrot Sistemi

Küre - düzlem elektrot sisteminde uygulanan yaklaşık hesap yöntemi silindir – düzlem elektrot sisteminde de kullanılabilir. Bu bağlamda maksimum elektrik alan elektrotlar arasındaki en dar bölgede görülebilmektedir. Hesaplamalar yapılırken D düzlemi yerine yarıçapı $r+d$ kadar olan başka bir silindirin varlığı kabul edilebilir. Eş eksenli silindrsel elektrot sisteminde elektrik alan ifadesi göz önünde bulundurulmuştur. Eş eksenli silindrsel elektrot sisteminin elektrik alan ifadesi silindir – düzlem elektrot sisteminin elektrik alan ifadesi hesaplanırken kullanılabilir. Bu yöntem doğrultusunda (3.23) eşitliği elde edilebilir ve k düzeltme faktörü

diğerlerinde olduğu gibi yaklaşık olarak 0,9 alınabilir. Şekil 3.8’ de karşılıklı yerleştirilmiş silindir – düzlem elektrot sistemi verilmiştir (Özkaya, 1996).

$$E_{max} = k \cdot \frac{U}{r \cdot \ln \frac{r+d}{r}} \quad (3.23)$$

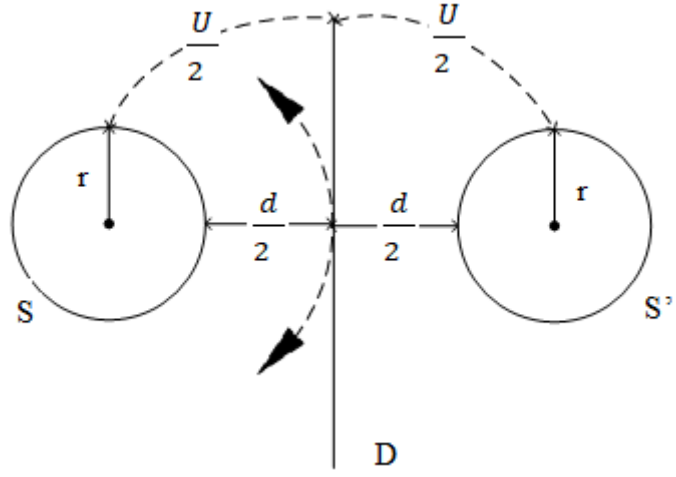


Şekil 3.8. Karşılıklı yerleştirilmiş silindir düzlem elektrot sistemi

3.4.4 Silindir – Silindir Elektrot Sistemi

Karşılıklı yerleştirilmiş küre – küre sistemde olduğu gibi karşılıklı yerleştirilmiş silindir – silindir sistem çözümü içinde elektrotlar arasında hayali bir D düzlemi düşünülebilir. Elektrotlar arasındaki potansiyel fark U olduğu için bir elektrot ile orta nokta arasındaki potansiyel fark U/2 kabul edilebilir. Elektrot ve orta noktada olduğu düşünülen düzlem arasındaki mesafe d/2 olarak düşünülebilir. Düzlem elektrot yerinede yarıçapı r+d/2 olan bir silindir düşünülerek hesaplama yapılabilir. Eşitlik (3.24)’ te bulunan bağıntıda k düzeltme faktörü 0,9 kabul edilebilir. Şekil 3.9’ da karşılıklı yerleştirilmiş silindir – silindir elektrot sistemi gösterilmiştir (Özkaya, 1996).

$$E_{max} = k \cdot \frac{U}{2r \cdot \ln \frac{r+\frac{d}{2}}{r}} \quad (3.24)$$



Şekil 3.9. Karşılıklı yerleştirilmiş silindir - silindir elektrot sistemi

4. BULANIK MANTIK

Bir kontrol sisteminden, kontrol ettiği sistemin güvenliğini ve kararlılığını sağlaması, teknik elemanlar tarafından kolayca anlaşılr ve tamir edilebilir olması, sistem performansını optimum seviyeye getirmesi ve ekonomik ağıdan ucuz olması beklenir. Bu sayılan özelliklerin gerçekleştirilebilmesi için kontrol edilecek sistemin yapısının ve dinamik değişkenlerinin iyi analiz edilip matematiksel olarak modellenmesi gereklidir. Bazı kontrol sistemlerinde dinamik değişkenlerin fazla olmasından veya değişkenlerin tam olarak bilinmemesinden dolayı matematiksel modelleme mümkün olmayabilir (Zadeh, 1971; Elmas, 2011).

Bazı karmaşık sistemlerde matematiksel modelin doğru bir şekilde oluşturulmasına rağmen gerçekleştirilen modelin denetleyici tasarımıda karmaşık problemlere veya ekonomik ağıdan yüksek maliyetlere neden olabilmesi ihtimali söz konsudur. Bu sebepten dolayı bazı kontrol algoritmalarının dinamik ve değişkenleri kesin olarak tanımlanmamış sistemlere uygulanması mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda uzman bir kişinin tecrübe ve bilgilerinden yararlanılabilir. Uzman kişi gerçek hayatta sıkça rastlanılan az, çok, çok az gibi dilsel ifadeler doğrultusunda bir kontrol gerçekleştirebilir. Uzman kişi tarafından kullanılan bu ifadeler doğru bir şekilde denetleyiciye aktarılırsa standart bir kontrol mekanizması oluşturularak uzman kişiye ihtiyaç ortadan kaldırılabilir. Bulanık mantığın temeli uzman kişinin herhangi bir sistemi denetlemedeki düşünce ve hislerine bağlı komutlarının benzetimine dayanmaktadır. Bulanık kontrol bu tür mantık ilişkileri üzerine kurulmuştur. Bulanık mantık, matematiğin günlük hayata uygulanması olarak tanımlanabilir. Çünkü gerçek hayatta her an değişebilen durumlardan değişik sonuçların çıkması mümkündür (Zadeh, 1965; Elmas, 2011).

Bulanık mantık kuramı, denetleyicilere insanların özel verilerini işleyebilme ve onların bilgi ve tecrübelerinden faydalanarak çalışabilme yeteneği sağlayabilir. Bu yeteneği kazandırırken nümerik ifadeler yerine sembolik ifadeler kullanılır. Bulanık mantık denetleyicinin temeli sözlü ifadeler ve bunlar arasındaki ilişkiler üzerine inşa edilmiştir. Bulanık mantık denetleyicisi gerçekleştirilirken kontrol edilecek sistemin modellenmesi zorunlu değildir (Zadeh,1965; Zadeh vd., 1975; Zadeh, 1987).

Bulanık mantık, klasik mantıkta olduğu gibi (0,1) iki seviyeliden ziyade, aynı aralıkta da çok seviyeli işlemi ifade etmektedir. Bir sistem uzman kişi tarafından denetlendiğinde sistemin kontrolü için ‘biraz’, ‘çok’ gibi dilsel ifadeler kullanılarak, bu ifadeler değişkenler olarak kabul edilebilirler. Bulanık mantık kontrolü, dilsel ifadeleri uzman tabanlı kontrol algoritmasına çevirir. Bulanık mantık ile gerçekleştirilen karmaşık sistem kontrolünün klasik metotlara göre daha iyi sonuç verdiği bilinmektedir (Zadeh, 1987; Elmas, 2011).

Bulanık mantık yaklaşımı ilk defa 1956 yılında düzenlenen bir konferansta rapor edilmiştir. Daha sonra 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından yayınlanan bir makalede ayrıntılı olarak ele alınmıştır. İnsan düşüncesinin (0,1)’ den oluşan klasik mantık ile ifade edilemediğinden bahseden Zadeh, insan düşüncelerinin bulanık bir yapıya sahip olduğunu beyan etmiştir. Klasik yöntemlerin uygulandığı kontrol sistemlerinde problemlerle karşılaşılması nedeniyle çok seviyeli işlemlerin kullanıldığı bulanık mantık, modern kontrol alanında geniş bir kullanım alanına sahiptir (Zadeh, 1965; Yager, 1974).

4.1 Bulanık Mantık Kontrol Sistemlerinin Gelişimi

Geçmiş yıllarda teknoloji alanında gelişmiş ülkelerde ticari ve endüstriyel bulanık kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Bulanık mantığın gelecek yıllarda da gelişerek kontrol uygulamalarında yer bulacağı söylenebilir. Bulanık mantığın ilk uygulaması Mamdani tarafından 1974 yılında buhar makinesi kontrolü ile gerçekleştirilmiştir. İlerleyen yıllarda da çimento fırınlarının kontrolü ve kimyasal püskürtme cihazlarının kontrolünde kullanılmıştır. Sonraki yıllarda bulanık mantık denetleyicisi kullanılarak Japon metrosunun kontrolü yapılmıştır. Doksanlı yıllarda elektronik makine üreticileri tüketiciye bulanık mantık kontrollü ürünler sunmaya başlamıştır. Bulanık mantık temelli kontrol sistemlerinin klasik sistemlere nazaran ısı ve hız kontrolünü daha verimli yaptığı söylenmektedir. Çizelge 4.1’ de bazı şirketlerin ürettiği ürünler aktarılmıştır (Ross, 1995; Elmas, 2011).

Bulanık mantık kontrol işlemleri, kontrol sisteminin analizi, kümelerin ve mantıksal ilişkilerin oluşturulması, mevcut bilgilerin bulanık kümelere dönüştürülmesi ve modelin yorumlanması şeklindedir. Bir sistemin bulanık mantık

ile kontrolünün gerçekleştirilmesi için sistemin kurallarla ifade edilememesi gerekir. Matematiksel bir modele sahip olan bir sistem, bulanık mantık ile kontrol edilirse klasik kontrol yöntemlerinden daha kötü bir sonuç verebilir (Negoita, 1981; Elmas, 2011).

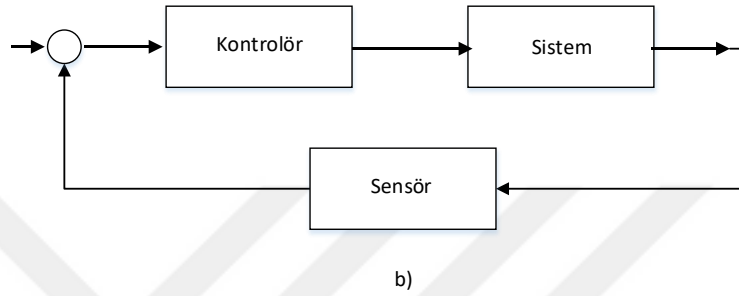
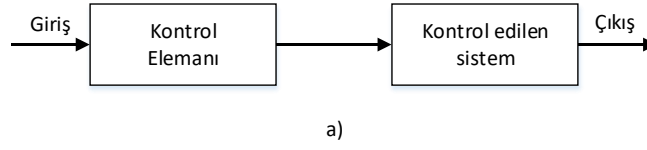
Çizelge 4.1. Bulanık mantık kontrolünün uygulamaları (Elmas, 2011)

Ürün	Şirket
Çamaşır makinesi	AEG, Sharp, Goldstar
Pirinç fırını	Goldstar
Fırın/ kızartıcı	Tefal
Mikrodalga fırın	Sharp
Elektrikli tıraş makinesi	Sharp
Buzdolabı	Whirlpool
Batarya şarj cihazı	Bosch
Elektrikli süpürge	Philips, Siemens
Camcorder	Canon, Sanyo, JVC
Klima denetimi	Ford
Isı denetimi	NASA inspace shuttle
Kredi kartı	GE corporation

4.2 Bulanık Mantık Denetleyici Sistemleri

Bir denetleme sistemi, o sistemi kontrol eden fiziksel kontrol elemanlarından meydana gelmektedir. Kontrol sistemleri açık döngü ve kapalı döngü denetim sistemleri olarak ikiye ayrılabilirler. Açık döngü kontrol sistemlerinde denetim kararları sistemin çıkışından bağımsızken, kapalı döngü kontrol sistemlerinde sistemin çıkışı denetim kararlarını etkilemektedir. Kapalı döngü sistemlerinde, algılayıcılar tarafından algılanan değer ile istenen değer, karşılaştırılarak hata sinyali oluşturulur ve buna göre sistem kontrol edilmeye çalışılır. Bu tarz sistemlerde doğru sonuçlar elde edebilmek için ölçüm yapan fiziksel elemanların ve hata sinyallerinin sağlam ve doğru olması büyük önem arz etmektedir. Hatalı çalışan bir algılayıcı eleman sistemin daha büyük hatalar doğurmasına neden olabilir. Şekil 4.1' de kapalı

ve açık döngü kontrol sistemlerinin temel şeması gösterilmiştir (Dubois ve Prade, 1980; Yuan ve Shaw, 1995).



Şekil 4.1. a) Açık döngü b) Kapalı döngü; kontrol şeması (Elmas, 2011)

4.3 Bulanık Mantık Denetleyici Sistem Tasarımı

Kontrol edilecek sistem için bulanık mantığın uygunluğunun test edilmesi gerekir. Sensör ve diğer algılama elemanlarından gelen ölçüm ve bilgiler giriş, denetim ve çıkış değişkenlerini oluşturur. Oluşturulan her bir giriş ve çıkış değişkeni için üyelik fonksiyonu tanımlanır. Tanımlanan üyelik fonksiyonları, tasarımı yapan uzman kişinin bilgi ve tecrübesine göre ayarlanmaktadır. Bulandırma işleminin yapılması ve hangi kural tabanının uygulanacağı uzman kişinin his ve tecrübelerine bağlıdır. Oluşturulan kural tabanında tasarımcı kuralların önem derecelerini tanımlar. Gerçekleştirilen tasarımı denemek amacıyla uygulanan giriş ve kurala göre elde edilen sonuç kontrol edilir. Tasarımın kullanılabilmesi için elde edilen sonuç değerinin yeterli derecede olması gerekir (Sugeno, 1992; Zadeh, 1994).

4.3.1 Denetim Kurallarının Oluşturulması

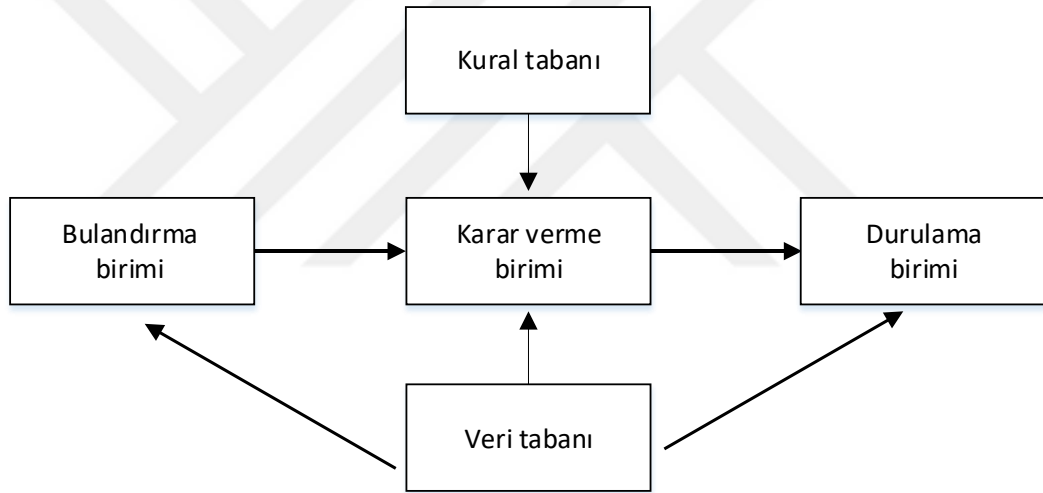
Uzman kontrol sistemleri genellikle (4.1) eşitliğindeki gibi gösterilmektedir. Bulanık denetim kuralları çok nedenli ve çok sonuçlu olabilir. Bulanık mantık

değişkenlerinin seçiminde ve kural oluşturulmasında uzman tecrübe ve bilgileri, sistemin bulanık modeli ve operatörlerin yaptığı kontrol işlemleri etkili olmaktadır (Lee, 1990; Kosko, 1997).

$$\text{Eğer durum} = X \text{ o halde denetim} = Y \quad (4.1)$$

4.3.2 Bulanık Mantık Denetleyicisinin Temel Yapısı

Bulanık mantık denetleyicileri bilgi tabanı, bulandırma, karar verme ve durulama olmak üzere dört bölümde incelenmektedir. Bilgi tabanı olarak adlandırılan kısım kural tabanı ve veri tabanı olarak iki bölümde incelenebilir. Şekil 4.2’ de bulanık mantık denetleyicisinin temel birimleri gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Bulanık mantık denetleyicisi temel birimleri (Elmas, 2011)

Bulandırma birimi sistemden alınan kontrol giriş değerlerinin dilsel ifadelere dönüştüğü birimdir. Üyelik fonksiyonlarından faydalanarak giriş bilgilerini ait olduğu bulanık kümeler atar ve üyelik derecelerini tespit ederek dilsel değerler oluşturur. Üçgen, yamuk ve çan eğrisi gibi bulanık kümeler seçilebilir.

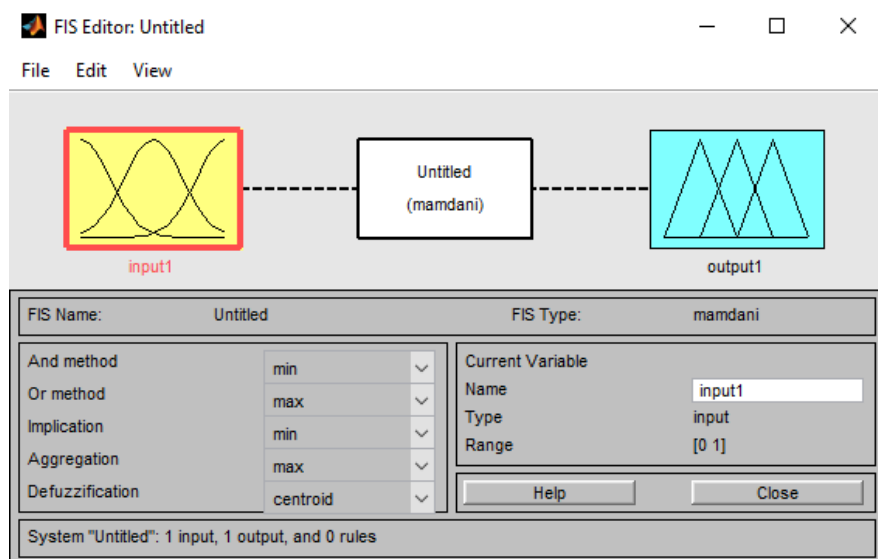
Bilgi tabanı, kural tabanı ve veri tabanı olarak ikiye ayrılabilir. Dilsel ifadelerin tanımlanmasında ve bulanık bilgi işleme sürecinde bilgi tabanı kullanılır. Kontrol edilen sistemle ilgili bulandırma, karar verme ve durulama işlemleri sırasında gerek duyulan üyelik fonksiyonlarını ve kural tablosunu bünyesinde tutmaktadır.

Karar verme birimi bulanık kontrol kısmının ana kısmıdır. Bu bölüm uzman kişi gibi bulanık kavramları ve durumları işleyebilmektedir. Ayrıca çıkarım yaparak gerekli denetimi sağlayabilir. Bulanık çıkarım için farklı yapılar bulunmaktadır. Max – dot ve Min –max bu yöntemlerden bazılarıdır.

Durulama birimi, bulanık değerlerin sayısal değerlere dönüştüğü birimdir. Karar verme biriminden gelen sembolik ifadeler kullanılabilecek sayısal değerlere dönüştürülebilir. Durulama işlemi için farklı yöntemler bulunmaktadır. Maksimum üyelik yöntemi, ağırlık merkezi ve mean – max yöntemi en çok kullanılan yöntemlerdir (Mamdani, 1977).

4.3.3 Bulanık Mantık Araç Çubuğu

Matlab programının içinde bulunan fuzzy logic toolbox, üyelik fonksiyonları oluşturma ve kural tabanı belirleme amacıyla kullanılabilir. Bu araç çubuğu sayesinde bulanık çıkarım sistemleri grafiksel ara yüz vasıtasıyla veya komut satırı fonksiyonları ile tasarlanabilir. Bulanık mantık araç çubuğu sahip olunan C yazılımının doğrudan kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca Matlab simulink programı ile bulanık sistem kontrol edilebilir. Şekil 4.3’ te Matlab bulanık mantık arayüzü verilmiştir (The Mathworks, 2012).



Şekil 4.3. Matlab programı bulanık mantık arayüzü

5. DENEY SİSTEMİNİN TASARIMI

Çalışma kapsamında yapılması düşünülen deneylerin gerçekleştirilebilmesi için bir deney sistemi tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan deney sisteminin düzgün elektrik alan oluşturabilen elektrot sistemi ve deneyler esnasında hücre kültürü veya diğer deney malzemelerini muhafaza edebilecek bir yapıda olması öngörülmüştür. Ayrıca gerçekleştirilen sistemin iç sıcaklığını bulanık mantık yoluyla kontrol edebilen ve diğer parametrelerin ölçümünü yapabilen elektronik devreler yapılmıştır.

5.1 Deney Sisteminin Yapısal Tasarımı

5.1.1 Yüksek Gerilim Elektrotlarının Tasarımı ve Yapımı

Çalışmalarda kullanılan malzemelere yüksek gerilim uygulamasında kullanılması düşünülen elektrot sisteminin, düzlemsel elektrot sistemi şeklinde olması öngörülmüştür. Böylece elektrotlar arasında kalan bölgede oluşan elektrik alan dağılımı düzgün olarak kabul edilmiştir. Kenar etkilerinin indirgenebilmesi için elektrot kenarları küresel bir biçimde sonlandırılmıştır. Disk elektrotların çapı 20 cm olarak tasarlanmıştır. Böylelikle daha büyük deney malzemelerinin test edilebilmesi amaçlanmıştır. Elektrot saplarının disk ile birleştiği noktanın alan dağılımına etkisini önlemek için, bu nokta diskin üst kısmından içeride bırakılmıştır. Disk elektrot darbeye dayanıklı sertleştirilmiş alaşımlı alüminyum malzemeden yapılmıştır. Elektrotlar CNC tornada işlenmiş ve yüzeyleri polisajlama tekniği ile parlatılmıştır. Elektrotların sap kısımları elektrotlara dişli bir biçimde bağlanmaktadır. Bu özellik sayesinde, farklı elektrot tiplerinin de kullanılması mümkündür. Ayrıca deney malzemelerine uygulanan elektrik alan şiddetini artırıp azaltabilmek amacıyla elektrot saplarının üst kısmına da diş açılmıştır. Elektrot saplarını kavrayabilecek büyüklükte polietilen bir somun ile üst ve alt elektrotlara hareket kabiliyeti kazandırılarak elektrotlar arasındaki mesafe kolayca ayarlanabilmektedir (Fidan, 2011).

Şekil 5.1’ de deney sisteminde kullanılan yüksek gerilim elektrotunun resmi verilmiştir.



Şekil 5.1. Tasarlanan yüksek gerilim elektrotunun resmi

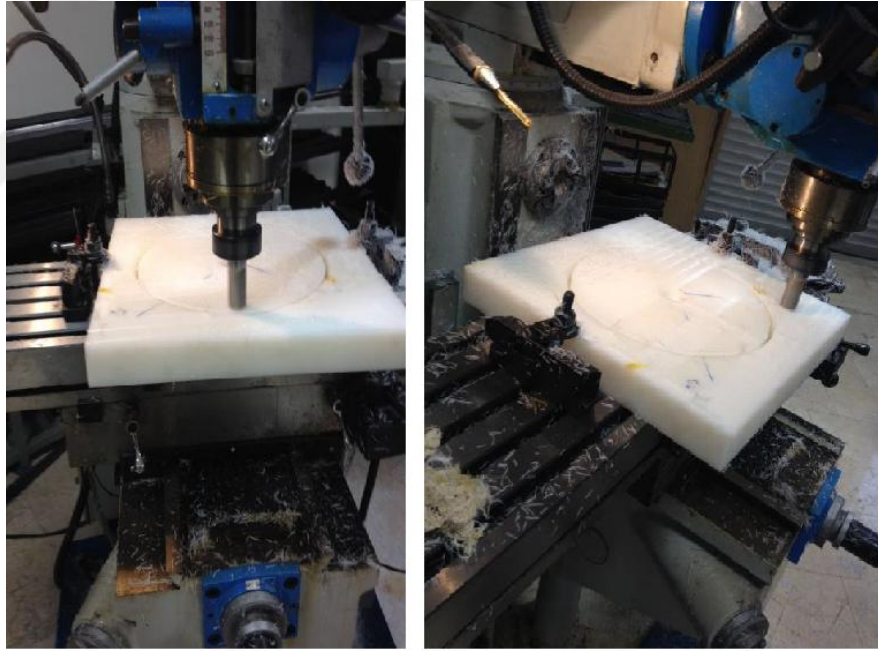
5.1.2 Deney Kabının Tasarımı ve Yapımı

Deney kabı hücre kültürüne elektrik alan uygulandığı bölümdür. Bu nedenle deney kabı hücre kültürünün zarar görmeden saklanabileceği bir inkübatör yapısı şeklinde tasarlanmıştır. Söz konusu inkübatörün sızdırmaz özellikli ve sıcaklık kontrollü olması öngörülmüştür.

Yüksek gerilim deneyleri sırasında deney numunelerinin çıplak göz ile gözlemlenmesi çok önemlidir. Olası istenmeyen bir boşalma veya kısa devre durumunda deney düzeneğine hızla müdahale edilmesi gerekebilir. Bu sebeple deney kabı 30 cm çapında ve 5 mm et kalınlığında şeffaf pleksiglas bir borudan imal

edilmiştir. Pleksiglas, polimetilakrilat esaslı termoplastik bir malzeme olup yüksek ışık geçirgenliğine sahiptir. Pleksiglas malzemeler, normal cama oranla darbelere 6 kat daha dayanıklıdır. Isıyı %20 daha az iletir bu nedenle izolasyon görevini iyi biçimde yerine getirebilir. Şeffaf yapısı ile de içi görünebilen bir inkübatör mantığına destek olabilen bir malzemedir. Ayrıca pleksiglasın maksimum akma sıcaklığı 80° C olup dış ortam koşullarına, neme ve kimyasal etkilere karşı dirençlidir (Baltscheffsky vd., 1986; Fidan, 2011).

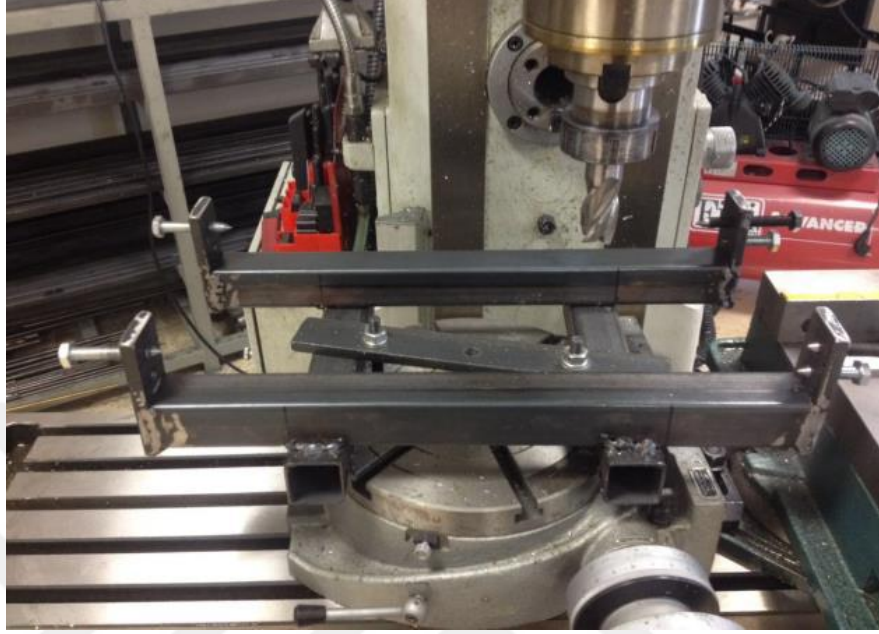
Şekil 5.2’ de görülen deney kabının alt ve üst kapakları polietilen malzemeden torna ve freze yardımıyla talaşlı imalat tekniği ile yapılmıştır. Polietilen talaşlı imalat ile kolayca şekillendirilebilen yüksek ısı, nem ve kimyasal dayanıma sahip bir malzeme olduğu için bu çalışmada tercih edilmiştir. Ek olarak polietilen yüksek gerilime dayanıklı ve ucuz bir malzemedir. Polietilen kapakların et kalınlığı 4 cm olması olarak ayarlanmıştır.



Şekil 5.2. Deney kabının alt ve üst kapaklarının polietilen malzemeden işlenmesi

Alt ve üst kapakların kalın ve dayanıklı olması ısı yalıtımı ve sistemin sağlam olması açısından önem arz etmektedir. Deney kabı polietilen kapaklarının boru biçimindeki bir pleksiglas malzemeye bağlanabilmesi için üzerine dairesel kanallar açılmıştır. Dairesel kanalların genişliği 5 mm olup, pleksiglas malzemenin et

kalınlığı kadar olması öngörülmüştür. Dairesel kanalların açılabilmesi için özel bir divizör (döner mengene) bağlantı aparatı tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen aparat Şekil 5.3' te gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Divizör için bağlantı aparatı

Geliştirilen deney sisteminin özelliklerinden biriside mobilize olmasıdır. Böylece deney düzeneği istenilen ortamlara taşınarak çalışma gerçekleştirilebilir. Deney kabının imalat aşamaları (talaşlı imalat, kaynak, boya, kesme, şekillendirme vb.) A.İ.B.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Atölyesinde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deney kabının ilk aşamadaki hali Şekil 5.4' te paylaşılmıştır. Bu aşamada kapaklar, elektrotlar, pleksiglas muhafaza ve mobil ayaklar bulunmaktadır.

Şekil 5.4' te ki haliyle sistem üzerinde sıcaklık kontrolleri sağlanmaya çalışılmıştır. Sensörler pleksiglas üzerinde bulunan delik üzerinden iç kısma sarkıtılmışlardır. Isıtma işlemi ise sadece toprak elektrotu üzerinden yapılmaya çalışılmıştır. Fakat denemeler esnasında sıcaklık seviyelerinde aşırı dalgalanmalar gözlenmiştir. Bu dalgalanmaların giderilmesi için pleksiglas borunun etrafı cam ile koruma altına alınarak sıcak hava ceketini oluşturulmaya çalışılmıştır. Gerçekleştirilen eklemeler sonucunda sıcaklık dalgalanmaları önemli miktarda azalmıştır. Şekil 5.5' te deney sisteminin tamamlanmış durumu verilmiştir.



Şekil 5.4. Deney sisteminin ilk tasarımı ve gerçekleştirilmesi



Şekil 5.5. Deney sisteminin tamamlanmış durumu

5.2 Elektrik Alan Oluşturulmasında Kullanılan Yüksek Gerilimler

Bu bölümde çalışmalarda kullanılan yüksek gerilimlerin üretilmesi ve ölçülmesi ele alınmıştır. Ek olarak farklı çalışmalar içinde kullanılması muhtemel

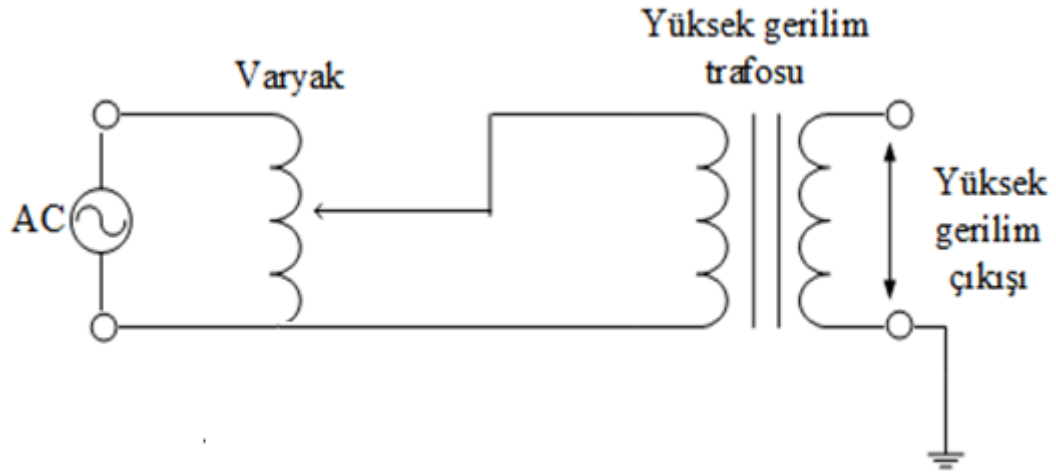
yüksek gerilimlerin üretilmesi konu edilmiştir. Birinci kısımda alternatif yüksek gerilim üretim ve ölçümü, ikinci kısım da yüksek doğru gerilim üretimi ve ölçümü, son bölümde ise darbe gerilim üretimi ve ölçümü ele alınmıştır.

5.2.1 Alternatif Yüksek Gerilimlerin Üretilmesi ve Ölçülmesi

Laboratuvar koşullarında yüksek gerilimlerin üretilmesinde en sık kullanılan yöntemlerden birisi transformatör kullanmaktır. Deneysel çalışmalarda yüksek alternatif gerilim elde edilebilmesi için 220/50000 V dönüştürme oranına sahip yağ yalıtımlı bir deney transformatörü kullanılmıştır. Tek fazlı transformatör bir varyak tarafından beslenerek transformatörün çıkış gerilimi manuel olarak kontrol edilmiştir. Kısa devre anında oluşabilecek aşırı akımı önlemek amacıyla akım sınırlayıcı bir ön direnç yapılmıştır. Yapılan ön direnç, yüksek gerilim trafosunun çıkış kısmına bağlanarak aşırı akımlardan dolayı sistemin zarar görmesi engellenmeye çalışılmıştır. Deney numunelerine uygulanan yüksek gerilimler, geliştirilen rezistif bir gerilim bölücü yardımıyla ölçülmüştür.

Yüksek gerilim deney transformatörleri güç transformatörlerine benzer şekilde tasarlanır. Temel farkları, daha küçük güçlü olmalarıdır. Transformatörün yalıtım tasarımı, yüksek gerilim deneyleri sırasında ortaya çıkan zorlanmalar göz önüne alınarak yapılır (Chapman, 2013).

Çalışmalarda varyaktan alınan çıkış gerilimi ile deney transformatörünün primer sargısı beslenmiştir. Sekonder sargısından ise yüksek gerilim çıkışı elde edilmektedir. Şekil 5.6’ da bağlantı şekli ve çalışma mantığı görülmektedir. Transformatörlerin herhangi bir hareketli parçası olmadığından ve fiziksel zorlanmalara maruz kalmadıklarından dolayı çalışma verimleri oldukça yüksektir. Bu yüzden giriş ve çıkış güçleri sabit kabul edilip gerilim ve akım oranları bu yönde belirlenebilir. Deneysel çalışmalarda kullanılan transformatörün giriş gerilimi 220 V ve çıkış gerilimi 50 kV değere sahiptir. Bu verilere göre deney transformatörünün çevirme oranı $n= 220/50000$ olarak ifade edilebilir.



Şekil 5.6. Varyak ve transformator bağlantı şeması

Varyak (oto transformator) genellikle tek sargılı bakır telin toroidal bir saç nüve üzerine sarılmasıyla elde edilir. Kullanılan bu sargı hem primer hem de sekonder görevi üstlenerek, gerilim dönüşümü sağlar. Çalışmada kullanılan varyak için giriş gerilimi $220 V_{AC}$ olarak, çıkış gerilimi ise fabrika verilerine göre $0 - 250 V_{AC}$ olarak verilmiştir. Varyak yardımıyla yüksek gerilim trafosundan alınan çıkış gerilimi $0 - 50 kV$ aralığında ayarlanabilmektedir. Şekil 5.7’ de yüksek gerilim transformatorünün beslenmesinde kullanılan varyak paylaşılmıştır.



Şekil 5.7. Yüksek gerilim transformatorünün beslenmesinde kullanılan varyak

Yüksek gerilim deneysel çalışmaları sırasında kısa devre oluşabilme riski her zaman söz konusudur. Bu nedenle yüksek gerilim elemanlarının kısa devre sırasında

aşırı akımlardan korunması gerekmektedir. Kısa devre sırasında deney malzemelerinden ya da diğer elemanlardan geçen aşırı akımı sınırlandırmak koruma yöntemi olarak kabul edilmektedir. Akım sınırlama amacıyla yüksek gerilim transformatörü ile deney sistemi arasına seri bir ön direnç yerleştirilebilir. Belirli değerlerde yüksek gerilim direnci elde edebilmek için uygun sayıda ve güç değerinde alçak gerilim dirençleri seri olarak bağlanabilir (Fidan, 2011).

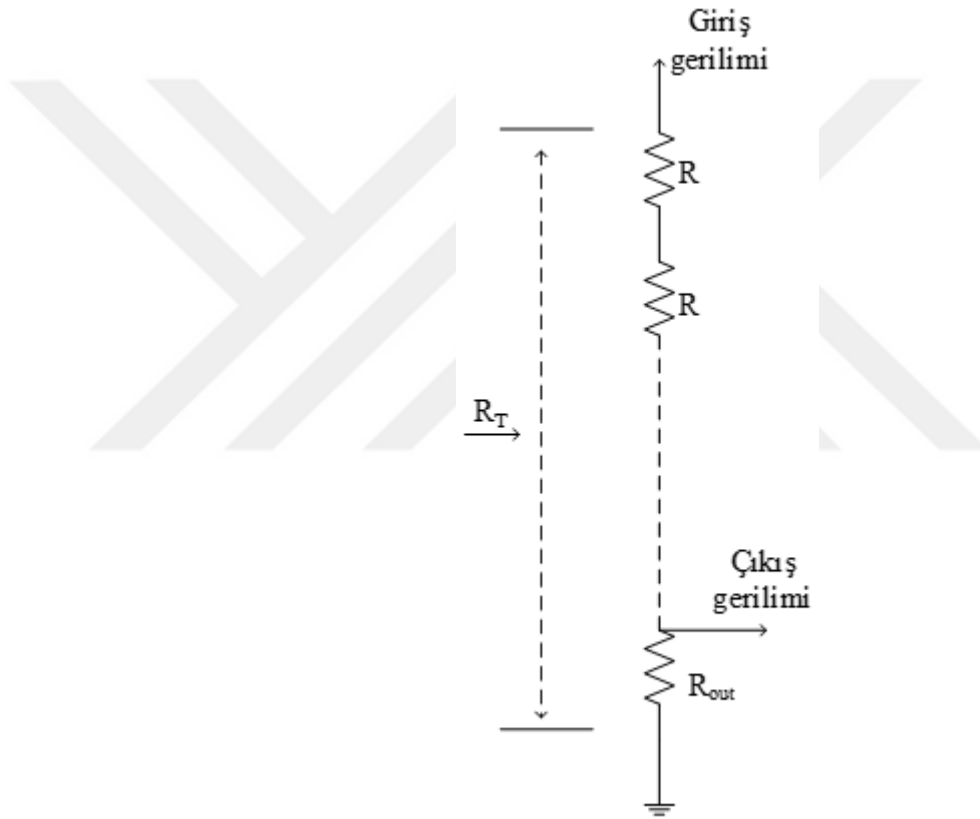
Bu çalışmada 66 adet $22\text{ k}\Omega$ 5 Watt gücünde alçak gerilim direnci kullanılarak, yüksek gerilim direnci yapılmıştır. Dirençler bir kaidenin üzerine monte edilerek birbirleri ile bağlantıları lehimlenerek yapılmıştır. Güvenlik sağlanması amacıyla geniş yalıtkan bir boru yardımıyla muhafaza altına alınmıştır. Şekil 5.8’ de ön direncin içyapısı ve son hali görülmektedir. Yalıtkan borunun üst ve alt kısmına kapak yapılarak diğer elemanlarla bağlantısı için somun ve civata monte edilmiştir.



Şekil 5.8. Ön direnç içyapısı ve tamamlanmış hali

Yapılan deneyler sırasında uygulanan gerilim seviyesinin doğru olarak ölçülmesi ve belirlenebilmesi deneylerin güvenilirliği açısından büyük önem arz etmektedir. Yüksek gerilim seviyesinin ölçüm yapılabilecek bir alçak gerilim seviyesine indirgenmesi gerekmektedir. Yüksek gerilimler ölçüm yapılabilecek alçak gerilim seviyelerine gerilim bölücü veya transformatörler yardımıyla

indirgenebilirler. Fakat doğru gerilimlerde transformatörlerle ölçüm yapılamamaktadır. Kullanışlı olması açısından gerilim bölücüler ile ölçüm yapmak daha çok tercih edilmektedir. Kapasitif ve rezistif olarak ikiye ayrılan gerilim bölücüler kullanılabilir. Ölçülmek istenen yüksek gerilim belirli bir dönüştürme oranına sahip olan gerilim bölücüyü uygulanır. Alçak gerilim seviyesinde olan çıkış ucundan uygulanan gerilim ölçüm cihazları yardımıyla tespit edilir. Yüksek gerilim bölücülerini yüksek direnç değerine sahip olarak tasarlandıklarından dolayı akım çekmezler. Şekil 5.9’ da rezistif bir gerilim bölücünün devre şeması paylaşılmıştır (Fidan, 2011).



Şekil 5.9. Gerilim bölücü devre şeması

Eşitlik (5.1) ve (5.2) de gerilim bölücü üzerinden geçen akım ve dönüştürme oranı ifade edilmiştir. Alçak gerilim dirençleri seri bağlanarak yapılan gerilim bölücünün toplam direnç değeri 50 MΩ olarak ayarlanmıştır. Kullanılan alçak gerilim dirençleri 2 Watt güce sahip olup 480 kΩ ve 100 kΩ değerindedir. Çıkış direnci olan 50 kΩ iki tane 100 kΩ değerindeki direncin paralel olarak bağlanmasıyla elde edilmiştir. Lehimleme aşamasında sivri uç kalmaması için

bağlantı noktalarının eğrilik yarıçapı büyük yapılmıştır. Seri olarak bağlanan dirençler yalıtkan bir aksamın üzerine yerleştirilmiştir. Dış etkilerden korumak ve güvenlik sağlaması amacıyla yalıtkan bir boru ile muhafaza altına alınmıştır. Tasarlanan gerilim bölücü akredite yüksek gerilim laboratuvarında kalibrasyon testine tabi tutularak dönüştürme oranı 1/1041 olarak tespit edilmiştir. Belirlenen çalışma geriliminin üzerindeki gerilimlerde gerilim bölücünün kısmi boşalma miktarı 1 pC üzerinde çıktığı için gerilim bölücünün kararlı çalışma aralığı 0 – 30.000 V olarak kabul edilmiştir. Gerilim bölücü metal bir kaide üzerine yerleştirilerek altına tekerlekli ayaklar yapılmıştır. Ölçümler esnasında metal kaide topraklanmaktadır. Çıkış direnci üzerindeki gerilim, voltmetre veya osiloskop yardımıyla ölçülmektedir. Şekil 5.10’ da gerilim bölücünün içyapısı ve son hali görülmektedir. Gerilim bölücünün üst kısmına yüksek gerilim bağlantısının yapılabilmesi için bağlantı aparatı yapılmıştır.

$$I = \frac{V}{R_T} \quad (5.1)$$

$$\alpha = \frac{R_{out}}{R_T} \quad (5.2)$$

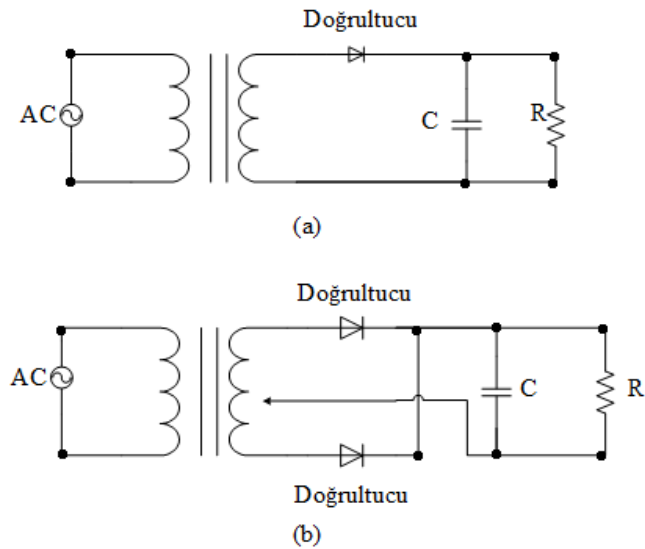


Şekil 5.10. Gerilim bölücü içyapısı ve tamamlanmış vaziyeti

5.2.2 Doğru Yüksek Gerilimlerin Üretilmesi ve Ölçülmesi

Yüksek gerilim teknolojisinde, doğru gerilimler bilimsel çalışmalar ve yüksek gerilim ekipmanlarını test etmek amacıyla kullanılmaktadır. Yüksek doğru gerilimler uygulamalı fizik, medikal ürünler, endüstriyel uygulamalar ve elektrostatik boyama gibi alanlarda kullanım olanağı bulmaktadır. Doğru gerilimler çoğunlukla alternatif gerilimlerin doğrultulması ile elde edilmektedir. Kullanılan tüm doğrultma devreleri uzun zamandır bilinmesine rağmen katı hal doğrultucularının ucuz ve kullanışlı olması bu devrelerin üretimini ve uygulamasını temel olarak kolaylaştırmıştır. Doğrultma maksatlı kullanılan diyotların bir çoğunluğu silikon tabanlı olup ters besleme gerilimleri 2500 V seviyesinin altında bulunmaktadır. Düşük dayanma gerilimlerine sahip diyotların seri bağlanması ile daha yüksek gerilimlere dayanabilen diyot kümelerinin oluşturulması mümkündür (Kuffel ve Zaengl, 2004).

Yüksek doğru gerilim üretmenin kolay yöntemlerinden biri yarım dalga doğrultucu kullanmaktır. Şekil 5.11' de yarım dalga ve tam dalga doğrultucu genel devre şeması paylaşılmıştır. Kullanılan diyotlar alternatif gerilim kaynağının tepe değerinin en az iki katı ters besleme gerilimine sahip olmaları gerekmektedir. Yarım dalga doğrultma işleminde sadece diyot kullanıldığında pozitif dalga şekli görülür. Bu çıkışı pürüzsüzleştirmek için kondansatör grubu eklenebilir. Test elemanı veya cihazı belli bir kapasiteye sahip ise ek olarak kondansatör grubu eklemeye gerek olmayabilir (Lucas, 2001; Wadhwa, 2007).

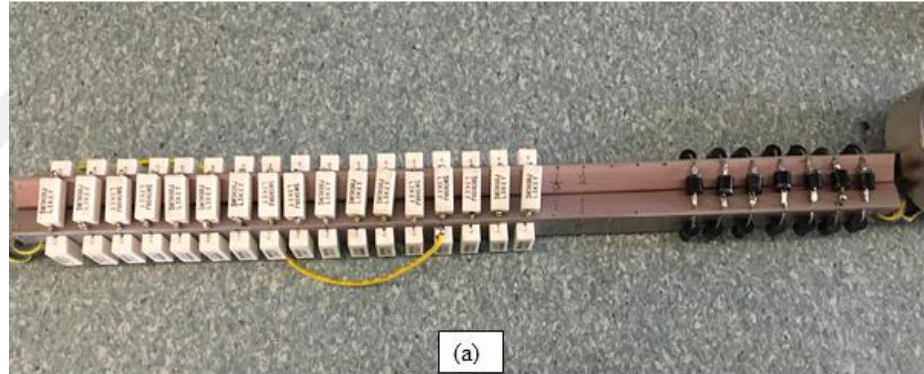


Şekil 5.11. a) Yarım dalga doğrultucu b) Tam dalga doğrultucu

Yarım dalga doğrultma işleminde diyot iletimde iken C kondansat6r6 uygulanan gerilimin maksimum seviyesine doğru şarj olur. Diyot kesimde iken C kondansat6r6 boşalmaya başlar. Bu dolup boşalma s6relerini y6k ve kondansat6r grubu ile uygulanan gerilimin frekansı etkiler. şekil 5.12 ve şekil 5.13' te sırasıyla deney sisteminde kullanılan kondansat6r bloğu ve doğrultucu kısmı yer almaktadır.



şekil 5.12. Kondansat6r bloğu



şekil 5.13. Doğrultucu bloğu a) içyapısı b) tamamlanmış hali

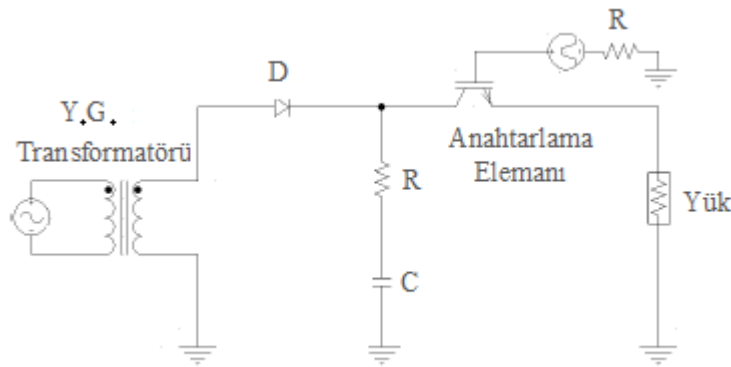
şekil 5.13' te g6r6len doğrultucu b6l6mde 21 adet 6A10 diyot kullanılmıştır. Kullanılan bu diyotlar 1 kV DA gerilimde çalışabilmektedir. Diyot kısmından sonra

akım sınırlaması için ön direnç yerleştirilmiştir. Doğrultma esnasında gerilimi filtreleyen bölüm kondansatör bloğudur. Bu blokta toplamda 19 adet her biri 400 V 200 uF değere sahip kondansatör bulunmaktadır. Kondansatörler birbirine seri olarak bağlanmışlardır. Üretilen doğru gerilim bir önceki bölümde yapımından bahsedilen gerilim bölücü ile ölçülmektedir. Ölçüm cihazı olarak osiloskop kullanılmıştır.

5.2.3 Darbe Gerilimlerin Üretilmesi ve Ölçülmesi

Darbe üreteçleri, yüksek değerli kısa süreli elektrik darbeleri üreten yapılardır. Bu darbeleri elde edebilmek için yüksek gerilim güç kaynağına, kondansatörlere ve anahtarlama elemanlarına ihtiyaç duyulur. Bazı çalışmalarda enerji depolamak için endüktif elemanlarda kullanılabilir (Baker ve Pocha, 1990; Gad, 2014; Qin, 2014).

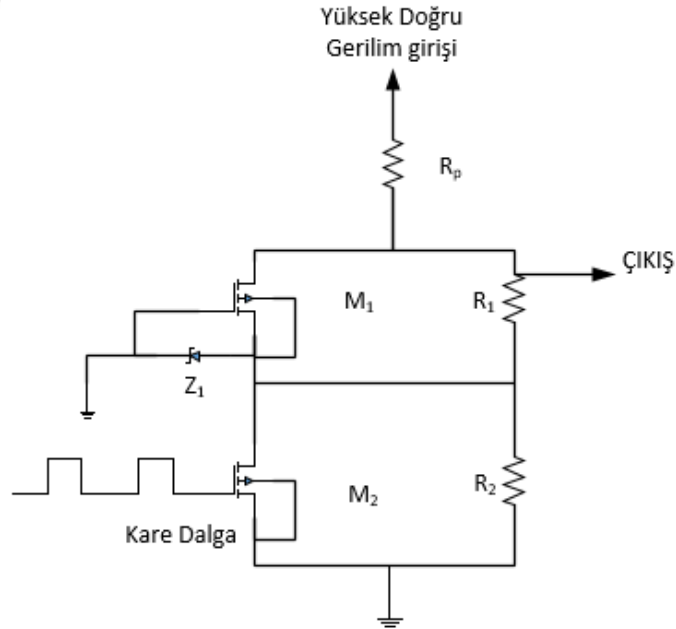
Kondansatörler yüksek gerilim güç kaynağı tarafından doldurulurlar. Doldurulan kondansatörler anahtarlama elemanı tarafından anahtarlandığında enerji darbenin uygulanacağı tarafa doğru hareket eder ve kondansatörler kısa süre içerisinde boşalır. İdeal durumda kondansatörlerde bulunan enerji tamamen deney elemanı üzerine gider. Şekil 5.14' te PEF kaynaklarının genel devre şeması paylaşılmıştır. Fakat gerçek durumda kayıpların meydana gelebileceği gerçeği unutulmamalıdır. Gerçekleştirilen dikkatli tasarımlarla kayıplar azaltılarak verimlilik artırılabilir. Uygulanan elektrik alanlar çeşitli dalga şekillerine sahip olabilirler. Bunlar eksponansiyel azalan, kare dalga, bipolar kare dalga ve osilasyonlu dalga olarak sıralanabilir (Qin vd., 1994; Grenier, 2006).



Şekil 5.14. Darbe elektrik alan üreticinin genel devre şeması

Günümüzde anahtarlama elemanı olarak yarı iletken teknolojisinden faydalanılarak üretilen devre elemanları kullanılmaktadır. Yüksek anahtarlama hızına sahip olan yarı iletken anahtarlar (mosfet, IGBT vb.), sürücüler ile kontrol edilebilirler. Yüksek gerilimlerin anahtarlandığı darbe elektrik alan uygulamalarında yarı iletken anahtarlar geniş yer bulmaktadır. Biyoteknoloji ve medikal alanında elektroporasyon amacıyla kullanılan darbe elektrik alanlar oluşturulurken, mosfet ve IGBT temelli PEF kaynakları kullanılmaktadır (Mnakowski ve Mristiansen, 2000; Chaney ve Sundararajan, 2004; Sundararajan, 2004).

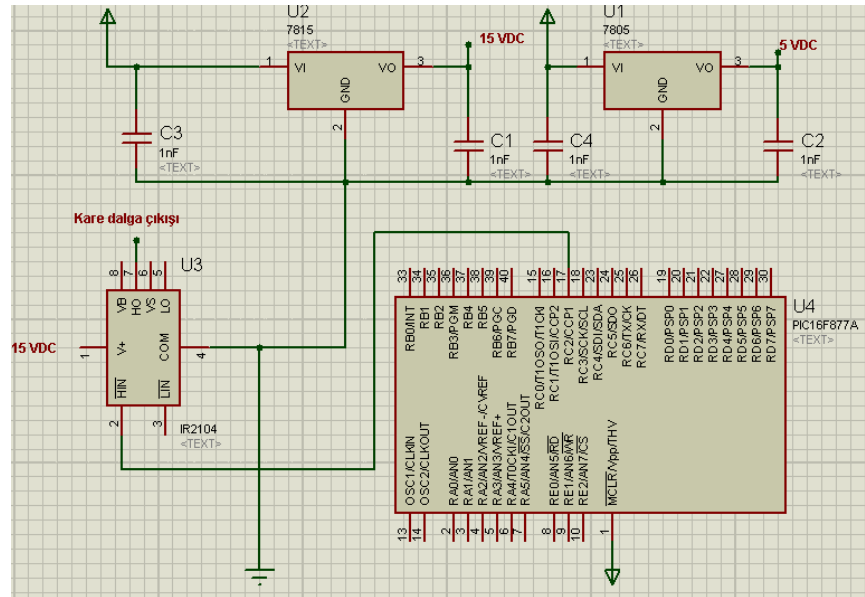
Elektroporasyon, hücrelere veya dokulara kısa zamanlı yüksek güçte elektriksel alan uygulanarak hücre zarında nanometre boyutunda geçici gözeneklerin oluşması mantığına dayanır. Elektroporasyon işlemi hücre zarı üzerinde geçici ve kalıcı etkilere sebep olabilir. Geçici durumda açılan gözenekler geri kapanabilmektedir. Kalıcı durumda ise açılan gözenekler geri kapanamayıp hücrenin ölmesine neden olabilmektedir. Uygulanan elektrik alanın şiddeti ve süresi düzgün olarak ayarlanırsa hücre zarında geri dönüşebilir bir geçirgenlik sağlanabilir (Grenier, 2006; Pakhomov vd., 2010).



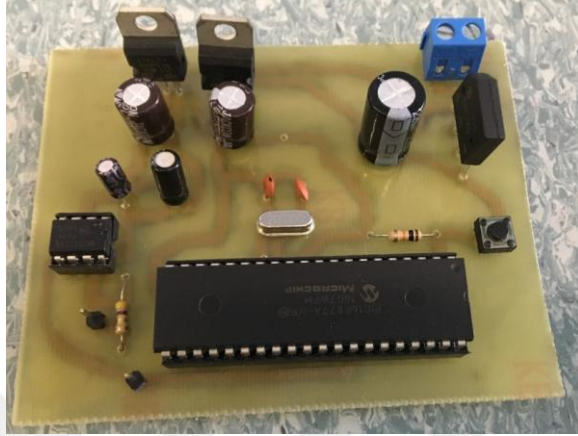
Şekil 5.15. Seri bağılı Mosfet transistörler ile yapılan devre şeması (Hess ve Baker,2000)

Elektrik alan uygulamalarında darbe şekli, süresi ve genliği büyük önem taşımaktadır. Hedeflenen işleme göre darbeye ilişkin parametreler ayarlanmalıdır.

Tasarımı yapılan PEF generatörlerinde parametrelerin ayarlanabilir olması büyük bir avantajdır. Gelecek çalışmalarda kullanılabilirliği açısından bu çalışma kapsamında 2 kV darbe genliğine sahip kare dalga generatörü gerçekleştirilmiştir. Söz konusu darbe üretici yüksek V_{ds} değerine sahip mosfet veya IGBT' lerin seri olarak birbirine bağlanması temeline dayanmaktadır. V_{DS} değeri mosfet transistörün drain ve source bacağı arasındaki gerilimi ifade etmektedir. Seri Mosfet transistörlerin herbirine paralel olarak bir direnç bağlanmaktadır. Mosfetler kesimde iken güç kaynağından gelen akım dirençler üzerinden akmaktadır. Şekil 5.15' te darbe üreticinin genel devre şeması verilmiştir. DA güç kaynağı olarak daha önce yapımından bahsedilen doğru gerilim güç kaynağı kullanılmıştır. Şekil 5.15' te görülen R_p direnci, M_1 ve M_2 ile gösterilen mosfet transistörler iletimde iken geçen akımı sınırlandırmaktadır. R_p direnç değerinin küçük seçilmesi, darbe genliğinin daha büyük olmasını sağlamaktadır. R_1 ve R_2 direnç değerleri bu nedenle büyük seçilmeye çalışılmıştır. Z_1 zener diyotu M_1 mosfetini anahtarlama için kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan mosfet transistörler 2SK1271 tipi güç transistörleridir. 2SK1271 mosfet 1400 V V_{ds} ve 3 A I_{ds} akım değerine sahiptir. I_{ds} akımı mosfet transistörün drain source akımını ifade etmektedir. En alt kademeye bağlanan mosfet kare dalga ile anahtarlama yapılmaktadır. Anahtarlama için IR2104 tipi mosfet sürücü tercih edilmiştir. Frekans ve darbe genişliği mikrodenetleyici kullanılarak kontrol edilmiştir. Güç mosfetini sürmek için kullanılan genel devre şeması Şekil 5.16' da verilmiştir.



Şekil 5.16’ da gösterilen devre şemasının baskı devre kartı tasarlanarak yapımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan kare dalga üreticinde IR2104 tipi mosfet sürücü entegresi 15 V ile beslenmektedir. Bu nedenle 7805 gerilim regülatörüne ek olarak 7815 gerilim regülatörü kullanılmıştır. Tamamlanan kontrol kartının görüntüsü Şekil 5.17’ de verilmiştir.



Şekil 5.17. Mosfet sürücü kartı

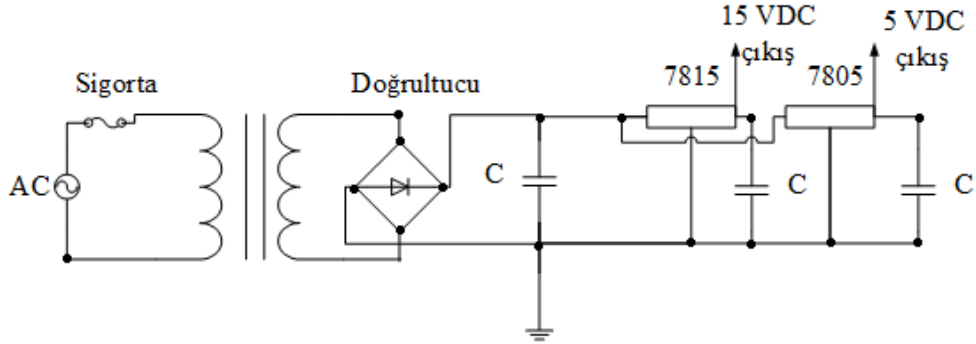
5.3 Elektronik Devreler ve Güç Modülleri

Deney odacığını istenilen sıcaklık seviyesinde tutabilmek için sistem rezistif ısıtıcılar yardımıyla ısıtılmaktadır. Deney odacığının sıcaklığı bulanık mantık yöntemiyle kontrol edilmekte olup ısıtıcılar mosfet transistörler yardımıyla anahtarlanmaktadır. Anahtarlama işi mikrodenetleyiciden alınan PWM sinyalleri ile yapılmaktadır. Alınan sinyallerin doluluk boşluk oranları bulanık mantık denetleyici yardımıyla belirlenmektedir. Ayrıca deney sisteminin iç kısmındaki nem, CO₂ (hava kalitesi) ve basınç bilgileri sensörler yardımıyla takip edilip deney esnasında ortam şartlarının durumunu kullanıcıya sunabilmektedir. Aşağıdaki bölümde sistemin kontrol devreleri, ısı/sıcaklık kontrol devreleri ve güç modülü ele alınmıştır.

5.3.1 Güç Modülü

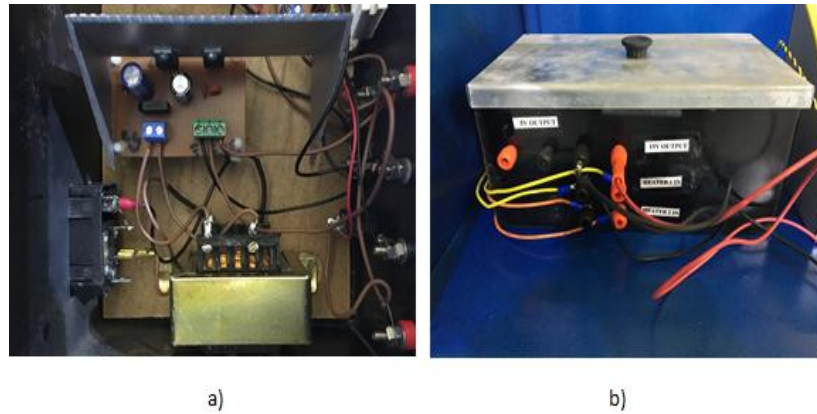
Bu modül, sistemi kontrol eden devre elemanlarının ve kontrol kartlarının ihtiyacı olan enerjiyi sağlamaktadır. Güç modülü doğrudan şehir şebekesi ile beslenebilmekte olup 5 V_{dc} ve 15 V_{dc} çıkış gerilimlerine sahiptir. Bu modül, deney

sistemini herhangi bir dış güç kaynağına bağlı kalmadan istenilen ortamlarda çalışabilmesi için geliştirilmiştir.



Şekil 5.18. Güç modülünün genel devre şeması

Şekil 5.18’ de görüldüğü gibi güç devresinde transformatör, doğrultucu, 7805 ve 7815 gerilim regülatörleri kullanılmıştır. Devreyi besleyen transformatör 220 V / 24 V dönüştürme oranına sahiptir. Transformatörün primer kısmına yerleştirilen cam sigorta ile olası kısa devre anındaki aşırı akımlar engellenmiştir. Sistemde bulunan gerilim regülatörleri sayesinde 5 V_{dc} ve 15 V_{dc} sabit gerilim elde edilmiştir. Şekil 5.18’ de görülen kondansatörler ile gerilim dalgalanmaları engellenmektedir. Şekil 5.19’ da devre kartı ve kullanıma hazır durumu verilmiştir.

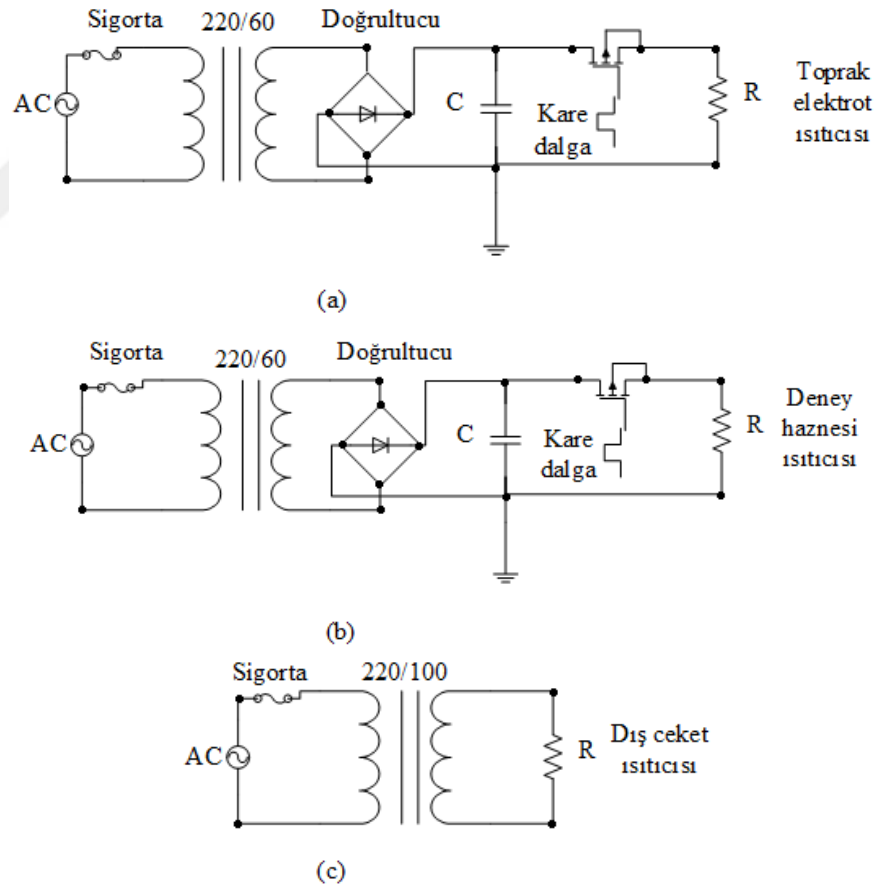


Şekil 5.19. Güç modülünün a) Devre kartı, b) Tamamlanmış durumu

5.3.2 Isıtıcı Besleme Modülü

Deney sisteminde üç adet rezistif ısıtıcı bulunmaktadır. Bu ısıtıcılardan birincisi sıcak hava ceketini oluşturabilmek için pleksiglas boru ile cam arasına

yerleştirilmiştir. Bu ısıtıcı Şekil 5.20 c’ de görüldüğü gibi 100 V alternatif gerilim ile beslenmekte olup deneyler sırasında sürekli devrededir. Bu ısıtıcının kullanım amacı sıcak hava ceketini oluşturarak deney odacığının ısınıp dış ortamdan izole etmektir. Isıtıcılardan ikincisi Şekil 5.20 b’ de görüldüğü gibi mosfet transistör yardımıyla anahtarlanarak kontrol edilmektedir. Deney odacığının istenilen ısı değerine getirilmesi için kullanılan bu ısıtıcı, sensörlerden gelen sıcaklık bilgisi dahilinde mikrodenetleyicinin gönderdiği PWM sinyalleri ile kontrol edilmektedir. Son olarak üçüncü ısıtıcı ise toprak potansiyelindeki elektrotun içine yerleştirilmiş olup elektrot sıcaklığını ayarlamak için kullanılmaktadır. Benzer olarak bu ısıtıcıda şekil 5.20 a’ da görüldüğü gibi mikrodenetleyiciden gelen PWM sinyalleri ile kontrol edilmektedir. Şekil 5.20’ de görüldüğü gibi her ısıtıcı birbirinden bağımsız olarak beslenmektedir. Şekil 5.21’ de ise gerçekleştirilen ısıtıcı besleme modülü paylaşılmıştır.



Şekil 5.20. Isıtıcı besleme genel devre şeması; a) Elektrot ısıtıcısı, b) Deney odacığı ısıtıcısı, c) Dış ceket ısıtıcısı



Şekil 5.21. Isıtıcı besleme modülünün görüntüsü

Isıtıcıların anahtarlanmasında IRF630N isimli N kanal mosfet kullanılmıştır. IRF630N, 200 volt V_{ds} gerilimi ve 9 A I_{ds} akım değerine sahip bir mosfet olup IR2104 tipi mosfet sürücü entegresi ile anahtarlanmıştır.

5.3.3 Kontrol Kartının Tasarımı

Deney sisteminin sıcaklık kontrolü bulanık mantık yoluyla gerçekleştirilmiştir. Toprak potansiyelindeki elektrot sıcaklığı ve deney odacığının iç sıcaklığı kontrol edilen parametreler arasındadır. Bu parametrelere ek olarak deney odacığının nem oranı, hava kalitesi (CO_2) ve basınç miktarı da deneyler sırasında takip edilebilmektedir. Bu kontrolü ve takibi gerçekleştirebilmek için analog ve sayısal çıkışlara sahip farklı özelliklerdeki sensörler kullanılmıştır. Kullanım kolaylığı ve arıza tespitinin kolay yapılabilmesi için sensör beslemeleri ve çıkışları tek bir kart üzerinde toplanarak, elde edilen çıkışlar kablolar yardımıyla mikrodentleyicinin bulunduğu devreye aktarılmıştır.

Sensörler sistemdeki değişimleri, gözlemlenebilir ve kontrol edilebilir bir biçimde sayısal veya analog olarak denetleyici birimine aktarmaktadır. Kontrol sistemlerinin kaliteli ve güvenilir olması ölçme devresinin doğru çalışmasına bağlıdır. Sensörler 5 V_{dc} çalışma gerilimine ihtiyaç duymakta olup, bu gerilim 7805 regülatörü ile karşılanmaktadır. Sistemde sıcaklık ölçmek için 3 adet DS18B20, nem

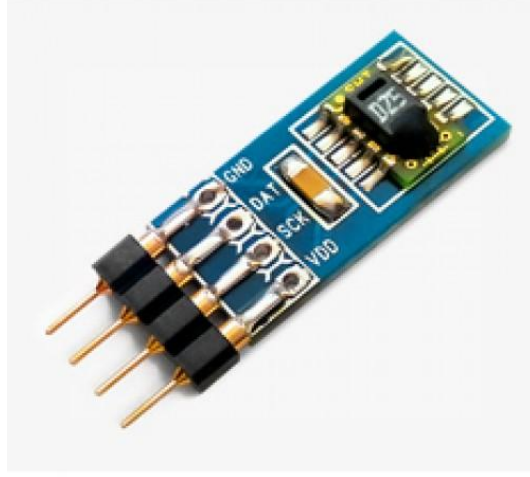
ölçmek için SHT11, hava kalitesi ifadesi olan CO₂' yi ölçmek için MQ135 ve basınç ölçmek için MPX5700 basınç sensörü tercih edilmiştir.

DS18B20 sıcaklık sensörü -10 / +85° C ölçüm aralığında 12 bit çözünürlüğe sahip sayısal bir sensördür. DS18B20 iletişim için sadece bir port kullanması, düşük enerji gerektirmesi ve yüksek hassasiyeti nedeniyle tercih edilmiştir. DS18B20 sıcaklık sensörü 1 wire protokolünü kullanmaktadır. Bu protokol Maxim firması tarafından geliştirilen tek hat üzerinden çift yönlü veri aktarma imkanı sağlayan bir protokoldür. Şekil 5.22' de DS18B20 sıcaklık sensörü görülmektedir. Kullanılan üç sensörden iki tanesi elektrot sıcaklığını ölçmek için toprak potansiyelindeki elektrot üzerinde açılan ufak deliklerin içine yerleştirilmiştir. Sensör metal kılıfı sayesinde toprak potansiyelindeki elektrotun sıcaklığını kayıpsız bir şekilde ölçebilmektedir. Diğer sıcaklık sensörü ise deney yapılan laboratuvar ortamının sıcaklığını ölçmektedir. Kullanımı esnasında herhangi bir ek elemana gereksinim duymadan doğrudan mikrodenetleyiciye bağlanmaktadır. Gelen bilgileri anlamlı hale getirebilmek için üretici firma tarafından sunulan kaynak dosya kullanılmıştır (Maxim integrated, 2015).



Şekil 5.22. DS18B20 sıcaklık sensörü

SHT11, sıcaklık ve nem ölçümü yapabilen yüksek hassasiyete sahip sayısal bir sensördür. Sensör besleme gerilim 5 V_{dc} olup kolay bir kullanıma sahiptir. Çalışmada SHT11 sensörünün kullanımını basitleştiren Şekil 5.23' te ki modül yapı tercih edilmiştir.



Şekil 5.23. SHT11 sıcaklık ve nem sensörü

Hava kalitesini belirlemek için kullanılan MQ 135 tipi sensör NH_3 , benzen ve CO_2 gazlarının ölçümünde kullanılabilir. Bu çalışmada kullanım amacı deney odacığındaki CO_2 miktarını belirlemektir. Ev ve iş yeri uygulamalarında geniş kullanım alanına sahip olan sensör, kolaylığı açısından Şekil 5.24’ te görüldüğü gibi modül olarak temin edilmiştir. MQ 135 sensörü sayısal ve analog çıkış verebilmektedir.



Şekil 5.24. Çalışmada tercih edilen MQ 135 hava kalite sensörü

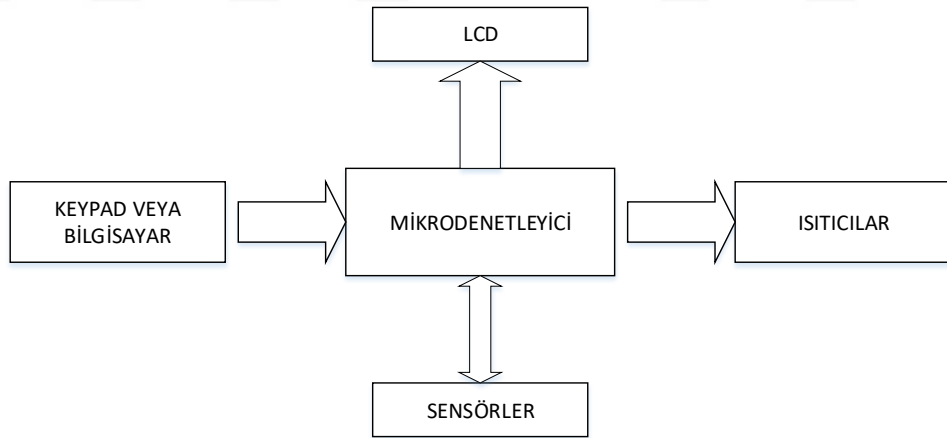
Deney odacığının basıncını ölçebilmek için MPX5700 tipi basınç sensörü tercih edilmiştir. Şekil 5.25’ te paylaşılan MPX5700 geniş bir uygulama yelpazesi için tasarlanan monolitik silikon bir basınç sensörüdür. Mikroişlemci ve mikrodenetleyicilerle birlikte kullanım kolaylığına sahip olan sensör analog ve sayısal çıkış verebilmektedir. Bu çalışmada analog çıkış tercih edilmiştir. Analog

bilgi mikrodnetleyicide bulunan ASD sayesinde sayısal bilgiye dönüştürülmüştür. Dış ortam sıcaklığını ölçen DS18B20 sensör dışındaki diğer sensörler toprak potansiyelindeki elektrodun altına yerleştirilerek özel olarak tasarlanan bir tel kafes ile ekranlanarak, elektrik alandan etkilenmesi engellenmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.25. Mpx5700 basınç sensörü

Kontrol devresi, istenilen sıcaklık değerlerinin tuş takımı veya bilgisayar aracılığıyla girildiği, deney sisteminin kontrolünün yapıldığı bölümdür. Bu devrenin olabildiğince basit ve kolay anlaşılır olması hedeflenmiştir. Olası arızalara karşı hızlı müdahale edilebilmesi için karmaşık bir yapıdan uzak durulmuştur. Kontrol devresinin genel devre şeması Şekil 5.26’ da görülmektedir.



Şekil 5.26. Kontrol mekanizması genel devre şeması

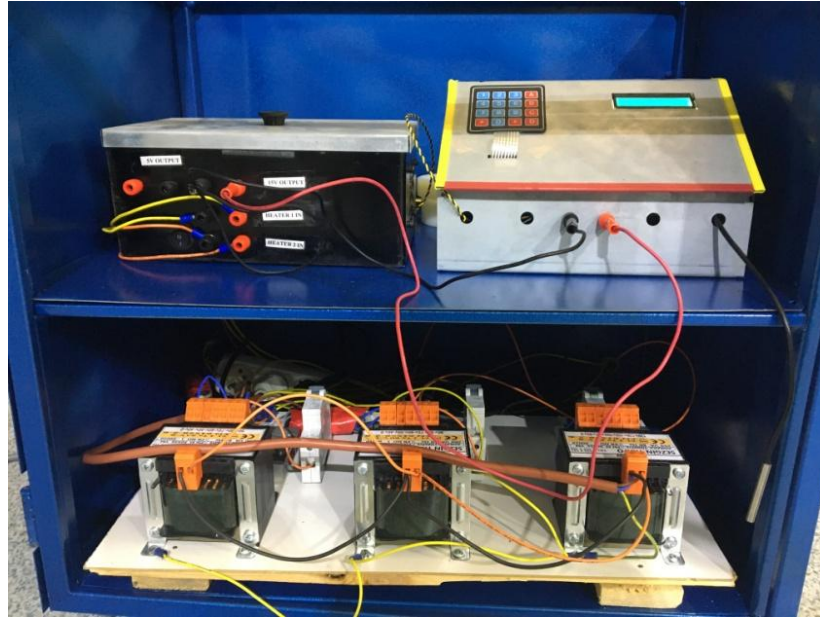
Girilen ve sensörler tarafından okunan değerler LCD ekran yardımıyla takip edilebilmektedir. Isıtıcıları anahtarlayan mosfet transistörlere PWM sinyali mikrodnetleyiciden gönderilmektedir. Mikrodnetleyici olarak Microchip firması tarafından üretilen PIC16F877A model mikrodnetleyici kullanılmıştır. Bu mikrodnetleyici çoğu uygulama için yeterli donanıma sahip olup kod yürütme hızı oldukça yüksektir. Kontrol ve sensör kartları Şekil 5.27’ de görüldüğü gibi bir kutu

içine yerleştirilip giriş ve çıkış elemanları için delikler açılmıştır. Böylece dış etkenlerden korunarak modül haline getirilmiştir. Metal kutu topraklanarak kontrol devresinin ortamda bulunan elektriksel alanlardan etkilenmesi engellenmeye çalışılmıştır.



şekil 5.27. Deney sistemi kontrol modülü

şekil 5.28' de ısıtıcı, kontrol ve g modüllerinin deney düzeneğindeki son şekli verilmiştir. Modüllerin bulunduğu metal kasa, elektronik devrelerin elektrik alandan etkilenmesini enegelleyeabilmek için tasarlanmıştır.



şekil 5.28. Kontrol ve g modülleri

5.4 Bulanık Mantık Denetleyicisinin Tasarımı

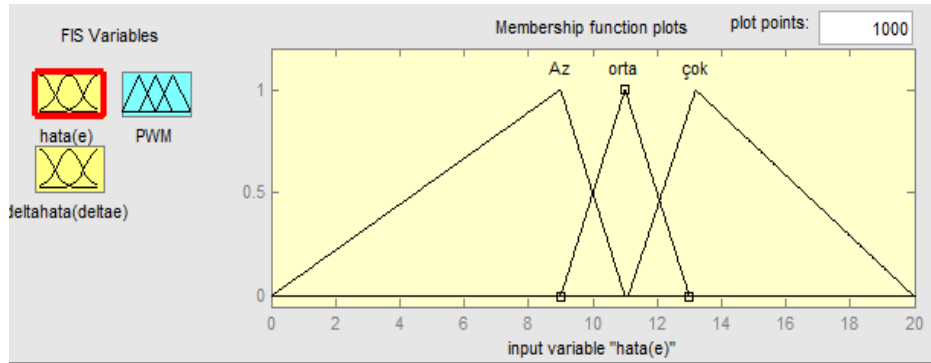
Bulanık mantık denetleyicisi ile sıcaklık kontrolünün gerçekleştirilmesi için giriş ve çıkış değerlerinin belirlenmesi gereklidir. Hata ve deltahata (hata değerleri arasındaki fark) giriş değişkenleri olarak, PWM değeri ise çıkış değişkeni olarak tanımlanır. Hata değeri sisteme istenilen sıcaklık değeri girildikten sonra belirlenir. Bu değer (5.1) eşitliğindeki istenilen sıcaklık değeri ile sensörlerden gelen sıcaklık değerinin farkını ifade etmektedir.

$$hata = istenilen\ değer - \u00f6l\u00e7\u00fclen\ değer \quad (5.1)$$

Deltahata (5.2) bağıntısındaki gibi şimdiki hata değeriyle bir önceki hata değerinin farkı alınarak bulunabilir.

$$deltahata = şimdiki\ hata - eski\ hata \quad (5.2)$$

PWM değışkeni, ısıtıcıyı kontrol eden mosfetin anahtarlama sinyalinin doluluk boşluk oranını ifade etmektedir. Bulanık mantık denetleyicisinin giriş değeri olan hata ve deltahata değışkenleri için 3 adet üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Hata değışkeni için üyelik fonksiyonları Şekil 5.29’ da verilmiştir.



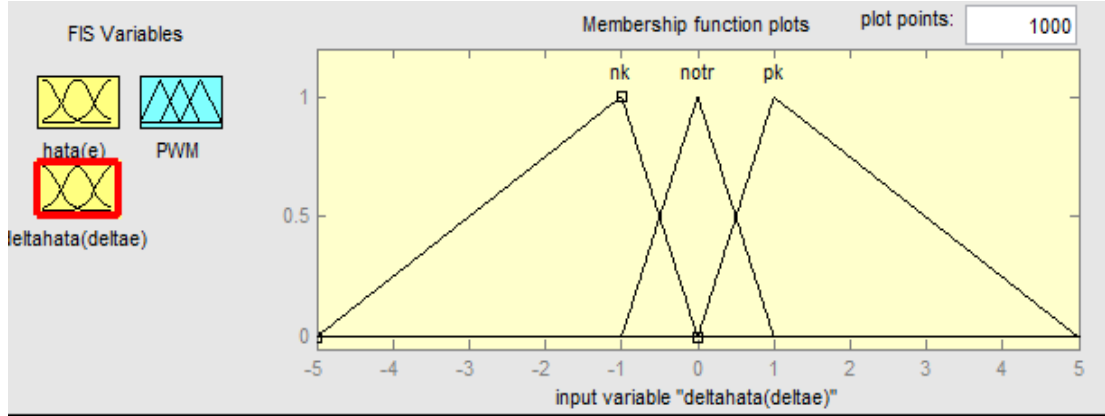
Şekil 5.29. Hata değışkeni üyelik fonksiyonları

Bu kümenin etiketleri ve değışim aralıkları Çizelge 5.1’ de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Hata değeri için bulanık küme tanımlaması

Az	[0 11]
Orta	[9 13]
Çok	[11 20]

Deltahata değişkeni için üyelik fonksiyonları Şekil 5.30’ da görülmektedir.



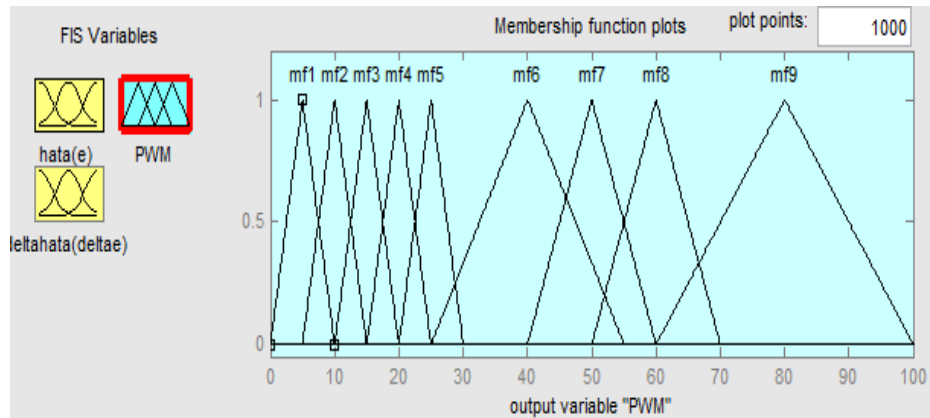
Şekil 5.30. Deltahata değişkeni üyelik fonksiyonları

Deltahata kümesinin etiketleri ve değişken aralıkları Çizelge 5.2’ de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deltahata değeri için bulanık küme tanımlaması

nk (negatif küçük)	[-5 0]
notr (nötr)	[-1 1]
pk (pozitif küçük)	[0 5]

Çalışmada hem giriş değişkenleri hem de çıkış değişkeni için üçgen tipi üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Üçgen tipi üyelik fonksiyonu uygulama kolaylığı ve mikrodenetleyici hafızasında daha az yer kapladığı için tercih edilmiştir. Çıkış değişkeni olan PWM için çıkış üyelik fonksiyonları Şekil 5.31’ de görülmektedir.



Şekil 5.31. PWM değişkeni üyelik fonksiyonu

Bulanık mantık denetleyicilerinin en önemli bölümü bulanık çıkarım bölümüdür. Bu bölümde bilgi tabanı ve karar verme mantığı kullanılmaktadır.

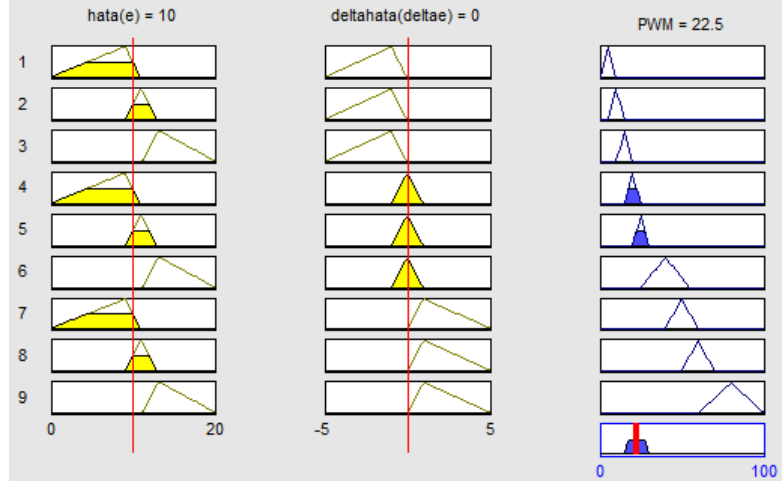
Seçilen üyelik fonksiyonlarına göre kural tabanı oluşturulmaktadır. Kural tabanı oluşturulurken sistem üzerinde daha önce gerçekleştirilen ısıtma işlemleri ve sıcaklık değişimleri dikkate alınır. Çizelge 5.3’ te deney sistemi için bulanık kural çizelgesi paylaşılmıştır. Ayrıca Şekil 5.32’ de Matlab programı bulanık mantık araç çubuğunda oluşturulan kural tablosu paylaşılmıştır.

Çizelge 5.3. Bulanık kural çizelgesi

Deltahata\ hata	Az	Orta	Çok
nk	Mf1	Mf2	Mf3
notr	Mf4	Mf5	Mf6
pk	Mf7	Mf8	Mf9

Bulanık mantık denetleyicisinden alınan bilgi sayısal değere dönüştürülmelidir. Bu işlem, durulama işlemi olarak tanımlanmaktadır. Durulama işleminde her kural için hata ve delta hata üyelik ağırlık değerleri bulunarak, bu iki değer en az üyelik ağırlığı ve buna göre çıkış üyelik değerleri tespit edilmektedir. Bu çalışmada durulama işlemi için ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Ağırlık merkezinin belirlenmesinde kullanılan eşitlik (5.3)’ te verilmiştir.

$$z = \frac{\int \mu_c(z).zdz}{\int \mu_c(z).dz} \quad (5.3)$$



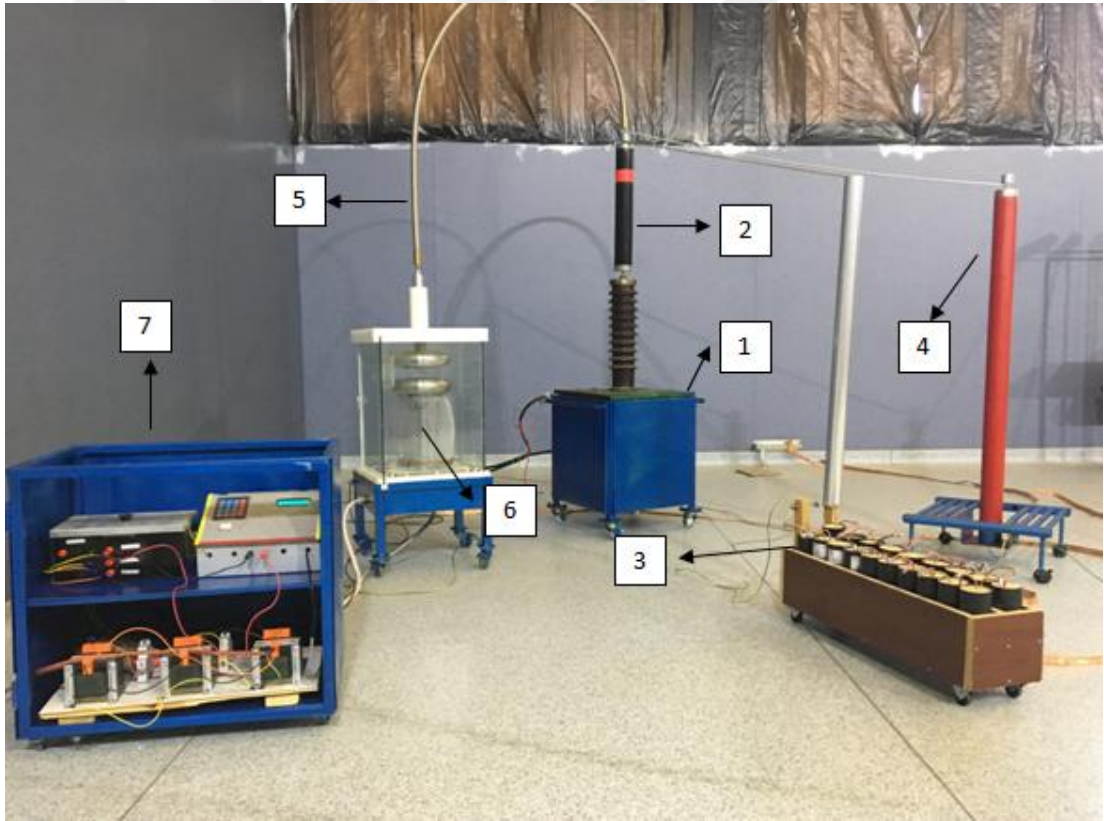
Şekil 5.32. Sistemin kural tablosu

Yukarıda ayrıntıları verilen algoritmanın yazılımı mikrodenetleyiciye uygun biçimde kodlanarak aktarılmıştır. Mikrodenetleyici yazılımı CCS C programlama dili ile yapılmıştır. CCS C programı C tabanlı olup tümleşik yazılımlar kullanılarak kod yazılmasına izin vermektedir.

6. HÜCRE KÜLTÜRLERİNE ELEKTRİK ALANLARIN UYGULANMASI

6.1 Deney Sisteminin Tanıtılması

Önceki bölümlerde yapımlarından bahsedilen deney sisteminin elemanları birleştirilerek bir bütün haline getirilmiştir. Şekil 6.1’ de deney sisteminin son hali görülmektedir. Deneylerin steril bir ortamda yapılabilmesi için deney odacığı ve hücre hattı ile temas eden deney malzemeleri alkol ve dezenfektanlarla özenle temizlenmiştir.



Şekil 6.1. DA uygulama devresi

Şekil 6.1’ de deney sisteminde bulunan elemanlar ayrı ayrı numaralandırılmıştır. 1 numaralı eleman tek fazlı yüksek gerilim transformatörüdür. Bu transformatör deney alanından uzak bir konumda bulunan varyak üzerinden beslenmektedir. Şekil 6.1’ de paylaşılan deney düzeneği doğru akım uygulamak için

kurulmuştur. Bu sebeple iki numara ile belirtilen eleman alternatif gerilimin doğrultulması amacıyla kullanılan direnç ve diyot bloğudur. Doğrultucu çıkışına 3 numara ile gösterilen filtre kondansatörleri bağlanmıştır. Bu kondansatör bloğu yardımıyla temiz bir DA gerilim elde edilmiştir. 4 numara ile gösterilen eleman gerilim bölücü olup elektrotlara paralel bağlanmıştır. Doğrultucu çıkışından alınan yüksek gerilim, deney odacığına 5 numara ile gösterilen bağlantı iletkeni yardımıyla aktarılmıştır. Söz konusu bağlantı iletkeni esnek bir özelliğe sahip olup, özel olarak imal ettirilmiştir. Elektrotların, sensörlerin ve ısıtıcıların bulunduğu deney odacığı 6 numara ile etiketlenmiştir. Deney malzemesi iki elektrot arasına yerleştirilerek gerilim uygulanmaktadır. Sensörlere ve ısıtıcılara gelen kablolar olası atlama ve elektriksel gürültülerden korunmak için metal kılıf içine alınarak ekranlanmıştır. Deney odacığı iç kısmı Şekil 6.2’ de detaylı olarak gösterilmiştir. Sensörler toprak potansiyelindeki elektrot altına yerleştirilmiş olup alüminyum kafes ile ekranlanmıştır. Ortam ısını ayarlayan halka ısıtıcı ve sıcak hava ceketini oluşturmak için kullanılan ısıtıcı Şekil 6.2’ de görülmektedir.



Şekil 6.2. Deney odacığı

Sensörlere ilişkin kablolar metal bir boru içinden deney odacığının içine aktarılmıştır. Isıtıcıların metal gövdeleri topraklanmıştır. Isıtılan havanın dış ortamdaki yalıtılması için ek ve köşe noktaları silikon ile kapatılmıştır. 7 numara ile

gösterilen kısım deney sisteminin kontrol edildiği ve parametrelerin takip edildiği bölümdür. Bu bölüm metal kasa içine alınarak taşınabilir hale getirilmiştir. Alternatif akım kullanılarak yapılan deneylerde Şekil 6.3’ te gösterilen devre kullanılmıştır. Devrede doğru akımdan farklı olarak doğrultucu ve filtre kondansatörü kullanılmamıştır. Transformatör çıkışına 1 numara ile gösterilen akım sınırlayıcı ön direnç yerleştirilmiştir.



Şekil 6.3. AA uygulama devresi

6.2 Deney Prosedürü

Hücre canlı hayatının temel birimidir. İnsan vücudunda çeşitli yapılarda hücre olup hücre zarı ile çevrelenmektedir. Hücrelerin boyutu ve şekli hücre tipine ve fonksiyonuna bağlıdır. Kemik hücreleri insan vücudunda yer alan önemli hücrelerdendir. Kemik hücreleri, kişilerin vücut hareketlerini düzgün olarak yapabilmelerini ve yaşamlarını sürdürebilmelerine olanak sağlamaktadır. Kemik hücreleri kemiklerin sağlıklı bir yapıya sahip olabilmesi için kendini sürekli yenileyen bir yapıya sahiptir. Osteosarkom (kemik kanseri) kötü huylu bir kemik tümörüdür. Bu tümörler kemik hücrelerinin kontrolden çıkması sonucu oluşurlar. Osteosarkomlar etkili bir tedavi yöntemi uygulanmadığında hızlı bir şekilde çoğalarak insan hayatını tehlikeye sokabilirler. Bu kanser tipi daha çok gençlik

yıllarında ortaya çıkmakta olup nedenleri kesin olarak bilinmemektedir. Fakat genetik sebepler üzerinde daha çok durulmaktadır. Bu çalışmada SaOS-2 hücre hattı kullanılmıştır. Bu hücre ilk defa 1973 yılında 11 yaşında osteosarkom hastası olan bir kız çocuğundan alınmıştır (ATCC; Kanseroji, 2017).

Çalışmada 14 adet osteosarkom numunesi kullanılmıştır. Bu numuneler A.İ.B.Ü Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalında bir hücre hattından çoğaltılarak elde edilmiştir. Elde edilen numuneler homojen bir yapıya sahip olup aynı özelliği göstermektedirler. Numunelerden 2 tanesi kontrol grubu olarak rastgele belirlenmiş olup karşılaştırmalar bu gruplara göre yapılmıştır. Rastgele seçilen 4 adet numuneye 4 farklı değerde 10 dakika boyunca AA elektrik alan uygulanıp 24 saat sonra numuneler incelemeye alınmıştır. Numuneler, hücre sayısı ve hücre şekilleri açısından incelenmiştir. Diğer 4 numuneye bir önceki uygulamadaki değerlerle aynı AA elektrik alan 10 dakika boyunca uygulanıp 48 saat sonrasında incelenmiş ve kontrol gruplarıyla karşılaştırılmıştır. Kalan 4 numune ise 4 farklı değerde 10 dakika DA elektrik alana maruz bırakılarak kontrol gruplarıyla karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırmalar fizyologlar tarafından yapılmış olup hücre sayımları sırasında ön yargıyı engellemek için kontrol grubu ve deney grupları sayım sonuna kadar incelemeyi yapanlardan gizlenmiştir. Deneyler esnasında oldukça titiz davranılarak olası hücre dejenerasyonlarının ve kontaminasyonunun önüne geçilmeye çalışılmıştır.

6.3 Elektrik Alanların Uygulanması

Hücre kültürü çalışmalarında hücreler özel kaplarda saklanmaktadır. Hücre kültürleri kısa sürelide olsa ortam değiştirdikleri için Şekil 6.4' te görülen petri kabı içinde deney ortamına transfer edilmişlerdir.



Şekil 6.4. Hücre kabı (flask)

6.3.1 AA Elektrik Alanın 1. ve 2. Grup Numunelerine Uygulanması

Çalışmanın bu bölümünde 8 adet numune 4 farklı şiddette alternatif elektrik alana maruz bırakılmıştır. Aynı şiddette elektrik alan iki numuneye aynı anda uygulanmıştır. Numunelerden birincisi 24 saat sonra diğeri 48 saat sonra incelenmiştir. Uygulamalara başlamadan önce deney sisteminin kontrol paneli ve ısıtıcıları çalıştırılarak deney odacığının 37° C dereceye ulaşması sağlanmıştır. Deney odacığı ortam sıcaklığına bağlı olarak yaklaşık 90 dakikada istenen sıcaklık değerine erişmiştir. Deney odacığının içine hücre kültürleri yerleştirilirken oluşacak hava sirkülasyonu sıcaklık dalgalanmalarına neden olabilir. Sıcaklık dalgalanmalarının olmaması için özenli bir şekilde ısıtma işlemi gerçekleştirilmiş olup elektrot sıcaklığının 37° C olmasına dikkat edilmiştir.

İlk uygulamada elektrotlar arasındaki mesafe master yardımıyla 4 cm olarak ayarlanmıştır. Hücre kültürlerinin bulunduğu hücre kaplarının dış yüzeyi deney odacığı içine yerleştirilmeden önce alkol ile temizlenmiştir. Flaskların kapakları filtreli olduğu için kısa süreli ortam değişikliklerinden hemen etkilenmemektedir. Deney odacığı içine hücre kültürlerinin yerleştirilmesi Şekil 6.5’ te görülmektedir. Elektrotlara uygulanan gerilim 8000 V_{rms} seviyesine ayarlanmıştır. Eşitlik (3.5)’ e göre elektrotlar arasında yaklaşık 2 kV/cm şiddetinde elektrik alan oluştuğu söylenebilir.

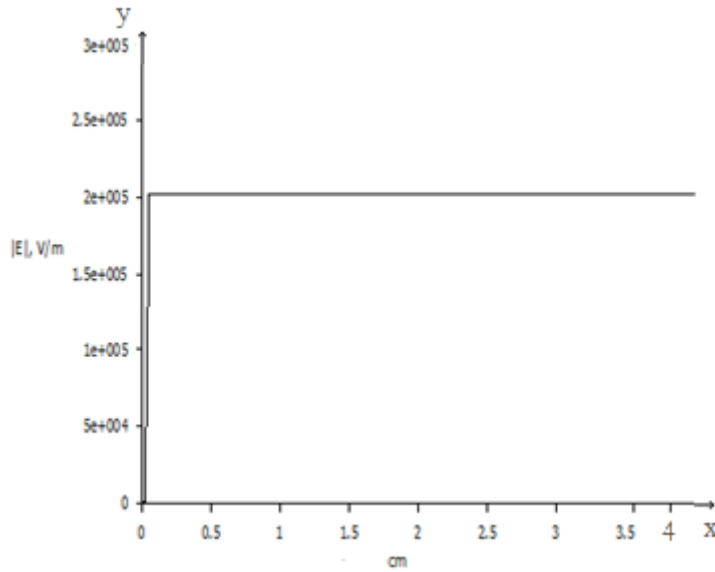


Şekil 6.5. Hücre kültürlerinin deney odacığına yerleştirilmesi

Rastgele seçilen iki numuneye 10 dakika boyunca yukarıda belirtilen şartlarda elektrik alan uygulanmıştır. Bu numunelerden bir tanesi 24 saat sonra diğeri 48 saat sonra incelenmiştir. Uygulama sırasında deney odacığının ortam parametreleri

ölçülerek deney şartları belirlenmiştir. Elektrot sıcaklığı, sensörler yardımıyla 37° C olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklık değeri, kullanıcının deney öncesi sisteme girdiği değerdir. Deney odacığının sıcaklığı 36.9° C olarak ölçülmüştür. Ortam basıncı 91.10 kPa (kilopascal), nem % 36, laboratuvar ortamı 22.43° C ve CO₂ miktarı 350 ppm (parts per million) olarak kayıt altına alınmıştır. Uygulama sırasında oluşan elektrik alan şiddeti, elektrik alan çizgileri ve elektriksel potansiyel FEMM 4.2 programı ile ayrıca analiz edilmiş olup sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Şekil 6.6’ da uygulanan 8 kV_{rms} gerilim için elektrik alan şiddeti değişimi görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi elektrik alan şiddet birimi program tarafından V/m olarak belirlenmiştir. Ayrıca (3.5) bağıntısı göz önünde bulundurularak elektrotlar arasında uzaklığa bağlı olarak herhangi bir değişim görülmediği anlaşılmıştır.

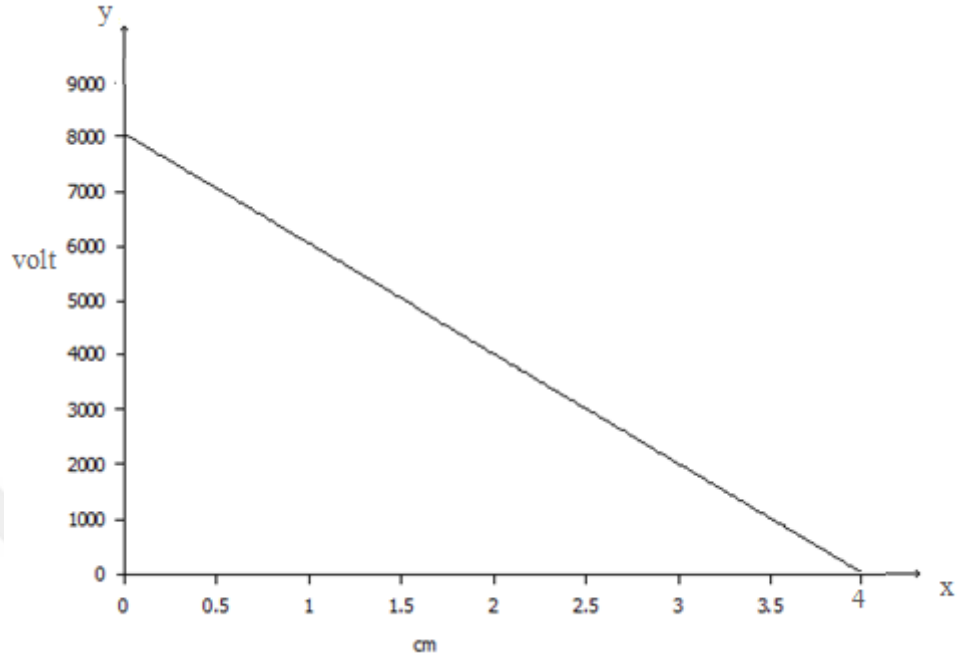


Şekil 6.6. 8 kV_{rms} için elektrik alan şiddeti

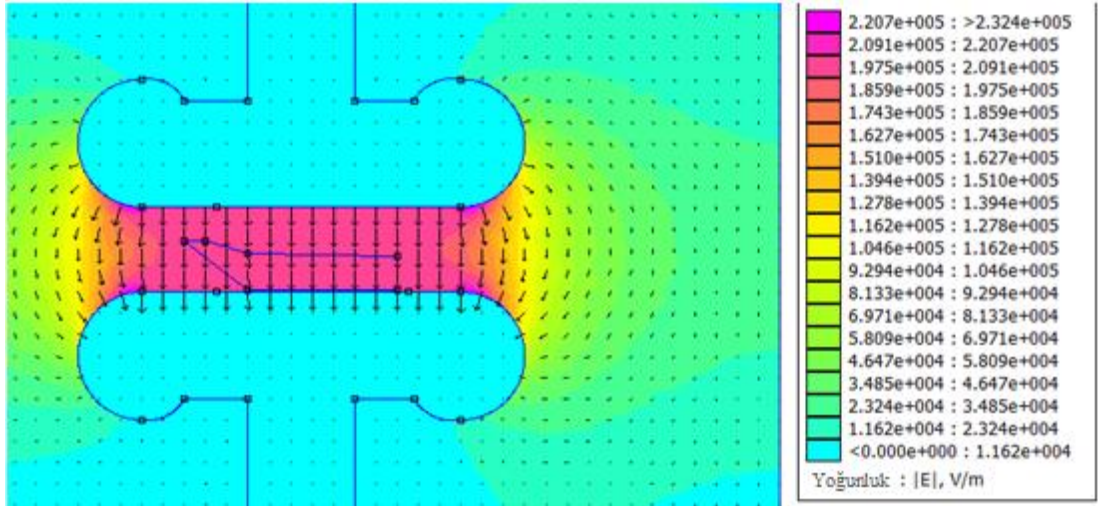
FEMM 4.2 programı yardımıyla elde edilen elektriksel potansiyel grafiği Şekil 6.7’ de paylaşılmıştır. Grafiğe göre potansiyel toprak elektrotuna yaklaştıkça azalmaktadır. Bunun sebebi ise düzlem elektrot sisteminde potansiyel ifadesi y değişkenine bağlı olarak değişmektedir.

Elektrik alan çizgilerinin dağılımı uygulanan elektrik alanın düzgünlüğü hakkında fikir verebilmektedir. Şekil 6.8’ de elektrik alan şiddetinin dağılımı renk ölçeği ve alan çizgileri desteği ile daha rahat kestirilebilmektedir. Ayrıca

elektrotlarda kenar etkisi ve sivri uç olmadığı, elektrik alan çizgilerinin homojen dağılımından anlaşılabilmektedir.



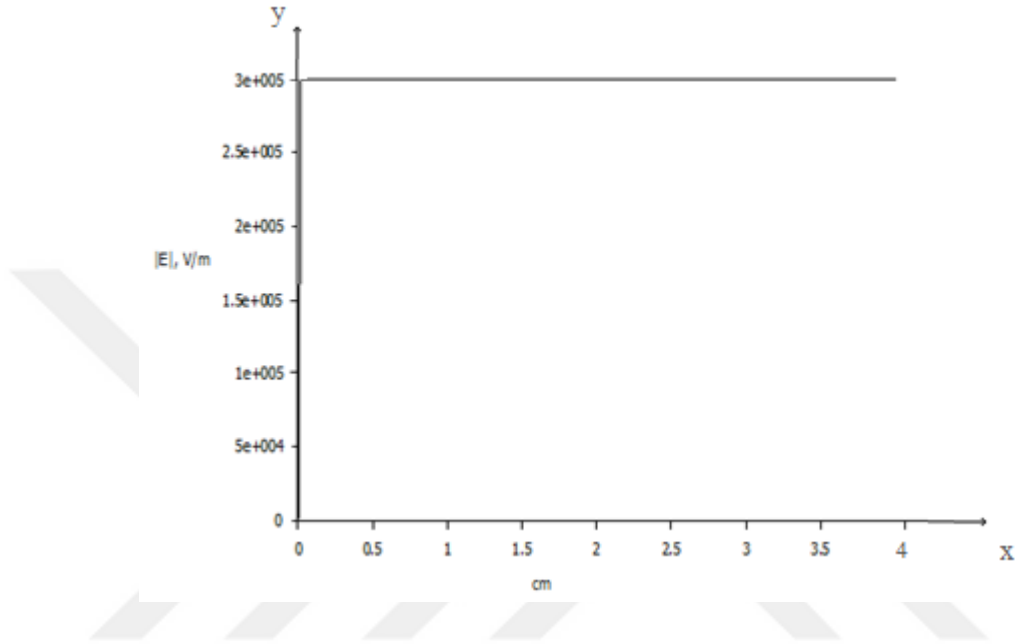
Şekil 6.7. 8 kV_{rms} için elektriksel potansiyel değişimi



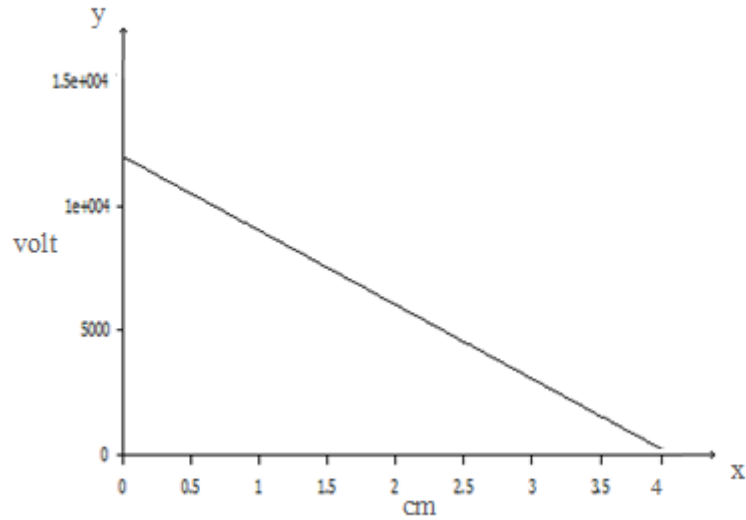
Şekil 6.8. 8 kV_{rms} için elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği

İkinci uygulamada elektrotlar arası mesafe yine 4 cm uygulanan gerilim seviyesi 12 kV_{rms} olarak ayarlanmıştır. Eşitlik (3.5) bağıntısına göre uygulanan elektrik alan şiddeti yaklaşık 3 kV/cm olarak belirlenmiştir. Rastgele seçilen iki numuneye 10 dakika boyunca yukarıda belirtilen şartlar altında elektrik alan uygulanmıştır. Bu numunelerden bir tanesi 24 saat diğeri 48 saat sonra incelenmiştir.

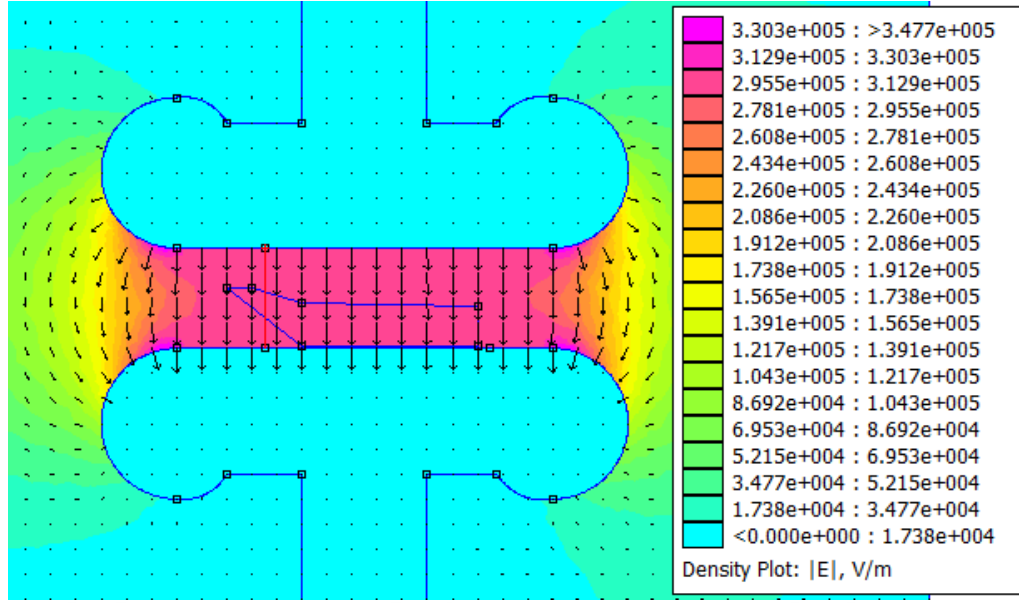
Uygulama sırasında deney odacığının ortam parametreleri ölçülerek kaydedilmiştir. Elektrot sıcaklığı 37° C, deney odacığı 36.7° C, Ortam basıncı 89,65 kPa, nem % 38,8, CO₂ miktarı 350 ppm ve laboratuvar ortamı 21.62° C olarak kayıt altına alınmıştır. Benzer olarak FEMM 4.2 program aracılığıyla analiz edilen sisteme ilişkin sonuçlar Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’ da paylaşılmıştır.



Şekil 6.9. 12 kV_{rms} için elektrik alan şiddeti

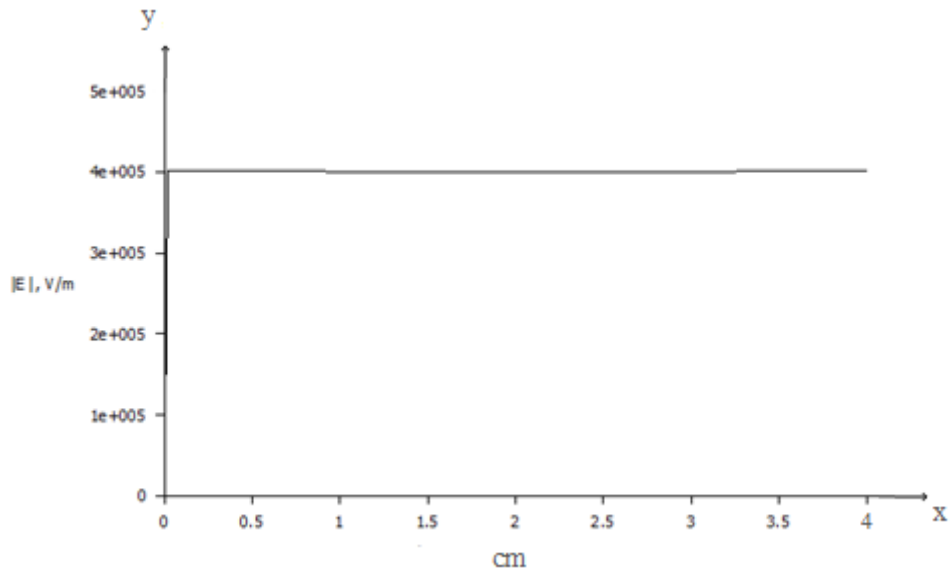


Şekil 6.10. 12 kV_{rms} için elektriksel potansiyel değişimi



Şekil 6.11. 12 kV_{rms} için elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği

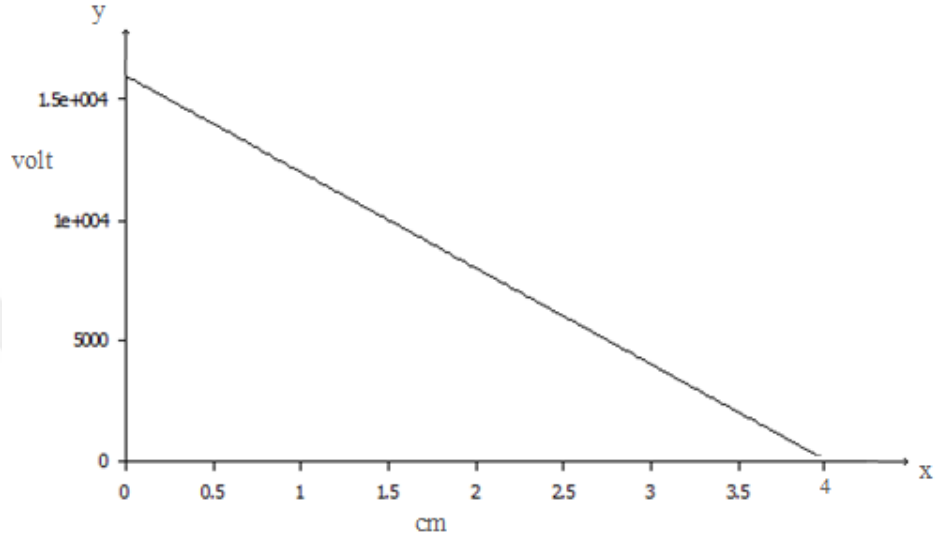
Çalışmanın üçüncü kısmında elektrotlar arası mesafe yine 4 cm olarak ayarlanmıştır. Uygulanan gerilim seviyesi 16 kV_{rms} olarak seviyesi belirlenmiştir. Eşitlik (3.5)' e göre uygulanan elektrik alan şiddeti 4 kV/cm olarak belirlenmiştir. Şekil 6.12' de elektrik alan değişim grafiği paylaşılmıştır.



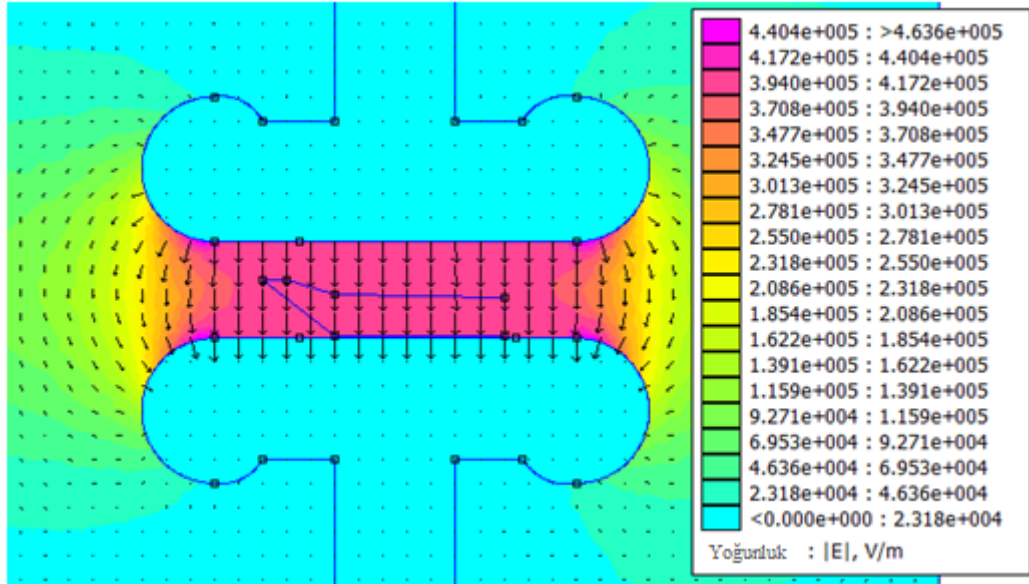
Şekil 6.12. 16 kV_{rms} için elektrik alan şiddeti

Rastgele seçilen iki hücre kültürüne, 10 dakika boyunca, yukarıda belirtilen şartlar altında elektrik alan uygulanmıştır. Bu hücre kültürlerinden bir tanesi 24 saat sonra diğeri 48 saat sonra incelenmiştir. Uygulama sırasında deney odacığının ortam

parametreleri elektrot sıcaklığı 36,9° C, deney odacığı sıcaklığı 36.8° C, basıncı 91,17 kPa, nem % 37, CO₂ miktarı 355 ppm ve laboratuvar ortamı 22° C ve CO₂ miktarı 355 ppm olarak ölçülmüştür. FEMM 4.2 programı yardımıyla yapılan analiz sonuçları aşağıda paylaşılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen elektrik alan şiddet grafiği Şekil 6.12’ de, elektriksel potansiyel grafiği Şekil 6.13’ te ve elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği Şekil 6.14’ te gösterilmektedir.



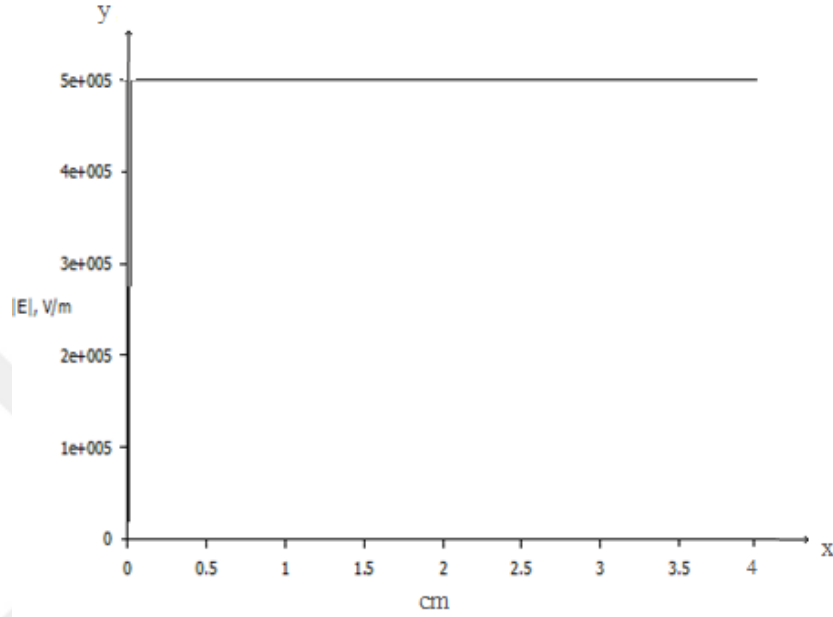
Şekil 6.13. 16 kV_{rms} için elektriksel potansiyel değişimi



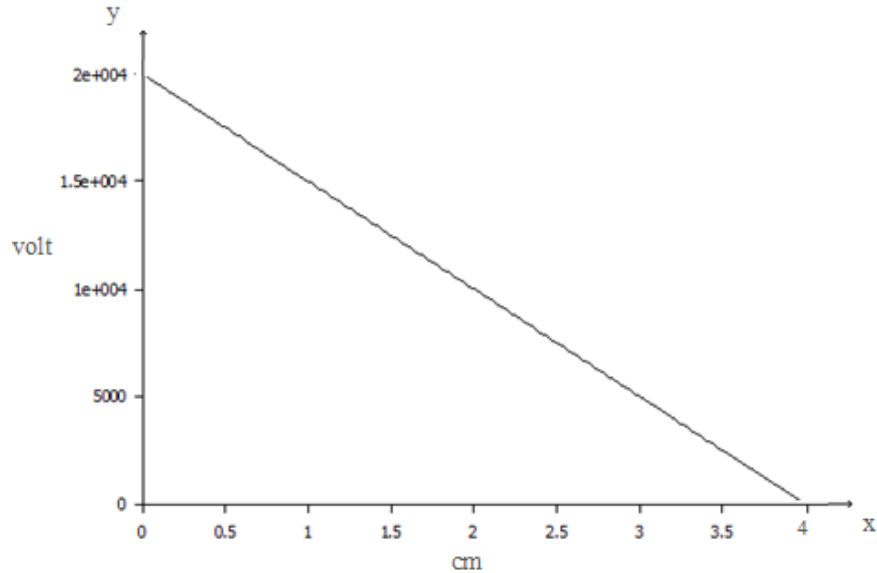
Şekil 6.14. 16 kV_{rms} için elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği

Çalışmanın dördüncü bölümünde elektrotlar arası mesafe 4 cm’ ye sabitlenmiştir. Uygulanan gerilim seviyesi 20 kV_{rms} seviyesine ayarlanmıştır.

Elektrik alan şiddeti (5.1) eşitliğine göre 5 kV/cm olarak belirlenmiştir. Rastgele seçilen iki numuneye 10 dakika boyunca yukarıda belirtilen 5 kV/cm şiddetindeki elektrik alan uygulanmıştır. Bu hücre kültürlerinden rastgele bir tanesi 24 saat sonra diğeri 48 saat sonra analiz edilmiştir. Uygulama sırasında deney odacığının ortam parametreleri ölçülmüştür.



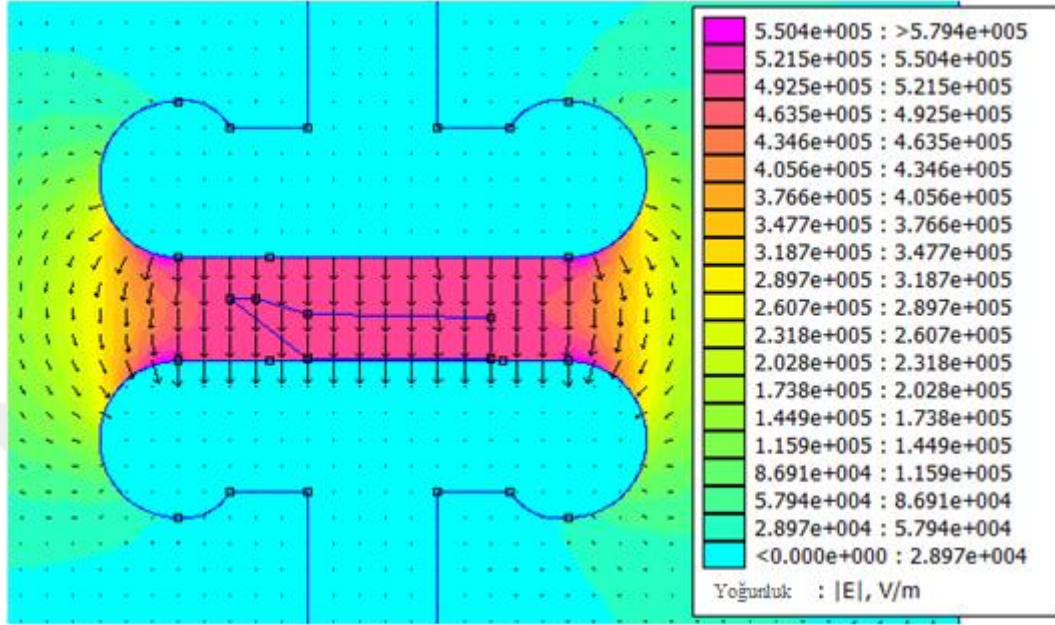
Şekil 6.15. 20 kV_{rms} için elektrik alan şiddeti



Şekil 6.16. 20 kV_{rms} için elektriksel potansiyel değişimi

Elektrot sıcaklığı 36.9° C, deney odacığının sıcaklığı 36.8° C, basıncı 91,17 kPa, nemi % 37,9, CO₂ miktarı 372 ppm ve laboratuvar ortamı 22° C olarak

belirlenmiştir. Sistem aynı şekilde FEMM 4.2 programı ile yapılan analiz sonucunda elde edilen elektrik alan şiddet grafiği Şekil 6.15’ te, elektriksel potansiyel grafiği Şekil 6.16’ da ve elektrik alan çizgileri renk ölçeği Şekil 6.17’ de verilmiştir.



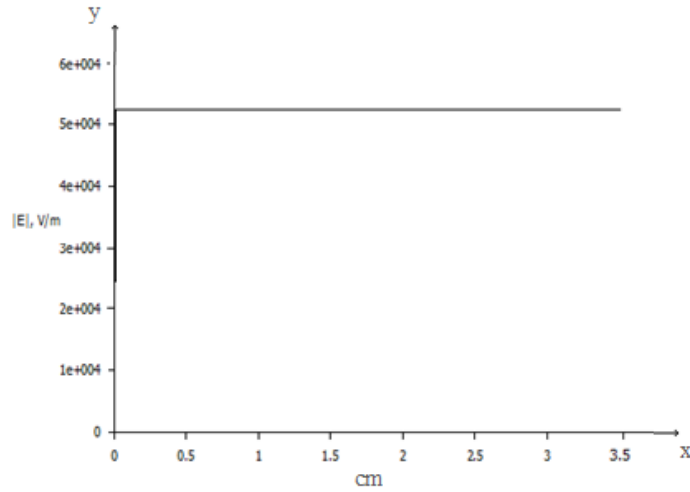
Şekil 6.17. 20 kV_{rms} için elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği

Rastgele seçilmiş olan iki kontrol numunesi 24 ve 48 saat sonra incelenmek üzere elektrik alana maruz kalmadan deney odacığının içinde 10 dakika boyunca bekletilmiştir. Elektrot sıcaklığı 37° C, deney odacığının sıcaklığı 36.9° C, basıncı 91,15 kPa, nemi % 38, CO₂ miktarı 378 ppm ve laboratuvar ortamı 22° C olarak belirlenmiştir. Kontrol deney numunelerinde aynı taşıma, temizlik ve deney prosedürü uygulanmıştır.

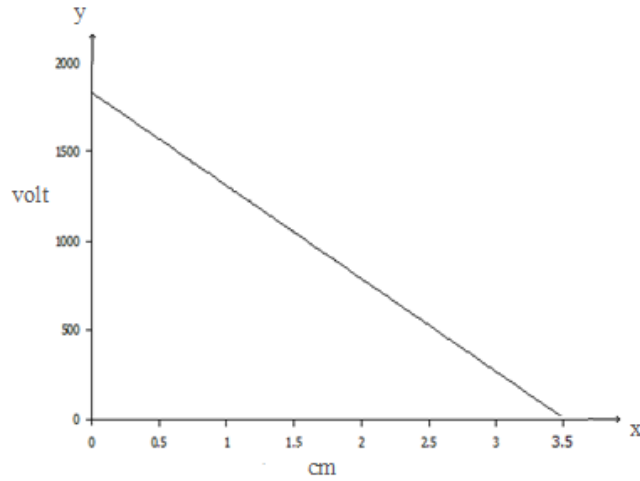
6.3.2 DA Elektrik Alanın 3. Grup Numunelerine Uygulanması

Çalışmanın ilk aşaması olan alternatif elektrik alan uygulaması tamamlandıktan sonra AA numuneleri A.İ.B.Ü Tıp Fakültesi Fizioloji Bölümünde bulunan inkübatör ortamına götürülmüşlerdir. İkinci uygulama şekli DA elektrik alan uygulaması olarak gerçekleştirilmiştir. DA uygulamasında eldeki son 4 numune üzerinde 4 farklı gerilim seviyesinde çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda hücrelerin incelenmesi 48 saat sonra gerçekleştirilmiştir.

DA elektrik alan uygulamasının birinci bölümünde elektrotlar arası mesafe 3,5 cm olarak ayarlanmıştır. Transformatör çıkışına doğrultucu ve kondansatör bloğu yerleştirilerek uygulanan gerilim seviyesi 1750 V_{dc} ayarlanmıştır. Transformatörün çıkış gerilimi varyak sistemi ile ayarlanmıştır. Eşitlik (3.5) ifadesine göre uygulanan DA elektrik alan şiddeti 0.5 kV/cm olarak belirlenmiştir. FEMM 4.2 programı ile elde edilen elektrik alan şiddeti ve potansiyel grafiği Şekil 6.18 ve 6.19’ da sırasıyla gösterilmektedir.



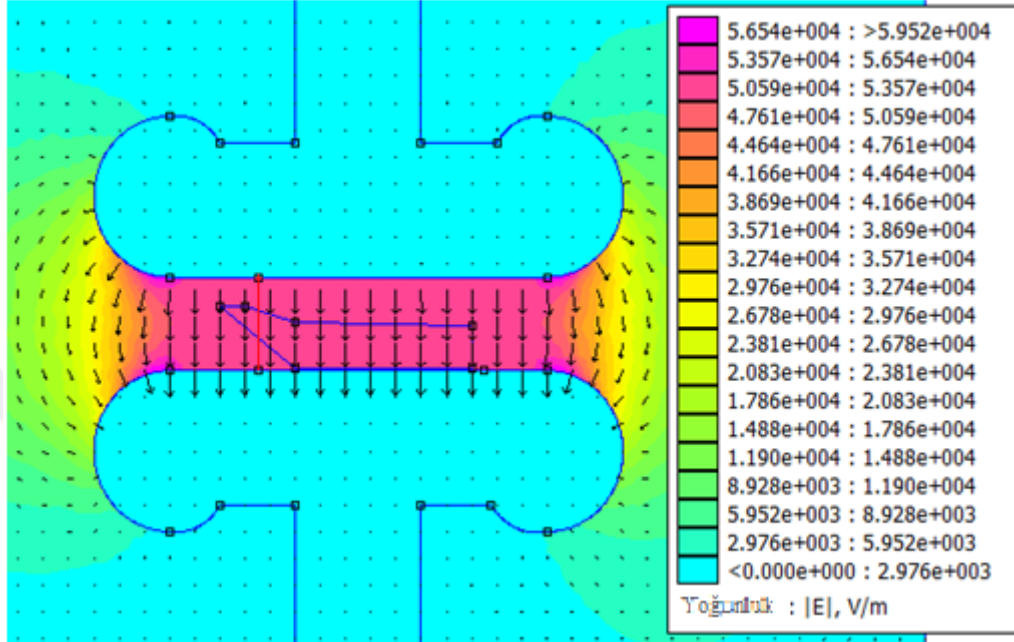
Şekil 6.18. 1750 V_{dc} için elektrik alan şiddeti



Şekil 6.19. 1750 V_{dc} için elektriksel potansiyel değişimi

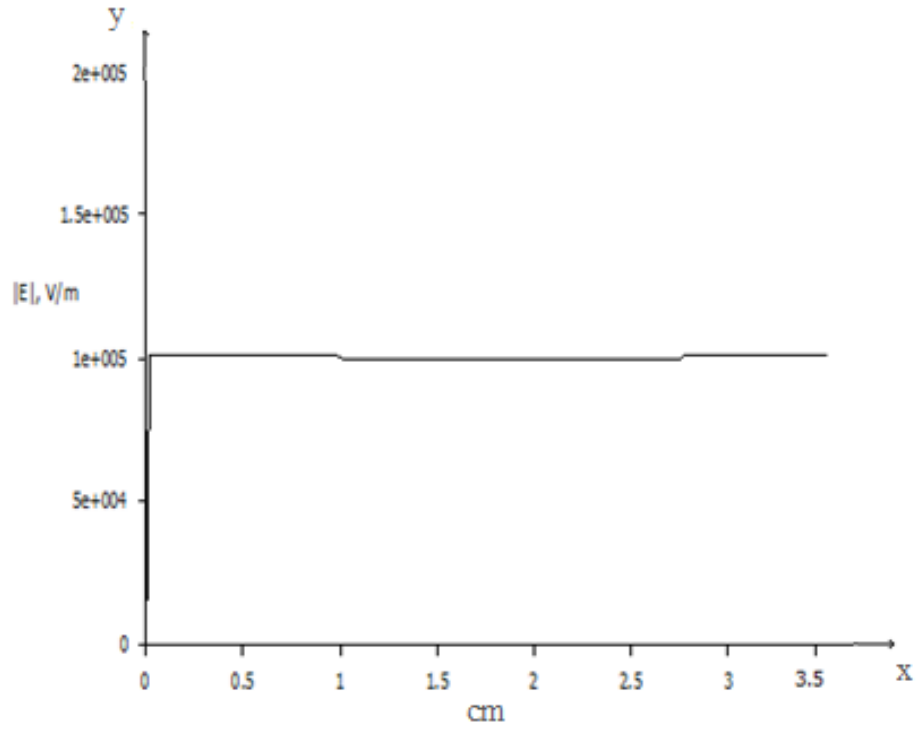
Rastgele seçilen bir numuneye 10 dakika boyunca yukarıda belirtilen elektrik alan uygulanmıştır. Numune 48 saat sonra incelenmek üzere deney odacığından çıkarılarak inkübatöre yerleştirilmiştir. Uygulama sırasında deney odacığının ortam

parametreleri; elektrot sıcaklığı 37° C, deney odacığı sıcaklığı 37° C, basıncı 90.41 kPa, nemi % 38,1, CO₂ miktarı 370 ppm ve laboratuvar ortamı 22.31° C olarak kayıt altına alınmıştır. FEMM programı ile yapılan analiz sonucunda elde edilen elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği Şekil 6.20’ de verilmiştir.

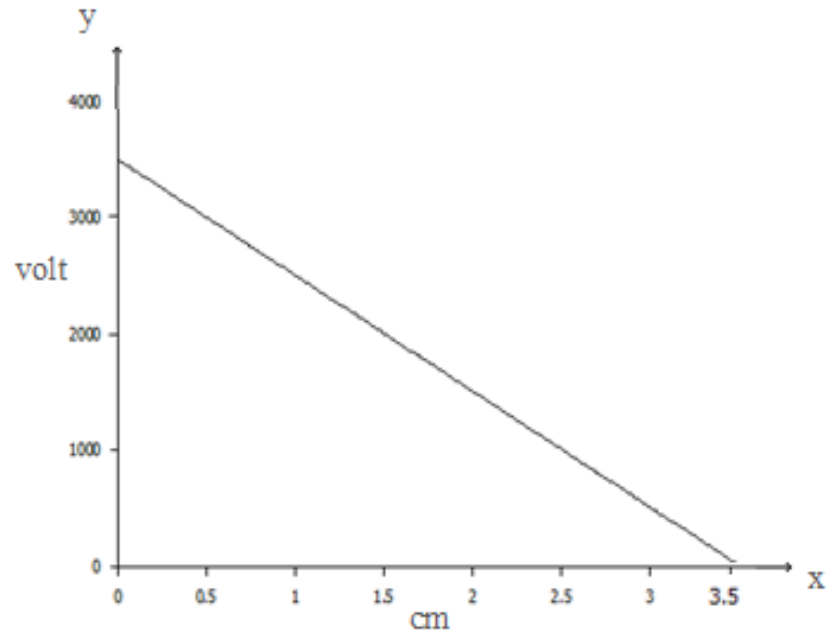


Şekil 6.20. 1750 V_{dc} için elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği

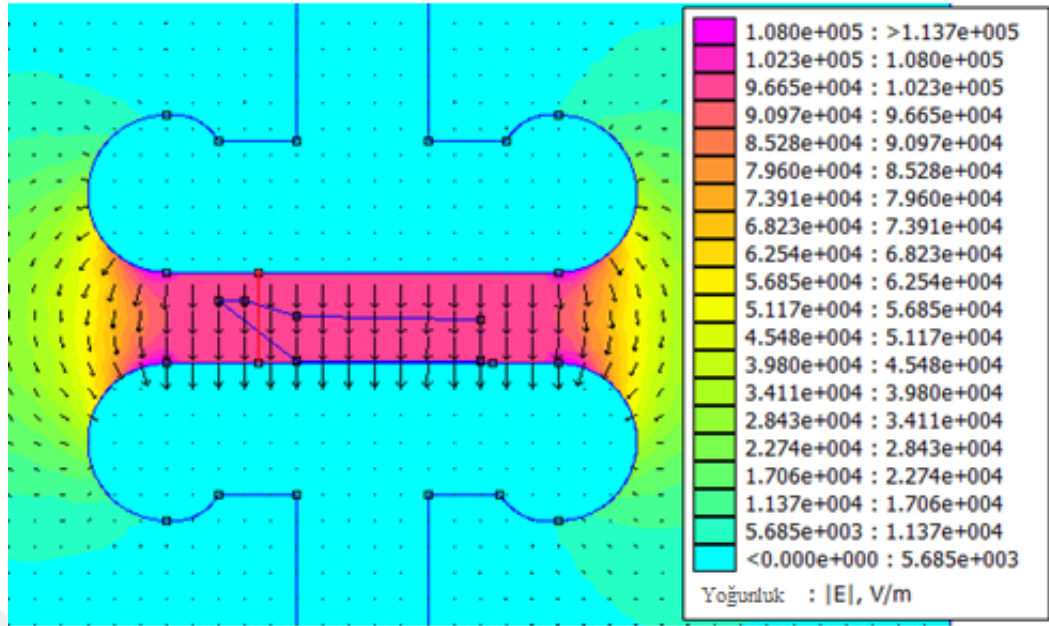
DA elektrik alan uygulamasının ikinci kısmında elektrotlar arası mesafe 3,5 cm, uygulanan gerilim seviyesi 3500 V_{dc} olarak ayarlanmıştır. Eşitlik (3.5) ifadesine göre uygulanan DA elektrik alan şiddeti 1 kV/cm olarak belirlenmiştir. FEMM programda elde edilen sonuçlarına göre elektrik alan şiddeti ve potansiyel grafikleri Şekil 6.21 ve Şekil 6.22’ de sırasıyla verilmiştir. Kalan son üç numune arasından rastgele seçilen bir hücre kültürüne 10 dakika boyunca yukarıda belirtilen elektrik alan uygulanmıştır. Bu hücre kültüründe 48 saat sonra incelenmek üzere deney odacığından inkübatöre alınmıştır. Uygulama sırasında deney odacığının ortam parametreleri; elektrot sıcaklığı 37° C, deney odacığı sıcaklığı 37° C, basıncı 90.93 kPa, nemi % 38,6, CO₂ miktarı 370 ppm ve laboratuvar ortamı 22.31° C olarak kayıt altına alınmıştır. FEMM 4.2 programı ile yapılan analiz sonucunda elde edilen elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği Şekil 6.23’ te paylaşılmıştır.



Şekil 6.21. 3500 V_{dc} için elektrik alan şiddeti

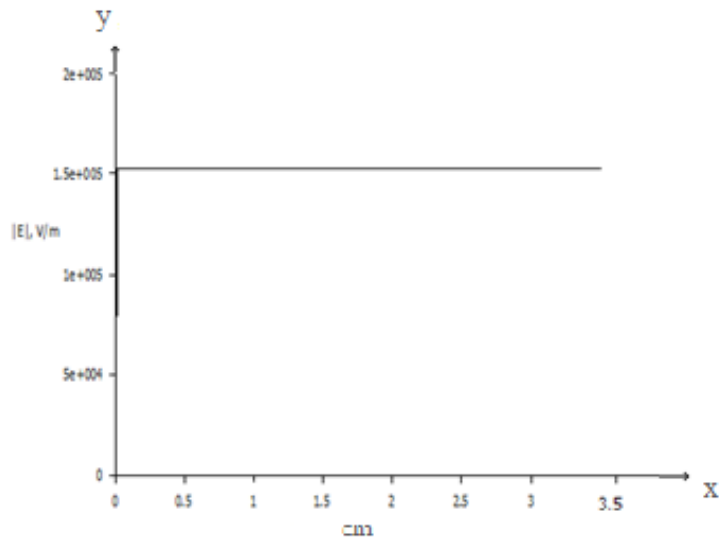


Şekil 6.22. 3500 V_{dc} için elektriksel potansiyel grafiği

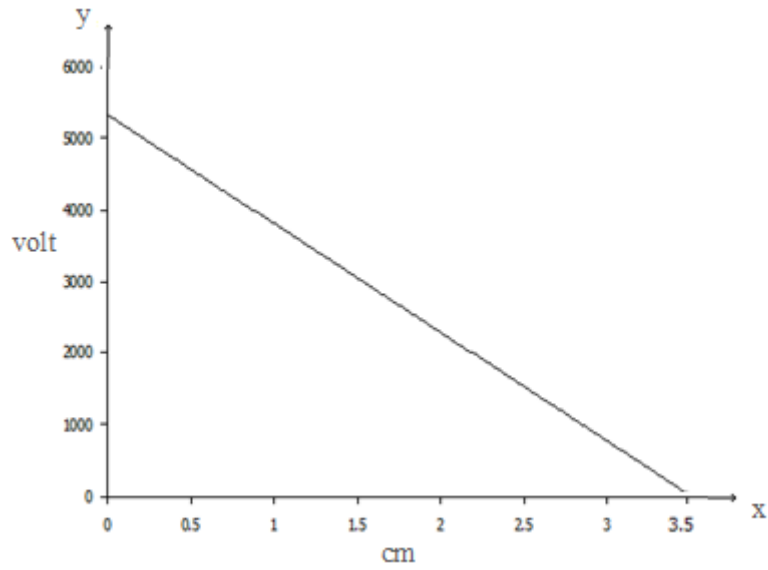


Şekil 6.23. 3500 V_{dc} için elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği

DA elektrik alan uygulamasının üçüncü bölümünde de elektrotlar arası mesafe 3.5 cm, uygulanan gerilim seviyesi 5250 V_{dc} olarak belirlenmiştir. Eşitlik (3.5) ifadesine göre uygulanan DA elektrik alan şiddeti 1.5 kV/cm olarak belirlenmiştir. FEMM 4.2 programı ile yapılan analiz sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti ve potansiyel değişim grafiği Şekil 6.24 ve Şekil 6.25’ te sırasıyla verilmiştir. Son iki numune arasından rastgele seçilen bir hücre kültürüne 10 dakika boyunca yukarıda belirtilen elektrik alan uygulanmıştır. Bu hücre kültürü de 48 saat sonra incelenmek üzere deney odacığından inkübatöre alınmıştır.

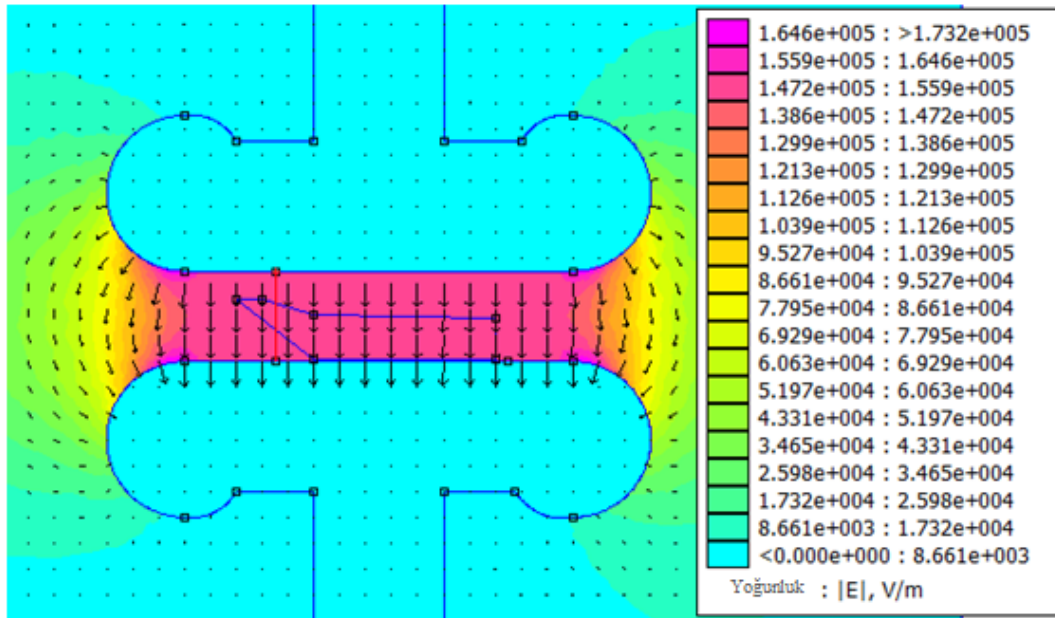


Şekil 6.24. 5250 V_{dc} için elektrik alan şiddeti



Şekil 6.25. 5250 V_{dc} için elektriksel potansiyel grafiği

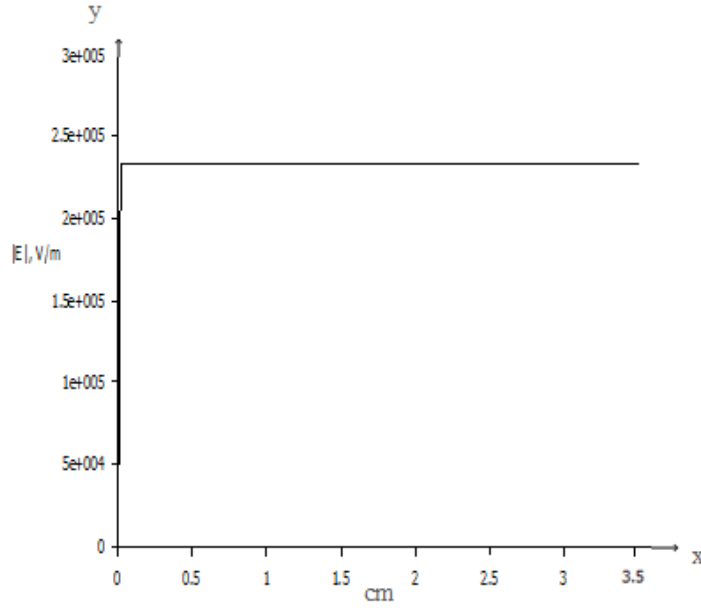
Uygulama sırasında deney odacığının ortam parametreleri; elektrot sıcaklığı 36.7° C, deney odacığı sıcaklığı 36.8° C, basıncı 92.69 kPa, nemi % 40, CO₂ miktarı 367 ppm ve laboratuvar ortamı 22° C olarak ölçülmüştür. FEMM programı ile yapılan analiz sonucunda elde edilen elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği Şekil 6.26’ da verilmiştir.



Şekil 6.26. 5250 V_{dc} elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği

DA elektrik alan uygulamasının sonuncu yani dördüncü kısmında elektrotlar arası mesafe yine 3.5 cm olarak sabitlenmiştir. Uygulanan gerilim 8100 V_{dc} olarak

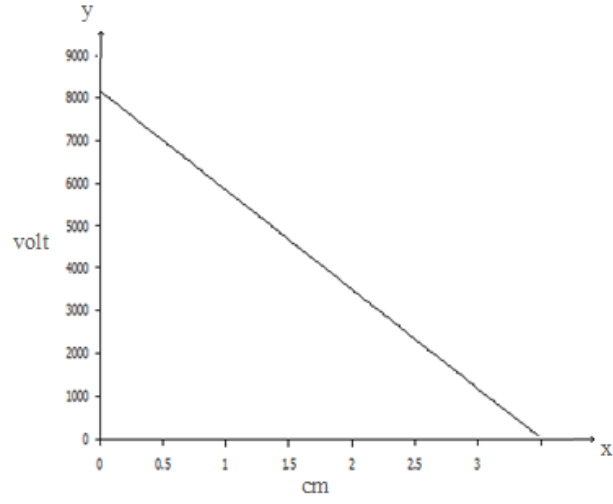
ayarlanmıştır. Eşitlik (3.5)' te ki bağıntıya göre uygulanan DA elektrik alan şiddeti yaklaşık 2.3 kV/cm olarak belirlenmiştir. FEMM 4.2 programı ile yapılan analiz sonucunda elde edilen elektrik alan şiddeti ve potansiyel grafiği Şekil 6.27 ve Şekil 6.28' de sırasıyla verilmiştir. Numuneye 10 dakika boyunca yukarıda belirtilen şartlarda elektrik alan uygulandıktan sonra numune, 48 saat sonra incelenmek üzere inkübatöre yerleştirilmiştir.



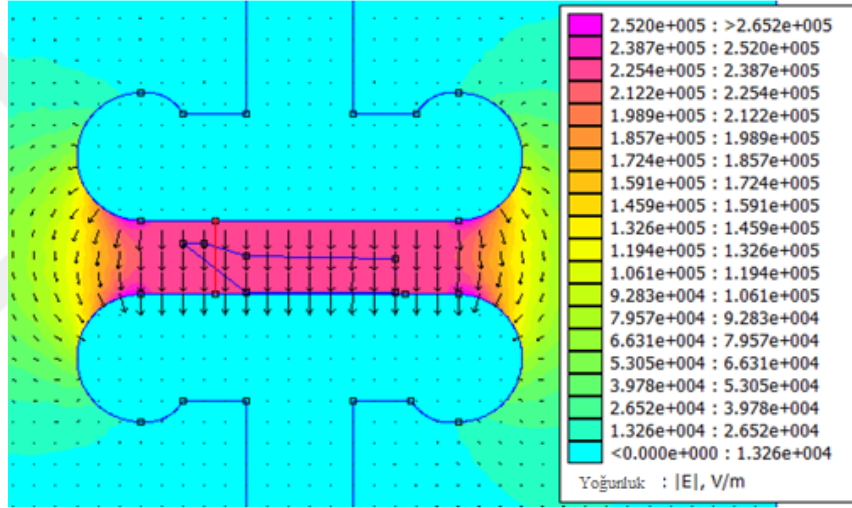
Şekil 6.27. 8100 V_{dc} için elektrik alan şiddeti

Uygulama sırasında deney odacığının ortam parametreleri; elektrot sıcaklığı 36.7° C, deney odacığı sıcaklığı 37.1° C, basıncı 91.17 kPa, nemi % 38.2, CO₂ miktarı 365 ppm ve laboratuvar ortamı 22.4° C olarak ölçülmüştür. FEMM 4.2 programı ile yapılan analiz sonucunda elde edilen elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği Şekil 6.29' da verilmiştir.

Yapılan bu uygulamayla birlikte deneylerin sonuna gelinmiştir. Numuneler 24 ve 48 saat sonra incelemek üzere bir hücre kültürü inkübatörü içine aktarılmıştır. Süre bitimlerinde flasklar içinde bulunan hücreler thoma lamı üzerine yerleştirilerek sayım işlemi yapılmış ve hücreler EUROMEX marka mikroskop altında incelemeye alınmışlardır. Şekil 6.30' da hücre sayımında kullanılan thoma lamının görüntüsü paylaşılmıştır.



Şekil 6.28. 8100 V_{dc} için elektriksel potansiyel değişimi



Şekil 6.29. 8100 V_{dc} için elektrik alan çizgileri ve renk ölçeği



Şekil 6.30. Thoma laminanın görüntüsü

7. HÜCRE KÜLTÜRLERİNİN İNCELENMESİ

7.1 Ortalama Hücre Sayısı ve Mikroskopik Özellikler

Belirli süre farklı değerlerde elektrik alana maruz bırakılan hücre kültürleri incelenmek üzere A.İ.B.Ü. Tıp Fakültesi Fizyoloji Bölümü hücre inceleme laboratuvarına transfer edilmiştir. Numuneler uygulama koşullarına göre Çizelge 7.1’ de olduğu gibi isimlendirilmişlerdir. 1. Grup olarak 4 adet deney numunesi ile 1 adet kontrol numunesi 24 saat sonra incelenmeye alınmıştır.

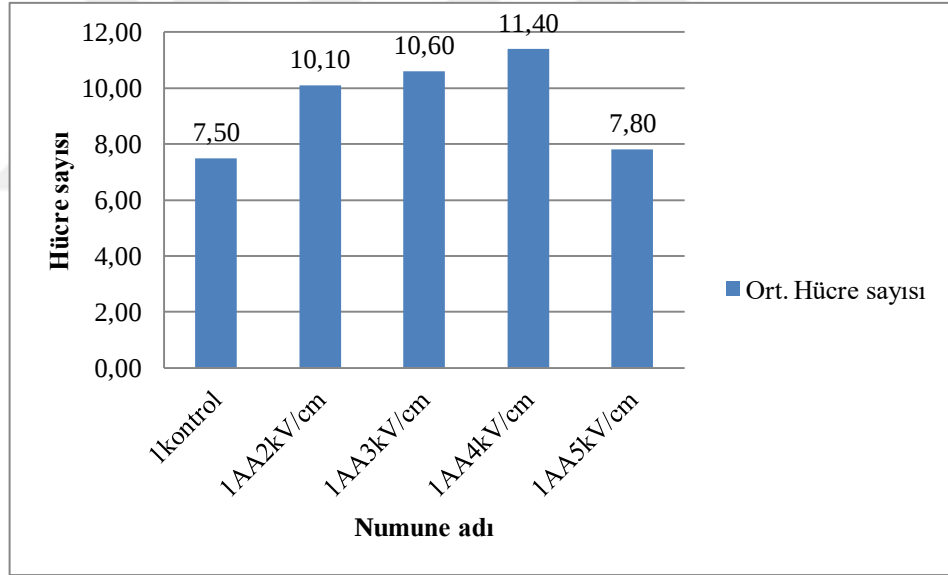
Çizelge 7.1. Numene isimleri ve deney koşulları

Numune Adı	Deney Gerilimi	Elek. Alan Şiddeti	İnceleme Süresi (saat)	Elektrot Sıcaklığı ¹	Deney Odacığı Sıcaklığı ¹	Nem	Basınç	CO ₂
1AA2kV/cm	8 kV _{rms}	2kV/cm	24	37° C	36.9° C	36%	91.10 kpa	350 ppm
1AA3kV/cm	12 kV _{rms}	3kV/cm	24	37° C	36.7° C	38.8 %	89.65 kpa	350 ppm
1AA4kV/cm	16 kV _{rms}	4kV/cm	24	36.9° C	36.8° C	37%	91.17 kpa	355 ppm
1AA5kV/cm	20 kV _{rms}	5kV/cm	24	36.9° C	36.8° C	37.9 %	91.17 kpa	372 ppm
2AA2kV/cm	8 kV _{rms}	2kV/cm	48	37° C	36.9° C	36%	91.10 kpa	350 ppm
2AA3kV/cm	12 kV _{rms}	3kV/cm	48	37° C	36.7° C	38.8 %	89.65 kpa	350 ppm
2AA4kV/cm	16 kV _{rms}	4kV/cm	48	36.9° C	36.8° C	37%	91.17 kpa	355 ppm
2AA5kV/cm	20 kV _{rms}	5kV/cm	48	36.9° C	36.8° C	37.9 %	91.17 kpa	372 ppm
DA0.5kV/cm	1,75 kV _{rms}	0.5kV/cm	48	37° C	37° C	38.1 %	90.41 kpa	370 ppm
DA1kV/cm	3,5 kV _{rms}	1kV/cm	48	37° C	37° C	38.6 %	90.93 kpa	370 ppm
DA1.5kV/cm	5,25 kV _{rms}	1.5kV/cm	48	36.7° C	36.8° C	40%	92.69 kpa	367 ppm
DA2.3kV/cm	8,1 kV _{rms}	2.3kV/cm	48	36.7° C	37.1° C	38.2 %	91.17 kpa	365 ppm
1kontrol	0	0	24	37° C	36.9° C	38%	91.15 kpa	378 ppm
2kontrol	0	0	48	37° C	36.9° C	38%	91.15 kpa	378 ppm

İncelemeler flasklar içinde bulunan hücrelerin sayımı ve morfolojik özellikleri açısından yapılmıştır. Hücre kültürlerinin incelenmesi sırasında hangi şiddetteki elektrik alana maruz bırakıldığı ve kontrol grubunun hangisi olduğu bilgileri, inceleme yapanlara inceleme sonuna kadar belirtilmemiştir. Böylece inceleme sırasında oluşabilecek ön yargılı yaklaşımların deney sonuçlarını etkilemesinin önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 7.2. AA uygulaması birinci grup inceleme sonuçları

Numune adı	Morfoloji	Stoplazma	Mitoz bölünme	Ortalama hücre sayısı
1KONTROL	Düzgün	Homojen	Başarılı	7,50
1AA2kV/cm	Düzgün	Homojen	Başarılı	10,10
1AA3kV/cm	Düzgün	Homojen	Başarılı	10,60
1AA4kV/cm	Düzgün	Homojen	Başarılı	11,40
1AA5kV/cm	Düzgün	Homojen	Başarılı	7,80

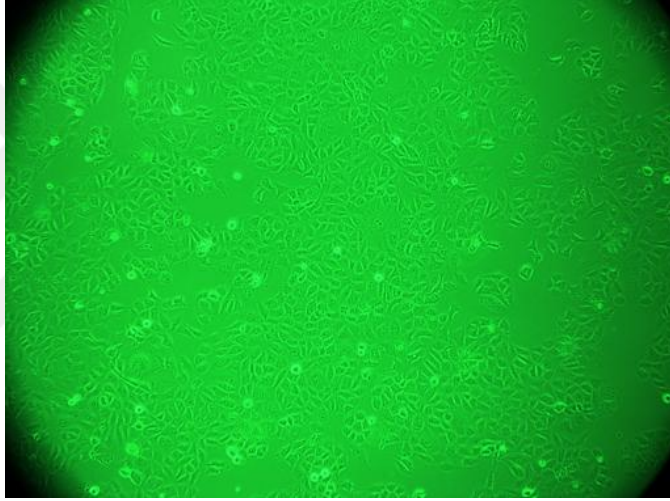


Şekil 7.1. AA uygulaması birinci grup için ortalama hücre sayıları

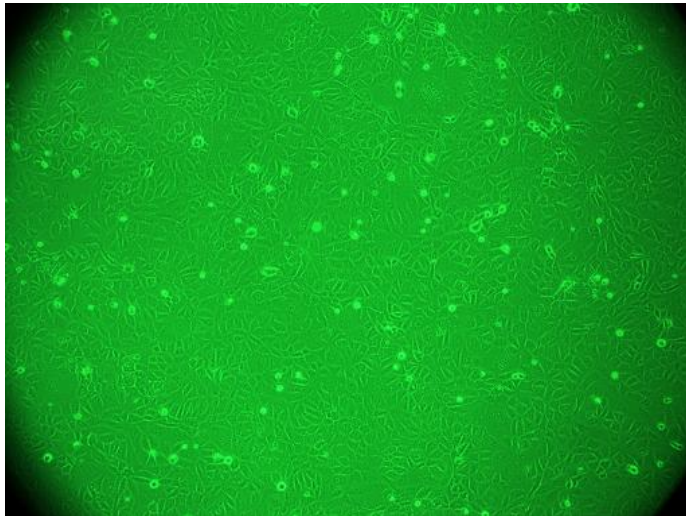
Çizelge 7.2’ de 24 saat sonra yapılan incelemeler sonunda elde edilen sonuçlar görülmektedir. İncelenen hücrelerin genel olarak düzgün ve homojen yapıya sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca sayım yapılırken thoma lamı üzerine yerleştirilen hücre kültürü üzerinde rastgele on bölme seçilmiştir ve Çizelge 7.2’ de aktarıldığı gibi birim alan başına düşen ortalama hücre sayısı belirlenmiştir. Hücrelerin bölünme hızlarının kaliteli olduğu anlaşılmıştır. Bu bağlamda deneyler

yürütülürken herhangi bir dejenerasyona neden olabilecek etkiye maruz kalmadığı söylenebilir.

Numuneler EUROMEX marka mikroskop ile incelenmiştir. İncelemeler yapılırken 10x yakınlaştırma ile fotoğraflar alınmıştır. Şekil 7.2 ve Şekil 7.3’ te bazı numunelerin mikroskop görüntüleri paylaşılmıştır. Bu resimlere göre hücrelerin morfolojik olarak düzgün bir yapıya sahip oldukları söylenebilir. Numune görüntüleri detaylı incelendiğinde yuvarlak halkalar görülmektedir bu halkalar bölünmeye başlayıp flask tabanına tutunmaya çalışan hücreler olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak numunelere bakıldığında hücre şekillerinin aynı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.2. 1AA4kV/cm isimli numunenin mikroskop görüntüsü

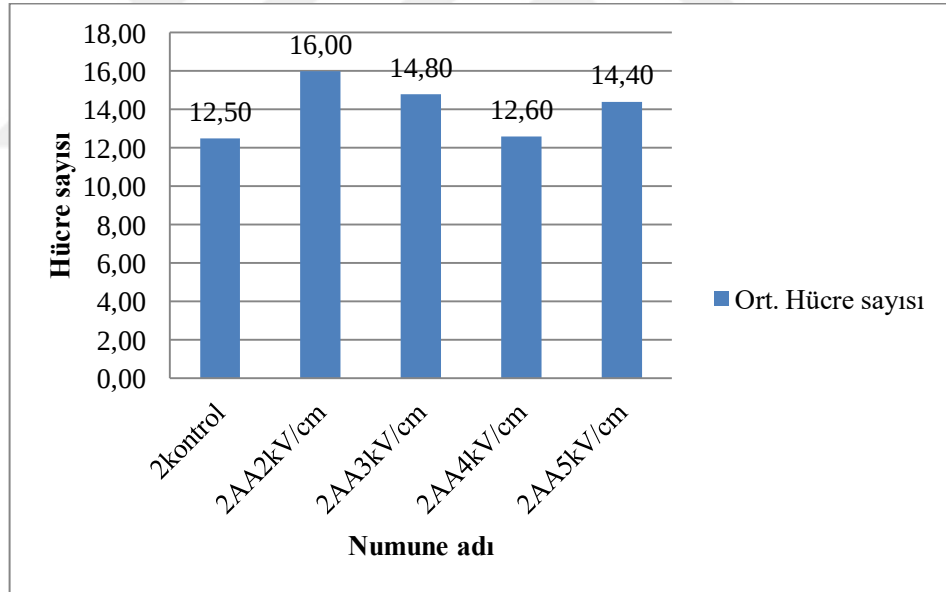


Şekil 7.3. 1AA3kV/cm isimli numunenin mikroskop görüntüsü

İkinci grup olarak adlandırılan numuneler ise birinci grup ile aynı anda aynı elektrik alana maruz bırakılmış fakat incelemesi 48 saat sonra yapılmış olan numunelerdir. Birinci gruba uygulanan prosedür bu gruba da uygulanmıştır. Çizelge 7.3' te ve Şekil 7.4' te 48 saat sonra yapılan incelemeler sonunda elde edilen veriler görülmektedir. Sonuçlar birinci gün ile karşılaştırıldığında ortalama hücre sayısının arttığı gözlemlenmektedir.

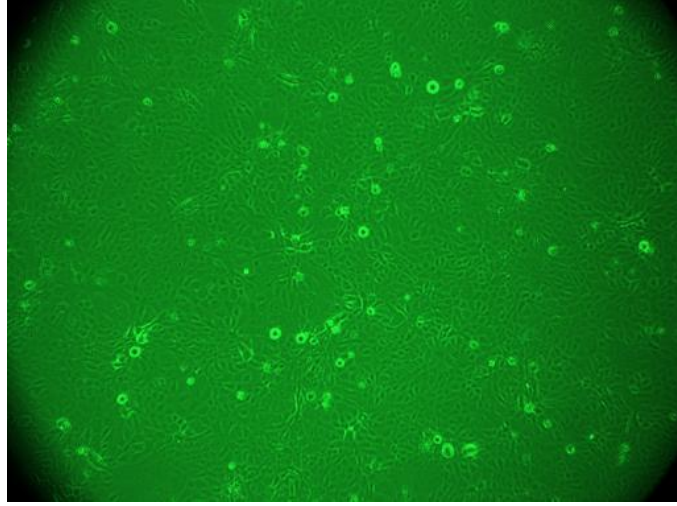
Çizelge 7.3. AA uygulaması ikinci grup inceleme sonuçları

Numune adı	Morfoloji	Stoplazma	Mitoz bölünme	Ortalama hücre sayısı
2kontrol	Düzgün	Homojen	Başarılı	12,50
2AA2kV/cm	Düzgün	Homojen	Başarılı	16,00
2AA3kV/cm	Düzgün	Homojen	Başarılı	14,80
2AA4kV/cm	Düzgün	Homojen	Başarılı	12,60
2AA5kV/cm	Düzgün	Homojen	Başarılı	14,40



Şekil 7.4. AA uygulaması ikinci ortalama hücre sayıları

İkinci grup deneylerde kullanılan hücre numunelerinden 2AA2kV/cm isimli numunenin mikroskop görüntüsü Şekil 7.5' te verilmiştir.



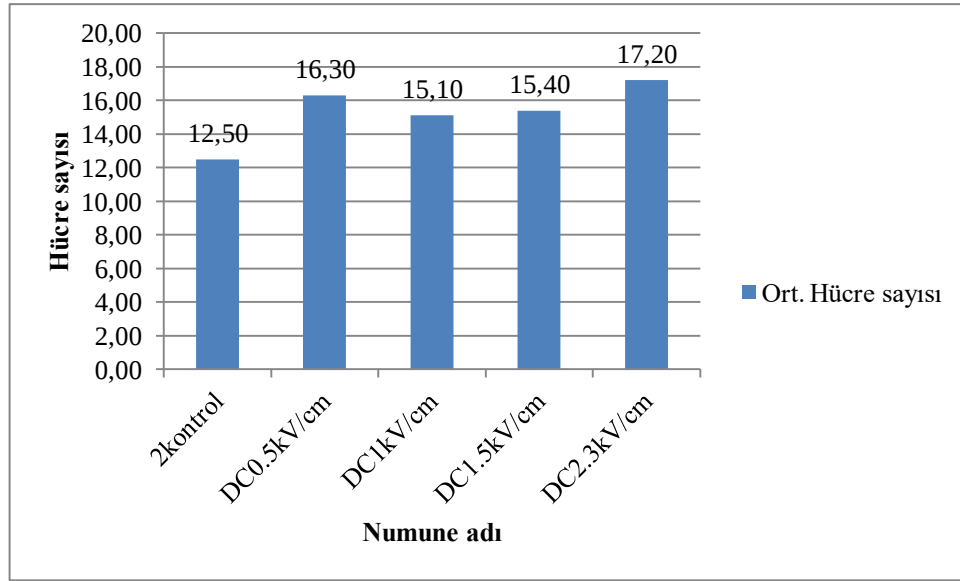
Şekil 7.5. 2AA2kV/ cm isimli numunenin mikroskop görüntüsü

Genel olarak kontrol grubu ortalama hücre sayılarının birinci ve ikinci grup numunelerinin ortalama hücre sayısına oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

DA elektrik alan uygulanan numuneler üçüncü grup olarak tanımlanmıştır. Bu numunelere 4 farklı elektrik alan uygulanmış olup 48 saat sonra yani ikinci gün sonunda incelemeleri yapılmıştır. Birinci ve ikinci gruptaki deney ve değerlendirme prosedürü üçüncü grup içinde uygulanmıştır. DA uygulama sonuçları Çizelge 7.4' te ve Şekil 7.6' da paylaşılmıştır. Tabloda yer alan sonuçlara göre ortalama hücre sayıları bu grupta daha yüksek tespit edilmiştir. Hücrelerin morfolojilerinin düzgün olduğu görülmüştür.

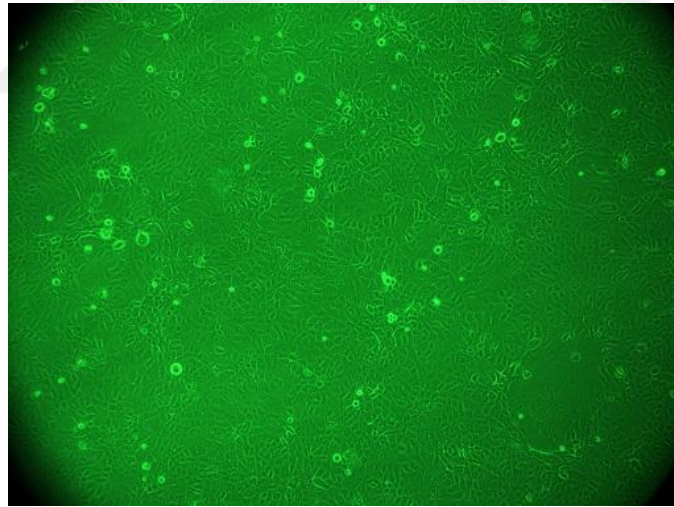
Çizelge 7.4. DA uygulaması üçüncü grup inceleme sonuçları

Numune adı	Morfoloji	Stoplazma	Mitoz bölünme	Ortalama hücre sayısı
2kontrol	Düzgün	Homojen	Başarılı	12,50
DA0.5kV/cm	Düzgün	Homojen	Başarılı	16,30
DA1kV/cm	Düzgün	Homojen	Başarılı	15,10
DA1.5kV/cm	Düzgün	Homojen	Başarılı	15,40
DA2.3kV/cm	Düzgün	Homojen	Başarılı	17,20



Şekil 7.6. DA uygulaması üçüncü grup ortalama hücre sayıları

Üçüncü grup ile ilgili numunenin mikroskop görüntüsü Şekil 7.7’ de verilmiştir. Paylaşılan mikroskop görüntüsüne göre hücrelerin morfolojik özelliklerin normal olduğu söylenebilir.



Şekil 7.7. DA1kV/cm isimli numunenin mikroskop görüntüsü

7.2 İstatistiksel Analiz

Yapılan incelemeler sonucunda tüm grupların kontrol grubuna göre farklı olduğu belirlenmiştir. Bu farklılığın herhangi bir anlam ifade edip etmediği önem arz etmektedir. Farklılıkları değerlendirmek için istatistik biliminden faydalanılmıştır.

Varyans analizi olarak da bilinmekte olan ANOVA testi iki veya daha fazla gruba ait ortalamaların arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı bir değere sahip olup olmadığını belirlemek için kullanılmaktadır. ANOVA testi ile gruplar arasında fark bulunması durumunda yani ANOVA testinde olası hata değerini ifade eden $p < 0.05$ ise Dunnet testi uygulanmaktadır. Dunnet testindeki amaç deney gruplarındaki farklılığı kontrol grupları ile karşılaştırmaktır.

Birinci grup deney sonuçları için tek etkenli ANOVA testi uygulanmıştır. Yapılan analize göre $p = 0.036$ olarak belirlenmiştir. Elde edilen p değeri doğrultusunda gruplar arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir. Daha sonra çoklu karşılaştırma testlerinden Dunnet ile kontrol grubuna göre 1. grup numuneleri karşılaştırılmıştır. Bu analiz sonucunda $p = 0.0363$ değerine sahip olan 1AA4kV/cm isimli numunenin anlamlı bir şekilde kontrol grubundan farklı olduğu belirlenmiştir.

İkinci grup deney sonuçları için tek etkenli ANOVA testi uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre $p = 0.0408$ olarak belirlenmiştir. Bu değere göre gruplar arasında anlamlı bir fark olduğu söylenebilmektedir. Daha sonra 2. grup numunelerini kontrol grubuna göre karşılaştırmak için Dunnet testi ile çoklu karşılaştırma analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda $p = 0.0313$ değerine sahip olan 2AA2kV/cm isimli numunenin anlamlı bir şekilde kontrol grubundan farklı olduğu belirlenmiştir.

Benzer olarak üçüncü grup deney sonuçları için tek etkenli ANOVA testi uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre $p = 0.0061$ olarak bulunmuştur. Bu güçlü değer doğrultusunda gruplar arasında anlamlı bir fark olduğu söylenebilir. Dunnet analizi sonucunda $p = 0.0015$ değerine sahip olan DA2.3kV/cm isimli numune ve $p = 0.0121$ değerine sahip olan DA0.5kV/cm isimli numunenin anlamlı bir şekilde kontrol grubundan farklı olduğu tespit edilmiştir. Anova testleri için Excel ortamı kullanılmış olup Ek C kısmında analizler paylaşılmıştır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günlük yaşamda farkına varmadan maruz kalınan elektrik alanların insan fizyolojisine ve patolojik koşulların oluşmasına nasıl bir etkide bulunduğu sürekli olarak tartışılan bir konudur. Bu çalışmada kemik kanserine yakalanmış bir hastanın elektrik alana maruz kalması durumunda nasıl etkileneceği hücre kültürü yardımıyla modellenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmanın yapılabilmesi için öncelikle hücrelerin bozunmadan yaşayabileceği sıcaklık kontrollü bir deney sistemi tasarlanmıştır. Bu aşamadan sonra kemik kanseri hücreleri eşit sürelerde farklı şiddetlerde elektrik alana maruz bırakılmıştır. Maruziyet sonucunda kontrol grupları ile karşılaştırıldığında elektriksel alana maruz bırakılan numunelerin hücre sayılarında bazı farklılıklar gözlenmiştir. Bu farklılıklar istatistik yöntemleriyle analiz edilerek anlamlı olup olmadıkları araştırılmıştır. Bazı numunelerin anlamlı bir şekilde farklı olduğu ortaya çıkmıştır. Birinci grupta bulunan 1AA4kV/cm isimli numunenin kontrol grubuna göre anlamlı bir şekilde daha hızlı çoğaldığı kanısına varılmıştır. Birinci grubun içinde bulunan diğer numuneler ise artış eğilimi göstermektedir. Şekil 7.1’ de görülen grafik AA elektrik alanın şiddete bağlı olarak hücre kültürü üzerindeki etkisini göstermektedir. Birinci grup için gerçekleştirilen AA elektrik alan uygulamasında, biyoloji alanında ‘inverted U shaped’ yani ters U olarak adlandırılan doz – etki mekanizması ortaya çıkmıştır. Ters U doz – etki mekanizmasında dışarıdan uygulanan stres faktörü farklı doz değerlerinde farklı tepkiler vermektedir. Örneğin Şekil 7.1’ de görüldüğü gibi yüksek ve düşük elektrik alan şiddeti uygulanan gruplarda hücre sayıları benzer görünürken orta düzey gruplarda farklı görülmektedir. Bunun nedeni farklı elektrik alan şiddetlerinin hücre içerisinde farklı bir fizyolojik ve/veya moleküler mekanizmayı harekete geçirmesinden kaynaklanıyor olabilir.

İkinci grup için yapılan uygulamada, $p= 0.0313$ değerine sahip olan 2AA2kV/cm isimli numunenin kontrol grubuna göre anlamlı bir şekilde daha hızlı çoğaldığı görülmüştür. İkinci gruba dahil olan diğer numuneler incelendiğinde benzer olarak bir artış eğiliminde oldukları görülmektedir. Bu bağlamda Şekil 7.4 incelendiğinde birinci gruptaki gibi bir ters U doz – etki mekanizmasının olduğu

görülmektedir. Birinci ve ikinci grup olarak adlandırılan numunelere AA elektrik alan uygulaması gerçekleştirildiğinde ters U doz – etki mekanizması görülmüş olup uygulanan elektrik alanların kemik kanseri hücrelerinin çoğalma hızını artırdığı söylenebilir.

Üçüncü grup için yapılan uygulamada, $p=0.0015$ değerine sahip olan DA2.3kV/cm isimli numune ve $p=0.0121$ değerine sahip olan DA0.5kV/cm isimli numunenin kontrol grubuna göre anlamlı bir şekilde daha hızlı çoğaldığı söylenebilir. Bu gruptaki diğer numuneler daha fazla artış eğilimi göstermektedirler. Şekil 7.6 incelendiğinde bu grupta doz – etki mekanizmasının AA uygulamasından farklı olarak lineer bir doz – etki mekanizmasına sahip olduğu ve böylelikle elektrik alan şiddeti arttıkça hücre çoğalma hızının arttığı söylenebilir. Ayrıca ikinci grup ve üçüncü grup kendi arasında karşılaştırıldığında DA uygulamanın hücre çoğalmasına etkisinin daha fazla olduğu kanısına varılabilir.

Yukarıda anlatılan sonuçlar ışığında elektrik alanların bulunduğu yerlerde çalışan veya yaşayan canlıların elektrik alan maruziyetleri giderilmeli veya korunma yöntemleri üzerine çalışmalar arttırılmalıdır. Hücre kültürü çalışmalarının kendi içerisinde bazı kısıtlamaları olduğu göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Örneğin hücre kültüründe hücreler, canlı organizma içerisinde bulunan hücre-hücre dışı ortam etkileşimlerinden mahrumdurlar. Normal fizyolojik koşullarda belirli bir dokudaki hücreler diğer doku ve organlar ile etkileşim halindedirler. Bu durumda dış etkenlerden kaynaklı stres durumlarında belirli bir dokudaki hücrelerin verdiği tepki diğer doku ve organların etkileşimi ile gerçekleşmektedir. Oysa hücre kültürü çalışmalarında bu etkileşim eksik olduğundan dolayı, bu çalışmada gözlemlenen sonuçların daha sağlıklı değerlendirilebilmesi için deney hayvanları ile yapılacak detaylı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların elektrik alan maruziyet şiddetleri hakkında fikir sunarak yapılacak yeni çalışmalara ışık tutması düşünülmektedir.

9. KAYNAKLAR

- Akhunlar A (1965) Elektromagnetik Alan Teorisi 1. Statik Eelektrik Alanı, İ.T.Ü Kütüphanesi sayı 615, İstanbul.
- Akhunlar A (1971) Elektrik Alanlarına Giriş 1 Statik Eelektrik Alanı, İ.T.Ü Kütüphanesi , sayı 817, İstanbul.
- Akiyama H (2000) "Streamer Discharges in Liquids and Their Applications", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 7, no. 5, pp. 646-653.
- Andre FM and Mir LM (2010) "Nucleic Acids Electrotransfer In Vivo: Mechanism and Practical Aspects", Current Gene Therapy, Vol:10, pp: 267- 280.
- Arıkan K (2013) Elektriksel Boşalmanın Bulanık Mantık ile Benzetimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ATCC, Saos-2, www.lgcstandarts-atcc.org/products, 5 Ekim 2017.
- Baltscheffsky H, Jörnvall H and Rigler R (1986) Molecular Evolution of Life, chemica scripta, 12 sep 1985, Sweden.
- Barbosa GV, Pierson MD, Zhang HQ and Schaffner DW (2000) "Pulsed Electric Field", Journal of Food Science, vol. 65, no. 8, pp. 65-79.
- Baker RJ and Pocha MD (1990) "Nanosecond switching Using Power Mosfets", Review of Scientific Instruments, Vol:61 no:8, pp: 2211 – 2213.
- Beebe SJ, Fox PM, Rec LJ, Somers K, Stark RH and Schoenbach KH (2002) "Nanosecond pulsed electric field (nsPEF) effects on cells and tissues: Apoptosis induction and tumor growth inhibition", IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 30, no. 1, pp. 286-292.
- Bhardwaj N and Kundu SC (2010) "Electrospinning: A Fascinating Fiber Fabrication Technique", Biotechnology Advances, Vol: 28 issue: 3, pp: 325-347.
- Chapman JS (çeviri Akın E ve Orhan E) (2013) Elektrik Makinalarının Temelleri, 3. Baskı, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Chaney A and Sundararajan R (2004) "Simple Mosfet – Based High Voltage Nanosecond Pulse Circuit", IEEE Transactions on Plasma Science, Vol:32 No:5, pp:1919-1924.
- Dashi J and Reneker D (1995) "Electrospinnig Process and Applications of Electrospun Fibers", Journal of Electrostatic, Vol:35 issue:2-3, pp: 151-160.

- Davis JG and Mills WA (1993) "Health Effects of Low Frequency Electric and Magnetic Field", Science and Technology, Vol:27 no:1, pp:44-48.
- Dubois D and Prade H (1980) Fuzzy sets and systems, theory and application, Academic Press, America.
- Elegenedy MA, Darwish A, Ahmed S and Williams BW (2017) "A Transition Arm Modular Multilevel Universal Pulse-Waveform Generator for Electroporation Applications", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol: 32 No: 12, pp:8879-8911.
- Elmas Ç (2011) Yapay Zeka Uygulamaları, ISBN 978-975-02-1696-1, 2. Baskı, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- Elserougi AA, Massoud AM and Ahmed A (2016) "A modular high voltage pulse generator with sequential charging for water treatment", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol:63 no:12, 7898-7907.
- Fidan M (2011) Harmoniklerden Kaynaklanan Gerilim Bozulmalarının Elektrik Kısmi Boşalmalar Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Frazier WC and Westhoff DSC (2004), Food Microbiology, Tata MC Graw-Hill publishing company Ltd, New Delhi.
- Gad A (2014) A Study of Electrode Material Performance During Food Processing by Pulsed Electric Fields, Doctor of Philosophy, University of Waterloo, Waterloo.
- Gao Y, Deng Y and Men Y (2016) "Disruption of Microbial Cell Within Waste Activated Sludge by DC Corona Assisted Pulsed Electric Field", IEEE Transactions on Plasma Science, Vol:44 no:11, pp:2682-2691.
- Ghazala AA, Katsuki S, Schoenbach KH, Dobbs FC and Moreira KR (2002) "Bacterial Decontamination of Water by Means of Pulsed-Corona Discharges", IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 30, no. 4, pp. 1449-1453.
- Gok KD, Akpınar D, Yargıoğlu P, Ozan S, Aslan M, Demir N, Derin N, and Agar A (2014) "Effects of Extremely Low-Frequency Electric Fields at Different Intensities and Exposure Durations on Mismatch Negativity", Neuroscience, Vol:272, pp: 154 – 166.
- Gothelf A and Gehl J (2010) "Gene Electrotransfer to Skin; Review of Existing Literature and Clinical Perspectives", Current Gene Therapy, vol:10, pp: 287-299.
- Gundersen M, Vernier PT, Marcu L, Li AM, Zhu XM, Gallam AZ, Katsouleas T, Young C, Behrend M and Craft CM (2002) "Ultrashort pulse electroporation: Applications of high pulsed electric fields to induced caspase activation of

human lymphocytes", Proc. 25th Power Modul. Symp., pp., 2002-Jul 667-670.

Guo S, Jackson LD, Burcus IN, Chen YJ, Xiao S and Heller R (2014) "Gene Electrotransfer Enhanced by Nanosecond Pulsed Electric Fields", Molecular Therapy Methods and Clinical Development, Vol: 1.

Güler G, Seylan N and Aricioglu A (2006) "Effects of Static and 50 Hz Alternating Electric Fields on Superoxide Dismutase Activity and TBARS Levels in Guinea Pigs ", General Physiology and Biophysics, Vol: 25 No:2, pp: 177 – 193.

Grenier RJ (2006) Designed of Mosfet – Based Pulsed Power Supply for Electroporation, Master of Science Thesis, University of Waterloo, Waterloo.

Health Topics, Electromagnetic Fields,
www.who.int/topics/electromagnetic_field,10.10.2017.

Heller LC and Heller R (2006) "In Vivo Electroporation For Gene Therapy", Human Gene Therapy, Vol:17, pp: 890-897.

Heller R and Grasso RJ (1990) "Electrofusion of individual animal cells directly to intact corneal epithelial tissue", Biochem. Biophys. Acta, vol:1024, 185-188.

Heller R and Gilbert R (1992) "Biological applications of cell tissue electrofusion", Academic Press, San Diego.

Hess LH and Baker JR (2000) "Transformerless Capacitive Coupling of Gate Signals for Series Operation of Power MOS Devices", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol: 15 No:5, pp: 923-930.

Izdebski T, Dors M and Mizeraczyk J (2011) "River Water Remediation Using Electrohydraulic Discharges or Ozonation", IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 39, no. 3, pp. 953-959, 2011.

İdemen M (1996) Elektromanyetik Alan Teorisi, 975- 756 -0670, 2. Baskı, Literatür Yayıncılık, İstanbul.

Jay JM (1996), Modern Food Microbiology, Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Jentzsch E, Gül Ö and Öznergiz E (2012) "A Comprehensive Electric Field Analysis of a Multifunctional Electrospinning Platform", Journal of Electrostatic, Vol: 71 no:3, pp: 294-298.

Johnstone PT and Bodger PS (1997) "High Voltage Disinfection of Liquids", The Institution of Professional Engineers New Zealand (IPENZ) Trans., vol. 24, no. 1, pp. 30-35.

Kalenderli Ö, Kocatepe C ve Arıkan O (2011) Çözümlü Problemlerle Yüksek Gerilim Tekniği Cilt 1, 975-511-420-3, 2. Baskı, Birsan Yayınevi, İstanbul.

Kanseroloji, Osteosarkom Nedenleri ve Tedavi Yöntemleri, www.kanseroloji.com/osteosarkom , 20 Eylül 2017.

Karacaörenli A (2007) 50 Hz Şebeke Frekanslı Elektrik Alanın Sıçanlarda Yavru Gelişimi Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

KBT Bilim Sitesi, Elektrik Alanı, www.kuark.org/ 2012/08/elektrik-alan , 5 Eylül 2017.

Kinosit K and Tsong TY (1977) “Hemolysis of Human Erythrocytes by a Transient Electric Field”, Proceeding of National Academy of Sciences of The United States of America, Vol: 74, pp: 1923 – 1927.

Kirson DE, Dbaly V, Tovarys F, Vymazal J, Soustiel JF, Itzhaki A, Mordechovic D, Shapira SS, Gurvich Z, Schniderman R, Wasserman Y, Salzberg M, Ryfell B, Goldsher D, Dekel E and Palti Y (2007) “Alternating Electric Fields Arrest Cell Proliferation in Animal Tumor Models and Human Brain Tumors”, PNAS, Vol:104 No:24, pp:10152-10157.

Korpinen L and Partanen J (1996) “Influence of 50-Hz Electric and Magnetic Fields on Human Blood Pressure”, Radiation Environmental Biophysics, Vol: 35 No:3, pp: 199-204.

Kosko B (1997) Fuzzy engineering, Prentice Hall Inc., New Jersey.

Kuffel E and Zaengl WS (2004) High Voltage Engineering Fundamentals, Mc GrawHill, Newyork.

Kutucu K (2009) Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Üç Boyutlu Elektrik Alan Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Lackovic I, Magjarevic R and Miklavcic D (2009) “Three Dimensional Finite Element Analysis of Joule Heating in Electrochemotherapy and In Vivo Gene Electrotransfer”, IEEE Transaction on Dielectric and Electrical Insulation, Vol:16, pp: 1338- 1347.

Lee, C C (1990) “Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller part 1, part 2” , Transactions on Systems Man and Cybernetics, vol:20 no:2, 404-435.

Lucas J R (2001) High Voltage Engineering, Revised Edition, Katson, Sri Lanka.

MacDiarmid A, Jones Jr. WE, Norris ID, Gao J, Johnson AT, Pinto NJ, Hone J, Han B, Ko FK, Okuzaki H and Liaguno M (2001) “Electrostatically – Generated Nanofibers of Electronic Fiber”, Synthetic Metals, Vol:119 issue: 1-3, pp: 27-30

- Mamdani EH (1977) "Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Systems", IEEE Transactions on Computers, Vol:26, pp:1181 – 1191.
- Mankowski J and Mristiansen M (2000) "A Review of Short Pulse Generator Technology", IEEE Transaction on Plasma Science, Vol: 28 no: 1, pp: 102-108.
- McCullen SD, McQuilling JP, Grossfeld RM, Lubischer JL, Clarke LI and Lobo EG (2010) "Application of Low-Frequency Alternating Current Electric Fields via Interdigitated Electrodes: Effects on Cellular Viability, Cytoplasmic Calcium, and Osteogenic Differentiation of Human Adipose-Derived Stem Cells", Tissue Engineering Part C Methods, Vol:16 No:6, pp: 1337- 1386.
- Maxim Integrated (2015), DS18B20 Datasheet, USA.
- Mir LM, Banoun H and Paoletti C (1988) "Introduction of definite amounts of nonpermeant molecules into living cells after electroporation: Direct access to cytosol", Exp. Cell Res., vol:175, 15-25.
- Negoita CV (1981), Fuzzy systems, Abacus Press, Turnbridge- Wells.
- Norman N, Joseph H, Hotchkiss (1996), Food Science, CBS Publishers and Distributor, New Delhi.
- Ohshima T, Tanino T, Kameda T and Haroshima H (2016) "Engineering of Operation Condition in Milk Pasteurization With PEF Treatment", Food Control, Vol:68, pp: 297 – 302.
- Orlowski S, Belehradek JJ, Paoletti C and Mir LM (1988) "Transient electroporation of cells in culture", Biochem. Pharmacol, vol:37, 4727-4733.
- Özkaya M (1996) Yüksek Gerilim Tekniği Cilt 1, 975-511137-9, 2. Baskı, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Pakhomov AG, Miklavcic D and Markov MS (2010) Advanced Electroporation Techniques in Biology and Medicine, CRC Press, Florida.
- Prausnitz MR, Bose VG, Langer VG and Weaver JC (1993) "Electroporation of mammalian skin: A mechanism to enhance transdermal drug delivery", Proc. Natl. Acad. Sci. USA, vol:90, 10504-10508.
- Powell KT, Morgentaler AW and Weaver JC (1989) "Tissue electroporation: Observation of reversible electrical breakdown in viable frog skin", Biophys. J., vol:56, 1163-1171.

- Reddy MK, Penchalaraju M (2014) "Pulsed electric field technology in food processing industry-a review", *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 3, no. 7, pp. 1144-1149.
- Reneker HD and Chun I (1996) "Nanometer Diameter Fibres of Polymer, Produced by Electrospinning", *Nanotechnology*, Vol:7 no:3, pp: 216-223.
- Reneker HD and Yarin AL (2008) "Electrospinning Jets and Polymer Nanofibers", *Polymer*, Vol: 49 issue: 10, pp: 2387- 2425.
- Ross TJ (1995), *Fuzzy logic with engineering applications*, Mc Graw Hill Inc., America.
- Rutledge GC and Fridrikh SV (2007) "Formation of Fibers by Electrospinning", *Advanced Drug Delivery Reviews*, Vol:59 issue:14, pp: 1384-1391.
- Schoenbach KH, Peterkin EF, Alden RW and Beebe SJ (1997) "The Effect of Pulsed Electric Fields on Biological Cells: Experiments and Application", *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol:25 no:2, pp: 284-292.
- Shawki MM and Gaballah A (2015) "The Effect of Low AC Electric Field on Bacterial Cell Death", *Romanian J Biophysics*, Vol:25 No:2, pp:163-172.
- Subbiah T, Bhot GS, Tock RW, Parameswaran S and Ramkumar SS (2005) "Electrospinning of Nanofibers", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol: 96 issue: 2, pp: 557-569.
- Sundararajan R, Shao J, Soundarajan E, Gonzales J and Chaney A (2004) "Performance of Solide – State High Voltage Pulsers for Biological Applications – A Preliminary Study", *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol:32 No:5, pp: 2017-2025.
- Sugeno M (1992) *Industrial Applications of fuzzy control*, North Holland, Amsterdam.
- Şeker S ve Çerezci O (1997) *Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri*, 1. Baskı, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- The Mathworks (2012) *Fuzzy Logic Toolbox User's Guide*, Massachusetts.
- Treize AE, Palazon L, Davis WL and Colledge WH (2003) "In Vivo Gene Expression: DNA Electrotransfer", *Current Opinion in Molecular Therapeutics*, Vol:5, pp: 397- 404.
- Uzar E, Yılmaz HR, Yılmaz M, Uz E, Yürekli AV, Dündar B, Koyuncuoğlu RH and Çömlekçi S (2011) "Effects of 50 Hz Electric Field on Malondyaldehyde and Nitric Oxide Levels in Spinal Cord of Rats at Prenatal Plus Postnatal Period", *Turkish Journal of Medical Sciences*, Vol:25 No:2, pp:163-172.

- Yao C, Sun C, Mi Y, Xiong L and Wang S (2004) "Experimental studies on killing and inhibiting effects of steep pulsed electric field (SPEF) to target cancer cells and solid tumor", *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 32, no. 2, pp. 1626-1633.
- Yao C, Hu X, Mi Y, Li C and Sun C (2009) "Window effect of pulsed electric field on biological cells", *IEEE Trans. Dielect. Elect. Insul.*, vol. 16, no. 5, pp. 1259-1266.
- Yager RR (1974) "A note probabilities of fuzzy events", *Inform Sci.*, vol:18, 113-119.
- Yuan Y and Shaw MJ (1995) "Induction of Fuzzy Decision Trees", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol: 69, pp: 125-139.
- Zadeh LA (1965) "Fuzzy Sets", *Information and Control*, Vol:8, pp:332-353.
- Zadeh LA (1971) "On fuzzy algorithms", *Electron. Res. Res. Lab.* M325.
- Zadeh LA (1987) "A Computational Theory of Dispositions" ,*Into Journal of Intelligent Systems*, Vol: 69, pp:39-63.
- Zadeh LA, Fu KS, Tanaka K and Shimura M (1975), *Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision process*, Academic Press, New York.
- Zadeh LA (1994) " The Role of Fuzzy Logic in Modelling and Control", *Model. Iddentif. Control*, Vol: 15 No:3, pp: 191-203.
- Zhang Q, Gonzalez AM, Qin BL, Barbosa G V and Swanson BG (1994) "Inactivation of *saccharomyces cerevisiae* in apple juice by square-wave and exponential-decay pulsed electric fields", *Journal of Food Process Engineering*, vol. 17, no. 4, pp. 469-478.
- Zimmerman U, Pilwat G, Holzapfel C ve Rosenheck K (1971) "Electrical Hemolysis of Human and Bovine Red Blood Cells", *Biophysical Journal*, Vol:14, 881-889.
- Qin BL, Zhang Q, Barbosa-Canovas GV, Swanson BG, and Pedrow PD (1994) "Inactivation of Microorganisms by Pulsed Electric Fields of Different Voltage Waveforms", *IEEE Transaction Dielectric and Electrical Insulation*, Vol: 1 no: 6, pp: 1047 – 1057.
- Qin S, Timoshkin IV, Maclean M, Wilson MP, MacGregor SJ, Given M J, Anderson J G and Wang T (2014) "Pulsed Electric Field Treatment of Microalgae: Inactivation Tendencies and Energy Consumption", *IEEE Transaction on Plasma Science*, Vol:42 No:10, pp: 3191-3196.
- Wadhwa CL (2007) *High Voltage Engineering*, 2. Edition, New Age International Limited, New Delhi.

Waver JC (2000) “Electroportation of Cells and Tissues”, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol:28 no:1, pp: 24-33.





EKLER

10. EKLER

EK A

Bu bölüm deney sisteminin yapım aşamasında ve deneyler esnasında çekilen fotoğrafları içermektedir.



Şekil 10.1. Isı yalıtımlı kabın içindeki hücre kültürlerinin görüntüsü



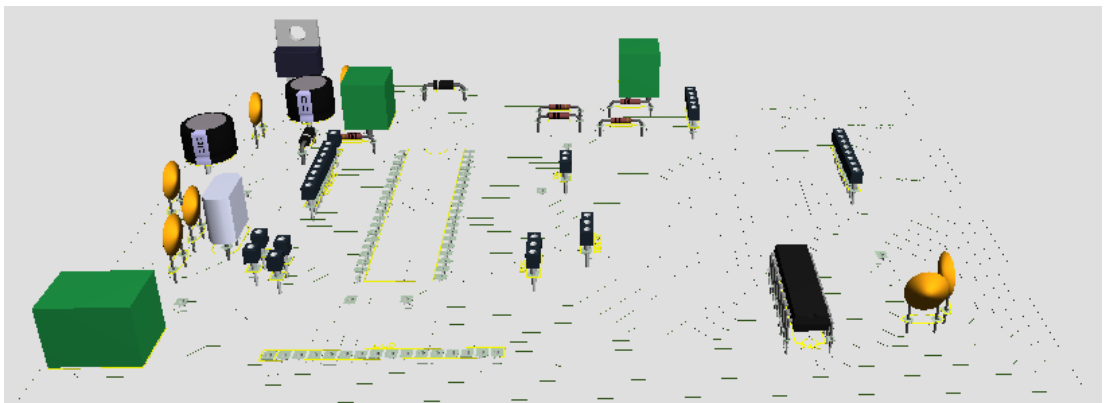
Şekil 10.2. Deney öncesi dezenfektasyon işlemi



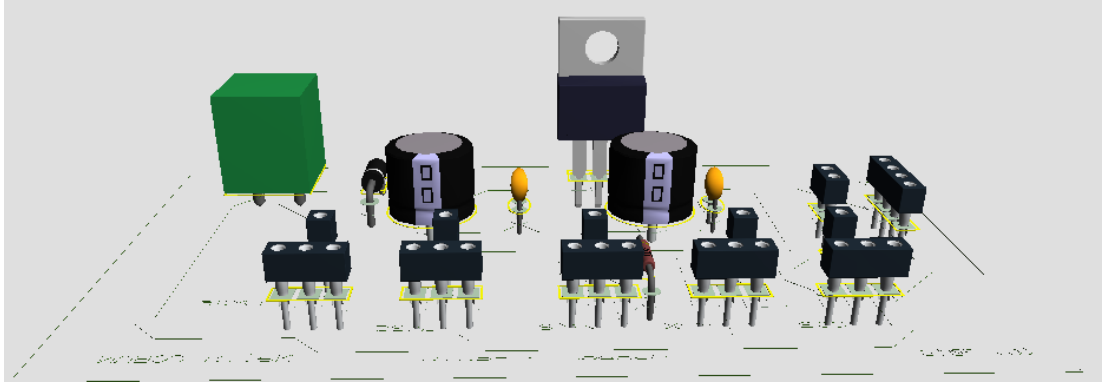
Şekil 10.3. DA elektrik alan uygulaması

EK B

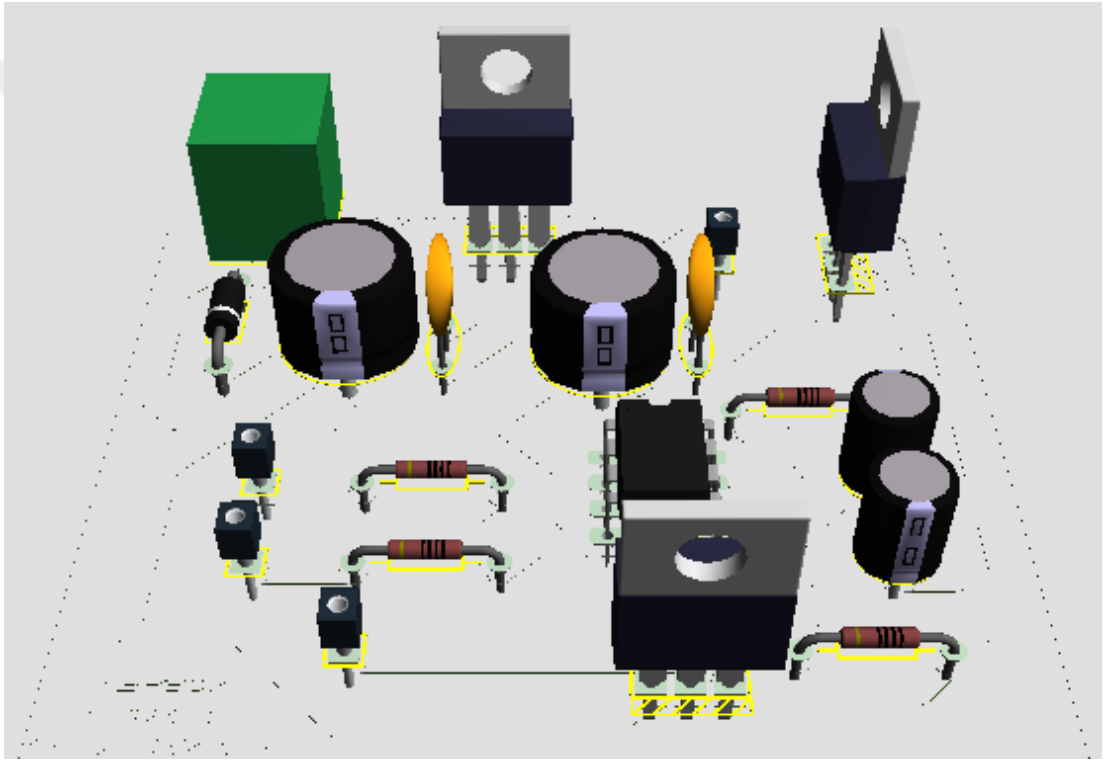
Bu bölümde deney sisteminde kullanılan devre kartlarının üç boyutlu görünüşleri paylaşılmıştır.



Şekil 10.4. Kontrol kartı 3 boyutlu görünümü



Şekil 10.5. Sensör kartı 3 boyutlu görünümü



Şekil 10.6. Mosfet sürücü kartı 3 boyutlu görünümü

EK C

Bu bölümde tek etkenli Anova analizleri ve alan bazında hücre sayıları verilmiştir. Hücreler Thoma lamında sayılmış olup rastgele 10 alan seçilmiştir.

Çizelge 10.1. Birinci grup için hücre sayımları

Kontrol	1AA2kV/cm	1AA3kV/cm	1AA4kV/cm	1AA5kV/cm
10	4	13	11	15
6	14	13	12	3
9	6	9	10	10
8	11	11	12	9
8	9	12	6	8
6	6	7	13	6
6	7	10	16	12
6	10	10	15	4
5	16	13	10	4
11	18	8	9	7

Anova: Tek Etken

ÖZET

Gruplar	Say	Toplam	Ortalama	Varyans
Kontrol	10	75	7,5	4,055556
1AA2kV/cm	10	101	10,1	21,65556
1AA3kV/cm	10	106	10,6	4,711111
1AA4kV/cm	10	114	11,4	8,488889
1AA5kV/cm	10	78	7,8	14,62222

ANOVA

Varyans Kaynağı	SS	df	MS	F	P-değeri	F ölçütü
Gruplar						
Arasında	120,68	4	30,17	2,81787	0,036033	2,578739
Gruplar İçinde	481,8	45	10,70667			
Toplam	602,48	49				

Yukarıda verilen bilgiler birinci grup için yapılmış tek etkenli Anova testi sonuçlarıdır. Görüldüğü gibi p değeri 0,036033 olarak bulunmuştur.

Çizelge 10.2. İkinci grup için hücre sayımları

Kontrol	2AA2kV/cm	2AA3kV/cm	2AA4kV/cm	2AA5kV/cm
16	16	11	11	16
17	14	15	14	17
14	19	15	16	19
12	20	16	19	15
13	20	9	11	17
11	12	14	11	13
10	10	13	13	18
8	11	12	16	13
12	11	12	15	14
12	15	9	18	18

Anova: Tek Etken

ÖZET

Gruplar	Say	Toplam	Ortalama	Varyans
Kontrol	10	125	12,5	7,1666667
2AA3kV/cm	10	148	14,8	14,844444
2AA4kV/cm	10	126	12,6	6,0444444
2AA5kV/cm	10	144	14,4	8,4888889
2AA2kV/cm	10	160	16	4,6666667

ANOVA

Varyans Kaynağı	SS	df	MS	F	P-değeri	F ölçütü
Gruplar						
Arasında	89,92	4	22,48	2,7274198	0,0407801	2,578739
Gruplar İçinde	370,9	45	8,2422222			
Toplam	460,82	49				

İkinci grup için gerçekleştirilen tek etkenli Anova testi bilgileri yukarıda görülmektedir. $P=0,0407801$ olarak belirlenmiş olup $p<0,05$ değerini sağlamaktadır.

Çizelge 10.3. Üçüncü grup için hücre sayımları

Kontrol	DA0.5kV/cm	DA1kV/cm	DA1.5kV/cm	DA2.3kV/cm
16	13	9	22	17
17	16	19	16	19
14	17	16	14	19
12	17	17	11	20
13	15	14	15	17
11	17	18	10	15
10	18	18	16	19
8	19	16	17	16
12	16	14	18	13
12	15	10	15	17

Anova: Tek
Etken

Gruplar	Say	Toplam	Ortalama	Varyans
ÖZET	10	125	12,5	7,166667
DA0.5kV/cm	10	163	16,3	2,9
DA1kV/cm	10	151	15,1	11,43333
DA1.5kV/cm	10	154	15,4	11,6
DA2.3kV/cm	10	172	17,2	4,622222

ANOVA

Varyans Kaynağı	SS	df	MS	F	P-değeri	F ölçütü
Gruplar						
Arasında	125	4	31,25	4,142121	0,006098	2,578739
Gruplar İçinde	339,5	45	7,544444			
Toplam	464,5	49				

Üçüncü grup için gerçekleştirilen tek etkenli Anova testi bilgileri yukarıda görülmektedir. $P=0,006098$ olarak belirlenmiş olup $p<0,05$ değerini sağlamaktadır.

11. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Melih ÇOBAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Polatlı - 02.01.1991

Lisans Üniversite : Melikşah Üniversitesi

Elektronik posta : melihcoban@ibu.edu.tr

İletişim Adresi : Karaköy toki 1. Etap BOLU