

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKSEL KISMİ BOŞALMAYI ETKİLEYEN ETKENLERİN
İNCELENMESİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuncer DÖNMEZ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

ARALIK 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKSEL KISMİ BOŞALMAYI ETKİLEYEN ETKENLERİN
İNCELENMESİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tuncer DÖNMEZ
(504131045)**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Emel ÖNAL

ARALIK 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504131045 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Tuncer DÖNMEZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ELEKTRİKSEL KISMİ BOŞALMAYI ETKİLEYEN ETKENLERİN İNCELENMESİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Emel ÖNAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Gökhan GÖKMEN
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : 25 Kasım 2016
Savunma Tarihi : 20 Aralık 2016





Babama,



ÖNSÖZ

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği yüksek lisans programı çerçevesinde hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca beni yönlendiren, desteğini ve bilgisini benden esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Emel ÖNAL'a ve çalışmam boyunca değerli tecrübeleriyle bana yol gösteren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Hayatım boyunca yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2016

Tuncer Dönmez
(Elektrik Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xxiii
ÖZET	xxxi
SUMMARY	xxxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
2. KISMİ BOŞALMA	5
2.1 Kısmi Boşalmanın Türleri	6
2.1.1 Korona olayı	6
2.1.2 Yüzeysel boşalma	6
2.1.3 Elektriksel ağaçlanma	6
2.1.4 Boşluk kısmi boşalması	7
2.2 Kısmi Boşalma Algılama Yöntemleri	7
2.2.1 Elektriksel algılama yöntemi	7
2.2.2 Elektromanyetik algılama yöntemi	7
2.2.3 Optik algılama yöntemi	7
2.2.4 Akustik algılama yöntemi	8
2.2.5 Kimyasal algılama yöntemi	8
2.2.6 Termal algılama yöntemi	8
2.3 Yalıtkan Malzemenin Dielektrik Dayanımını Etkileyen Etkiler	8
3. KISMİ BOŞALMA ÖLÇÜMÜ	9
3.1 Kısmi Boşalmanın Oluştığı Yerler	9
3.2 Kısmi Boşalmanın Tespiti	9
3.3 Kısmi Boşalmanın Ölçülmesi	9
3.4 Kısmi Boşalma Ölçüm Deneylerinin Yapılması ve Analizi	10
4. KISMİ BOŞALMAYI ETKİLEYEN ETKENLERİN İNCELENMESİ	15
4.1 Kısmi Boşalma Deneylerinin Hazırlanması	15
4.2 Kısmi Boşalma Deneylerinin Yapılışı	17
4.2.1 Atlama gerilimlerinin bulunması	17
4.2.2 Çubuk elektrot-disk düzlem deneylerinin yapılması	21
4.2.3 Çubuk elektrot-Rogowski düzlem deneylerinin yapılması	32
4.2.4 Alçak basınçta çubuk elektrot-disk düzlem deneylerinin yapılması	41
4.3 Deney Sonuçlarının İncelenmesi	72
4.3.1 KB başlangıç gerilimini etkileyen etkenlerin incelenmesi	77
4.3.1.1 Elektrot yarıçapı	77

4.3.1.2 Düzlem özelliği	78
4.3.1.3 Elektrot-düzlem arası açıklık	78
4.3.1.4 Alçak basınç	78
4.3.2 Deney sonuçlarının kısmi boşalma açısından analizi.....	78
4.4 KB Ölçümlerindeki Hatanın Hesaplanması	80
5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ.....	87
5.1 Sonlu Elemanlar Yönteminin Tarihçesi	87
5.2 Sonlu Elemanlar Yönteminin İlkesi	87
5.3 Sonlu Elemanlar Yönteminin Elektrostatik Problemlere Uygulanması	88
6. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE MODELLEME	95
6.1 FEMM Programıyla Modelleme Yapılması	96
6.1.1 Problemin oluşturulması	96
6.1.2 Problemin çizilmesi.....	97
6.1.3 Materyal özellikleri ve sınır değerlerin girilmesi	98
6.1.4 Problemin sonlu elemanlara bölünmesi	99
6.1.5 Sonuçların alınması	100
6.2 Elektrot Düzlem Sisteminin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi	102
6.2.1 Disk düzlemde modellerin oluşturulması.....	102
6.2.2 Disk düzlemde benzetim sonuçları	108
6.2.3 Rogowski düzlemde modellerin oluşturulması	109
6.2.4 Rogowski düzlemde benzetim sonuçları	115
6.2.5 FEMM 4.2 programında KB başlangıç gerilimlerinin hesaplanması	116
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	119
KAYNAKLAR.....	123
EKLER	125
ÖZGEÇMİŞ.....	159

KISALTMALAR

EN	: European Norm
FEM	: Finite Element Method
IEC	: International Electrotechnical Commission
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
KB	: Kısmi Boşalma
PDEV	: Partial Discharge Extinction Voltage
PDIV	: Partial Discharge Inception Voltage
SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
TEV	: Transient Earth Voltage
TS	: Türk Standartları
YG	: Yüksek Gerilim



SEMBOLLER

α	: Elektronun iyonlaştırma katsayısı
C_a	: Deney cismi kapasitesi
C_k	: Kuplaj kondansatörü
D	: Elektrik akı yoğunluğu
E	: Elektrik alan
ϵ	: Dielektrik katsayısı
M_i	: Kısmi boşalma ölçüm cihazı
pC	: Pikocoulomb
T_r	: Yüksek gerilim deney trafosu
V	: Potansiyel
W	: Enerji
Z_m	: Ölçüm empedansı
Z_n	: Filtre empedansı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : KB ölçüm cihazı teknik özellikleri.....	11
Çizelge 4.1 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri.....	19
Çizelge 4.2 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri.....	19
Çizelge 4.3 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri.....	19
Çizelge 4.4 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri.....	20
Çizelge 4.5 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri.....	20
Çizelge 4.6 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri.....	20
Çizelge 4.7 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	22
Çizelge 4.8 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	24
Çizelge 4.9 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	24
Çizelge 4.10 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	26
Çizelge 4.11 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	26
Çizelge 4.12 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	28
Çizelge 4.13 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	28
Çizelge 4.14 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	30
Çizelge 4.15 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	30
Çizelge 4.16 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	32
Çizelge 4.17 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	33
Çizelge 4.18 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	34
Çizelge 4.19 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	35

Çizelge 4.20 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.	36
Çizelge 4.21 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.	36
Çizelge 4.22 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.	37
Çizelge 4.23 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.	38
Çizelge 4.24 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.	39
Çizelge 4.25 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.	39
Çizelge 4.26 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.	41
Çizelge 4.27 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.	42
Çizelge 4.28 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.	44
Çizelge 4.29 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta gerilime göre 1. ölçüme ait KB değişimi.	44
Çizelge 4.30 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları. ...	45
Çizelge 4.31 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.	46
Çizelge 4.32 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.	47
Çizelge 4.33 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.	47
Çizelge 4.34 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları. ...	49
Çizelge 4.35 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.	50
Çizelge 4.36 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.	51
Çizelge 4.37 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.	52
Çizelge 4.38 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları. ...	53
Çizelge 4.39 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.	53

Çizelge 4.40 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	54
Çizelge 4.41 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	55
Çizelge 4.42 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları. ...	56
Çizelge 4.43 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	57
Çizelge 4.44 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	59
Çizelge 4.45 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	59
Çizelge 4.46 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları. ...	60
Çizelge 4.47 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	61
Çizelge 4.48 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	62
Çizelge 4.49 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	62
Çizelge 4.50 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları. ...	64
Çizelge 4.51 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	65
Çizelge 4.52 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	66
Çizelge 4.53 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	67
Çizelge 4.54 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları. ...	68
Çizelge 4.55 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	68
Çizelge 4.56 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları. ...	69
Çizelge 4.57 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.....	70

Çizelge 4.58 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları. ...	71
Çizelge 4.59 : Çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.....	72
Çizelge 4.60 : Çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.....	73
Çizelge 4.61 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.....	74
Çizelge 4.62 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.....	75
Çizelge 4.63 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.....	76
Çizelge 4.64 : Farklı yarıçaplı çubuk elektrotlar ile disk veya Rogowski düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB türleri.	77
Çizelge 4.65 : Çubuk elektrot ile disk veya Rogowski düzlem arasında 764 mmHg basınçta ve farklı açıklıklarda KB ölçümleri ve ölçümlerin ortalamaları.	80
Çizelge 4.66 : Çubuk elektrot ile disk veya Rogowski düzlem arasında 764 mmHg basınçta ve farklı açıklıklarda görünen hata ve görünen hatanın karesine ait hesaplama sonuçları.	81
Çizelge 4.67 : Çubuk elektrot ile disk veya Rogowski düzlem arasında 764 mmHg basınçta ve farklı açıklıklarda ortalama hata ve karesel ortalama hataya ait hesaplama sonuçları.	82
Çizelge 4.68 : Çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda yapılan KB ölçümleri ve bu ölçümlerin ortalamaları.....	83
Çizelge 4.69 : Çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda görünen hata ve görünen hatanın karesine ait hesaplama sonuçları.	84
Çizelge 4.70 : Çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda ortalama hata ve karesel ortalama hataya ait hesaplama sonuçları.	85
Çizelge 6.1 : Çubuk elektrot ile disk düzlem farklı açıklıklarda max. elektrik alanları.....	108
Çizelge 6.2 : Çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda max. elektrik alanları.	115
Çizelge 6.3 : FEMM 4.2 programında hesaplanan çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.	117
Çizelge 6.4 : FEMM 4.2 programında hesaplanan çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.	117
Çizelge A.1 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.	126
Çizelge A.2 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.	126
Çizelge A.3 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.	126
Çizelge A.4 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.	126
Çizelge A.5 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.	127

Çizelge A.6 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	127
Çizelge A.7 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	127
Çizelge A.8 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	127
Çizelge A.9 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	128
Çizelge B.1 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	129
Çizelge B.2 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	129
Çizelge B.3 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	129
Çizelge B.4 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	129
Çizelge B.5 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	130
Çizelge B.6 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	130
Çizelge B.7 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	130
Çizelge B.8 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	130
Çizelge C.1 : 551 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	131
Çizelge C.2 : 551 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	131
Çizelge C.3 : 551 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	131
Çizelge C.4 : 551 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	131
Çizelge C.5 : 551 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	132
Çizelge C.6 : 551 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	132
Çizelge C.7 : 551 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	132
Çizelge Ç.1 : 441 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	133

Çizelge Ç.2 : 441 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	133
Çizelge Ç.3 : 441 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	133
Çizelge Ç.4 : 441 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	133
Çizelge Ç.5 : 441 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	134
Çizelge Ç.6 : 441 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	134
Çizelge Ç.7 : 441 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	134
Çizelge D.1 : 331 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	135
Çizelge D.2 : 331 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	135
Çizelge D.3 : 331 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	135
Çizelge D.4 : 331 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	135
Çizelge D.5 : 331 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	136
Çizelge D.6 : 331 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	136
Çizelge D.7 : 331 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	136
Çizelge E.1 : 220 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	137
Çizelge E.2 : 220 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	137
Çizelge E.3 : 220 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	137

Çizelge E.4 : 220 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	137
Çizelge E.5 : 220 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	138
Çizelge E.6 : 220 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	138
Çizelge E.7 : 220 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.....	138





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : KB ölçümü elektriksel eşdeğer devresi.	10
Şekil 3.2 : KB ölçüm cihazı.	11
Şekil 3.3 : KB ölçüm cihazına ait bilgisayar yazılımı.	12
Şekil 3.4 : Kısmi boşalma genliği-zaman eğrisi.	12
Şekil 3.5 : Gerilim-zaman eğrisi.	13
Şekil 3.6 : KB anlık ekran görüntüleri.	13
Şekil 4.1 : Çubuk elektrot ile disk düzlem elektrot görüntüsü.	15
Şekil 4.2 : Çubuk elektrot ile Rogowski düzlem elektrot görüntüsü.	16
Şekil 4.3 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde ait ölçü detayları.	17
Şekil 4.4 : Çubuk elektrot ile disk düzlemde atlama gerilimi ölçümü deney düzeneği.	18
Şekil 4.5 : Yüksek gerilim ayar düzeneği.	18
Şekil 4.6 : Çubuk elektrot ile disk düzlemde KB ölçümü deney düzeneği.	21
Şekil 4.7 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde arasında 1 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	22
Şekil 4.8 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde arasında 1 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	23
Şekil 4.9 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde arasında 1 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri.	23
Şekil 4.10 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	25
Şekil 4.11 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	25
Şekil 4.12 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.	25
Şekil 4.13 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	27
Şekil 4.14 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	27
Şekil 4.15 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.	27
Şekil 4.16 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	29
Şekil 4.17 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	29
Şekil 4.18 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.	29
Şekil 4.19 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	31
Şekil 4.20 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlemde arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	31

Şekil 4.21 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri.	31
Şekil 4.22 : Çubuk elektrot ile Rogowski düzlem KB ölçümü deney düzeneği.	32
Şekil 4.23 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta 1. ölçüme ait, kısmi boşalma-zaman eğrisi.	33
Şekil 4.24 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	34
Şekil 4.25 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri.	34
Şekil 4.26 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	35
Şekil 4.27 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	36
Şekil 4.28 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	37
Şekil 4.29 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	37
Şekil 4.30 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	38
Şekil 4.31 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	39
Şekil 4.32 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	40
Şekil 4.33 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	40
Şekil 4.34 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri.	41
Şekil 4.35 : Alçak basınçta çubuk elektrot ile disk düzlem için KB ölçümü deney düzeneği.	42
Şekil 4.36 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	43
Şekil 4.37 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	43
Şekil 4.38 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri.	44
Şekil 4.39 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	45
Şekil 4.40 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	45
Şekil 4.41 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	46
Şekil 4.42 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	47
Şekil 4.43 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	48
Şekil 4.44 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	48

Şekil 4.45 :	551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.	49
Şekil 4.46 :	441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	50
Şekil 4.47 :	441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	51
Şekil 4.48 :	441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.	51
Şekil 4.49 :	441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	52
Şekil 4.50 :	441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	53
Şekil 4.51 :	441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	54
Şekil 4.52 :	441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	54
Şekil 4.53 :	441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	55
Şekil 4.54 :	441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	56
Şekil 4.55 :	441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.	56
Şekil 4.56 :	331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	58
Şekil 4.57 :	331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	58
Şekil 4.58 :	331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.	58
Şekil 4.59 :	331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	60
Şekil 4.60 :	331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	60
Şekil 4.61 :	331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	61
Şekil 4.62 :	331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	62
Şekil 4.63 :	331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	63
Şekil 4.64 :	331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	63
Şekil 4.65 :	331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.	64
Şekil 4.66 :	220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	65

Şekil 4.67 :	220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.....	66
Şekil 4.68 :	220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.	66
Şekil 4.69 :	220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	67
Şekil 4.70 :	220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	68
Şekil 4.71 :	220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	69
Şekil 4.72 :	220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	69
Şekil 4.73 :	220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.	70
Şekil 4.74 :	220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.	71
Şekil 4.75 :	220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.	71
Şekil 4.76 :	Çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.	72
Şekil 4.77 :	Çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.	73
Şekil 4.78 :	1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.	74
Şekil 4.79 :	1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.	75
Şekil 4.80 :	2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.	76
Şekil 5.1 :	Bir probleme ait çözüm bölgesinin sonlu elemanlar yöntemiyle elemanlara bölünmüş hali.	88
Şekil 5.2 :	Üçgen bir sonlu eleman.	88
Şekil 5.3 :	İki ayrı üçgen sonlu eleman.	91
Şekil 5.4 :	İki sonlu elemanın birleşmiş hali.	91
Şekil 6.1 :	FEMM 4.2 programı çalışma alanı seçimi.	96
Şekil 6.2 :	FEMM 4.2 programı problem tanımı.	97
Şekil 6.3 :	FEMM 4.2 programı ekran görüntüsü.	97
Şekil 6.4 :	FEMM 4.2 programı materyal özelliklerinin tanımlanması.	98
Şekil 6.5 :	FEMM 4.2 programı elektrot sınır değerlerinin tanımı.	98
Şekil 6.6 :	FEMM 4.2 programı toprak sınır değerlerinin tanımı.	99
Şekil 6.7 :	FEMM 4.2 programı problem tanımı.	99
Şekil 6.8 :	FEMM 4.2 programında çubuk elektrot-disk düzlem potansiyel dağılımı.	100
Şekil 6.9 :	FEMM 4.2 programında çubuk elektrot-Rogowski düzlem gerilim dağılımı.	100
Şekil 6.10 :	Aynalama yöntemiyle tamamlanmış FEMM 4.2 programı çubuk elektrot-disk düzlem gerilim dağılımı.	101
Şekil 6.11 :	Aynalama yöntemiyle tamamlanmış FEMM 4.2 programı çubuk elektrot-Rogowski düzlem gerilim dağılımı.	101
Şekil 6.12 :	FEMM 4.2 programı noktasal sonuç analizleri.	102

Şekil 6.13 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	103
Şekil 6.14 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	103
Şekil 6.15 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	104
Şekil 6.16 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	104
Şekil 6.17 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	105
Şekil 6.18 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	105
Şekil 6.19 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	106
Şekil 6.20 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	106
Şekil 6.21 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	107
Şekil 6.22 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	107
Şekil 6.23 : Çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda max. elektrik alanları.	108
Şekil 6.24 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	110
Şekil 6.25 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	110
Şekil 6.26 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	111
Şekil 6.27 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	111
Şekil 6.28 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	112
Şekil 6.29 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	112
Şekil 6.30 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	113
Şekil 6.31 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	113
Şekil 6.32 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	114
Şekil 6.33 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	114
Şekil 6.34 : Çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda max. elektrik alanları.	115
Şekil F.1 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	139
Şekil F.2 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	139
Şekil F.3 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	140

Şekil F.4 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	140
Şekil F.5 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.....	141
Şekil F.6 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	141
Şekil F.7 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.....	142
Şekil F.8 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	142
Şekil F.9 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.....	143
Şekil F.10 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	143
Şekil F.11 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.....	144
Şekil F.12 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	144
Şekil F.13 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.....	145
Şekil F.14 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	145
Şekil F.15 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.....	146
Şekil F.16 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	146
Şekil F.17 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.....	147
Şekil F.18 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	147
Şekil F.19 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.....	148
Şekil F.20 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	148
Şekil G.1 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	149
Şekil G.2 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	149
Şekil G.3 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	150
Şekil G.4 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	150
Şekil G.5 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	151
Şekil G.6 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	151
Şekil G.7 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.	152
Şekil G.8 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	152

Şekil G.9 :	1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.....	153
Şekil G.10 :	1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	153
Şekil G.11 :	2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.....	154
Şekil G.12 :	2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	154
Şekil G.13 :	2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.....	155
Şekil G.14 :	2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	155
Şekil G.15 :	2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.....	156
Şekil G.16 :	2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	156
Şekil G.17 :	2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.....	157
Şekil G.18 :	2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	157
Şekil G.19 :	2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.....	158
Şekil G.20 :	2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.	158



ELEKTRİKSEL KİSMİ BOŞALMAYI ETKİLEYEN ETKENLERİN İNCELENMESİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE MODELENMESİ

ÖZET

Elektrik üretimi ve iletiminde yüksek gerilim kullanılmasıyla birlikte elektriksel kısmi boşalma ve kısmi boşalmanın yüksek gerilim güç bileşenlerinin yalıtım sistemlerine zararlı etkileri de ortaya çıkmaya başlamıştır. Yalıtım sistemlerinde meydana gelen hasarlar, yüksek gerilim güç sistemlerinin zarar görmesine ve dolayısıyla, hem maddi hem zaman kayıplarına sebep olmuştur. Böylelikle, kısmi boşalma ölçümlerinin ve kısmi boşalma algılama yöntemlerinin önemi artmıştır.

Kısmi boşalma, iletkenler arasındaki yalıtkan malzemenin kısmi bozulması sonunda oluşan kısmi köprüler aracılığıyla meydana gelen elektriksel boşalmalardır. Kısmi boşalma, yüksek gerilim sistemlerinin güvenliğini tehdit eden önemli bir olaydır. Bu yüzden, kısmi boşalma olayının incelenme sebebi, kısmi boşalmayı etkileyen etkenleri analiz ederek modellemesini yapmaktır.

Bu tez çalışmasında, elektriksel kısmi boşalma olayı, kısmi boşalmayı etkileyen etkenler ve kısmi boşalma ölçümü incelenmiştir. Kısmi boşalmayı etkileyen etkenlerin belirlenmesi için deneyler yapılmış, bu deneyler için çubuk elektrot ve düzlem elektrot sistemi kullanılmıştır. Ayrıca, sonlu elemanlar yöntemi açıklanmış, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellemeler yapılmış, benzetim sonuçları yorumlanmış ve laboratuvar ortamında elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır.

KB karakteristiğinin belirlenmesi için KB başlangıç gerilimi ve KB sönme gerilimi belirlenmelidir. KB başlangıç gerilimi, bir deney cismine uygulanan gerilim yavaş yavaş yükseltildiğinde, kısmi boşalmaların başladığı veya belirli bir yeğinliği geçtiği en küçük gerilimdir. KB sönme gerilimi ise bir deney cismine uygulanan gerilim en az kısmi boşalma başlangıç geriliminden başlayarak yavaş yavaş azaltıldığında, kısmi boşalmaların sönüğü veya belirli bir yeğnlikten daha az olduğu gerilimdir.

İTÜ Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen deneylerle üç farklı elektrotun iki farklı düzlem ile beş farklı açıklıktaki kısmi boşalma karakteristiği incelenmiştir. Deneyler esnasında, varyak yardımıyla gerilim yükseltilmiş ve kısmi boşalma tespit edildikten sonra da belirli bir düzeye kadar yükseltilmeye devam etmiştir. Sonrasında, gerilim yavaş yavaş azaltılarak deney sonlandırılmıştır. Ayrıca, tüm deney süreci kısmi boşalma ölçüm cihazı ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır.

Deneylerde öncelikle atlama gerilimleri belirlenmiştir. Atlama gerilimi, iletkenler arasındaki yalıtkan malzemenin dayanma gerilimini aşarak yalıtkanın delinmesine ve dolayısıyla da iletkenler arasında kısa devre olmasına sebep olan gerilimdir. Genel olarak bütün sonuçlar incelendiğinde, atlama gerilimlerinin açıklık arttıkça yükseldiği ve elektrot yarıçapı büyüdükçe de yükseldiği görülmektedir.

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneylerde elde edilen veriler karşılaştırılmış ve elektrot yarıçapının, düzlem özelliğinin ve elektrot ile düzlem arası açıklığın kısmi boşalma karakteristiğini nasıl etkilediği belirlenmiştir. Söz konusu çalışmada, elektrot yarıçapının artması kısmi boşalma başlangıç geriliminin yükselmesine neden olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde elektrot ile düzlem arası açıklığın artması da kısmi boşalma başlangıç geriliminin yükselmesine neden olmaktadır. Deneyler sırasında kullanılan disk ve Rogowski olmak üzere iki farklı düzlemin kısmi boşalma karakteristiğini nasıl etkilediği de bu çalışmada belirlenmiştir.

Laboratuvar ortamında, elektrot ile disk düzlem deneyleri alçak basınçta da gerçekleştirilerek alçak basıncın kısmi boşalma etkisi incelenmiştir. Bu deneyler, dört farklı alçak basınç altında yapılmıştır. Sonucunda, alçak basınçta kısmi boşalma başlangıç gerilimlerinin normal duruma göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, basınç düştükçe kısmi boşalma başlangıç gerilimi de daha düşük olmaktadır.

Deneylerin tamamlanmasından sonra kısmi boşalma karakteristiği sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi, mühendislik problemlerinin çözümünde sağladığı kolaylık sebebiyle pek çok mühendislik dalında tercih edilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemindeki temel mantık, çözüm bölgesini çok sayıda, basit, küçük, birbirine bağlı, sonlu eleman adı verilen alt bölgelere ayırmaktır. Bu modelleme için bilgisayar yazılımından faydalanılmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemini baz alarak oluşturulan FEMM 4.2 programı kullanılarak aynı deney düzeneğindeki gibi elektrot-düzlem düzeni çizilmiş, malzeme ve ortam özellikleri, sınır değerleri gibi bilgiler girilerek matematiksel model sonuçları elde edilmiştir. Bilgisayar ortamında yapılan matematiksel modelleme sonucunda elektrotların ve düzlemlerin geometrisi, sonlu elemanlar ağı, ortamdaki potansiyel dağılımı, eşpotansiyel çizgiler, elektriksel alan dağılımı, elektrot ile düzlem arasındaki yüzey üzerinde potansiyel değişim, elektrot ile düzlem arasındaki yüzey üzerinde teğetsel elektrik alan bileşeni ve elektriksel alanın büyüklüğü gibi parametreler tespit edilmiştir.

Modelleme ile elde edilen sonuçlar, elektrot ile düzlem arasındaki açıklığın en az olduğu durumda en büyük elektrik alanının oluştuğunu ve dolayısıyla, elektrot ve düzlemin birbirine yaklaşmasının, atlama ve delinme riskinin artmasına sebep olduğunu göstermektedir. Elde edilen modelleme sonuçlarına göre, aynı açıklıkta elektrot yarıçapının küçülmesi de elektrik alanının artmasına dolayısıyla atlama ve delinme riskinin yükselmesine sebep olmaktadır.

Sonuçlar kısmi boşalma açısından değerlendirildiğinde, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen KB ölçüm sonuçlarının, FEMM programında elde edilen sonuçlarla paralel olduğu görülmektedir. Örneğin, KB başlangıç geriliminin, açıklık arttıkça veya aynı açıklıkta elektrot yarıçapı büyüdükçe yükseldiği görülmüştür. Dolayısıyla, aynı gerilim altında ve diğer fiziksel ve ortam koşullarını aynı olması durumunda, açıklığın azalması veya aynı açıklıkta elektrot yarıçapının küçülmesi, kısmi boşalma riskini de arttırmaktadır.

FEMM 4.2 programı yardımıyla yapılan modelleme sonunda elde edilen sonuçlar, laboratuvar ortamında elde edilen sonuçlar ile genel olarak örtüşmektedir. Bunun önemli sebeplerinden birisi, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak çözüm yapan FEMM programı, incelenecek sistemin geometrisinin oluşturulmasına, malzeme özelliklerinin ve sınır koşullarının girilmesine, ağ yapısının oluşturulmasına imkan

veren ve sonucunda son derece gerçekçi sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayan bir program olmasdır.

Sistem davranışını anlama açısından son derece faydalı olacak olan bu çalışma, yalıtım sistemlerinin üretilmesi veya yüksek gerilim sistemlerinin kurulmasında tasarım açısından yardımcı olabilir. Ayrıca bu çalışma, daha farklı durumlar veya koşullar yaratarak geliştirilebilir. İhmal edilen veya öngörölemeyen pürüzler dahil edilerek daha etkin sonuçlara ulaşılabilir. Farklı elektrot sistemlerinin kullanılması, farklı gaz basınçları altında deneylerin yapılması, farklı dielektrik malzemeler kullanılması gibi durumlar için çalışma geliştirilebilir ve kısmi boşalma karakteristiği hakkında daha fazla bilgi toplanabilir.





INVESTIGATION OF FACTORS THAT AFFECT ELECTRICAL PARTIAL DISCHARGE AND MODELLING WITH FINITE ELEMENT METHOD

SUMMARY

Partial discharge and harmful effects of partial discharge to the insulation system of high voltage power components begin to appear with the use of high voltage for generation and transmission of electricity. Degradation in the insulation system damages to the high voltage power system and it causes both a loss of time as well as material loss. Thus, the importance of partial discharge detection and measurement methods increased.

Partial discharge is the electrical discharge occurring through partial bridges as a result of partial degradation of the dielectric material between the conductors. Partial discharge is an important event that threatens the safety of high voltage systems. That's why modelling by analyzing the factors that affect the partial discharge.

In this thesis, electrical partial discharge, the factors that affect the partial discharge and how to do partial discharge measurement were studied. For the detection of the factors that affect the partial discharge have been conducted some experiments. Rod electrode and plane electrode were used in the experiments. Furthermore, finite element method (FEM) was stated, the modellings were done by using this method, the simulation results were interpreted and these results were compared with the results obtained in laboratory.

For the detection of partial discharge characterization is needed to specify the partial discharge inception voltage and partial discharge extinction voltage. Partial discharge inception voltage is the smallest voltage starting partial discharge in case applied voltage increases slowly. The partial discharge extinction voltage is the voltage out of the partial discharge when applied voltage decreases slowly, starting from at least partial discharge inception voltage.

In experiments performed in ITU High Voltage Laboratory, partial discharge characterization were investigated with three different electrodes and two different planes in five different gap spacings. During the experiments, the voltage is increased by the manuel variac and it continues to increase till a specific level after the partial discharge is also detected. After that the experiment is finished while the voltage is reduced slowly and besides, all experiment process was measured by the partial discharge measurement device and recorded.

In experiments, firstly sparkover voltages were stated. Sparkover voltage is the voltage caused to perforation of the insulator and short circuit between conductors, when passing over the withstand voltage of the insulating material between conductors. After all reviews, it was seen that sparkover voltage increases, if the gap spacing or the radius of the electrode increase.

We compare the data obtained in the experiments performed in laboratory and then radius of electrode, feature of plane and the gap spacing between electrode and plane is determined how it affects partial discharge characterization. In this study, it is detected to cause to the increasing of partial discharge inception voltage, if electrode radius increases. Similarly, increasing of the gap spacing between electrode and plane causes also to rise of the partial discharge inception voltage. In experiments, disc and Rogowski planes were used. In this study is stated also how the planes affect to the partial discharge characterization.

The impact of partial discharge in low pressure was also investigated in laboratory by performing of the experiments with electrode and disc plane in low pressure. The experiments were done under four different low pressure. As a result, it was established that partial discharge inception voltage in low pressure was lower than normal situation. Furthermore, partial discharge inception voltage also decreased, when the pressure was reduced.

After the experiments were completed, partial discharge characterization was modelled by using of finite element method (FEM). FEM is a method used for numerical solution of complex problems in different fields of engineering. From other side, the method aims to separate to the sub regions of solution zones called finite element in many numbers, basic, small and connected each other. For the modelling have been utilized by computer software.

Electrode and plane layout was drawn like in the same experimental setup by using of FEMM 4.2 program. The results of the mathematical model have been obtained with the informations like material specifications and boundary values. As a result of mathematical modelling in computer was established some parameters like the geometry of the electrode and plane, mesh of the finite elements, the potential distribution, equipotential lines, the electric field distribution, potential changes on the surface between the electrodes and planes, tangential electric field component on the surface between the electrodes and planes and the magnitude of the electrical field.

The results obtained from the modelling showed that the largest electric field is formed by at least gap spacing between the electrodes and planes. Therefore, the results established by modelling show that risk of the sparkover and perforation increases when the electrode and the plane come to each other. According to the modelling results, electrode radius in the same gap spacing decreases and then electrical field increases. Thereby, risk of the sparkover and perforation increases.

When results were evaluated in terms of partial discharge, it was seen that the results of partial discharge measurement in laboratory are parallel with the results established by using of the FEMM program. For example, partial discharge inception voltage increased when the gap spacing or radius of the electrode in the same gap spacing increased. Therefore, if the gap spacing or radius of the electrode in the same gap spacing reduced, the risk of the partial discharge increased under the same voltage and in same physical conditions.

Generally, the results established by modelling with the help of FEMM 4.2 program covered with the results in laboratory. One of the important reason is that FEMM program using finite element method allows to obtain the solution as a result of the creation of the problem structure and entering material properties and boundary conditions. Using this program, quite realistic results can be obtained.

This work which is extremely helpful in understanding the behavior of the system, can help in the design of the insulation systems or in the construction of high voltage systems. In addition, this study can be developed by creating different situations or conditions. More effective results can be achieved by including neglected or unpredictable rough edges. For example, using different electrode systems, performing experiments under different gas pressures, using different dielectric materials can be improved and more information about the partial discharge characteristic can be collected.





1. GİRİŞ

Elektriğin iletilmesi ve dağıtılmasında yüksek gerilimin kullanılması genel bir ilkedir. Bununla birlikte, yüksek gerilim altında yalıtım ile ilgili problemler oluşmaktadır. Dolayısıyla bir yüksek gerilim sisteminde, güvenliğin sağlanmasında temel noktalardan birisi, yalıtım sistemlerinin kalitesidir. Katı, sıvı, gaz veya kombinasyonları şeklinde olabilen yalıtım sistemlerinin performans değerlendirmesi ve hata tanısı son derece önemlidir. Çünkü yalıtım sistemlerinde oluşacak ufak bir hata, tüm yalıtım sisteminin çökmesine ve dolayısıyla bütün yüksek gerilim bileşenlerinin zarar görmesine sebep olabilir. İletim hatları, güç kabloları, generatörler, transformatörler bazı yüksek gerilim bileşenlerine örnektir. Yüksek gerilim yalıtım sistemlerinin hata tanı ve performans değerlendirme ölçütlerinden en önemlisi, kısmi boşalma (KB) ölçümleridir.

Kısmi boşalma, yüksek gerilim altında iletkenler arasında bir bağlantı olmaksızın meydana gelen elektriksel boşalma olayıdır. Daha doğrusu yalıtkan malzemelerdeki bozulmalar, yalıtkan malzemeyi iletkenler arasında kısmi bir köprüye dönüştürerek elektriksel boşalma olmasına KB olayı adı verilir. KB, normalde boşluk, çatlak gibi kusurlu noktalarda oluşur. Bu durum enerji kayıplarına sebep olur ve yalıtım sistemi zamanla tümüyle bozulmaya başlar, sonunda da yüksek gerilim bileşenleri zarar görebilir. Yüksek gerilim bileşenlerinin zarar görmesi, bu bileşenlerin eğer olabilirse onarımı veya değiştirilmesi sonucunda ciddi zaman ve maddi kayıplar anlamına gelir (Tanaka, 1986).

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada, kısmi boşalma olayı ve bu olayı etkileyen etkenler incelenmiştir. Yüksek gerilim laboratuvarında, farklı yarıçaplı elektrotlar ile farklı özellikteki düzlemler arasında farklı açıklıklarda ve ayrıca alçak basınçta, kısmi boşalma olayına ilişkin yapılan deneylerin sonuçlarına yer verilerek matematiksel modellemesi yapılmıştır. Çalışmanın amacı, kısmi boşalmayı etkileyen etkenlerin laboratuvar ve bilgisayar ortamında incelenmesidir.

Çalışma, yedi bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde, kısmi boşalma olayı tanımlanmış, kısmi boşalmanın türleri ve algılama yöntemleri anlatılmıştır. Ayrıca, dielektrik dayanımı etkileyen etkenler detaylandırılmıştır.

Üçüncü bölümde, kısmi boşalmanın ölçülmesi anlatılmıştır. Yapılan deneylerde kısmi boşalma ölçümünün nasıl yapılacağına yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde, kısmi boşalmayı etkileyen etkenler incelenmiştir. Farklı yarıçaplı elektrotlar, farklı özellikteki düzlem elektrotlar ile farklı açıklıklarda ve alçak basınçta yapılan deneylerin sonuçları değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde, sonlu elemanlar yöntemi anlatılmıştır. Kısaca tarihçesinden bahsedilmiş, ilkesi anlatılmış ve elektrostatik problemlere nasıl uygulandığına yer verilmiştir.

Altıncı bölümde, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modelleme nasıl yapılacağı anlatıldıktan sonra, deneylerde yapılan sistemler, bilgisayar yazılımı üzerinden modellenerek elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

Son bölümde, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek çalışma sonlandırılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Elektrik üretimi ve iletiminde yüksek gerilim kullanılmasıyla birlikte, kısmi boşalma ve kısmi boşalmanın yüksek gerilim güç bileşenlerinin yalıtım sistemlerine zararlı etkileri de ortaya çıkmaya başlamıştır. Yalıtım sistemlerinde meydana gelen hasarlar, yüksek gerilim güç sistemlerinin zarar görmesine ve dolayısıyla hem maddi hem zaman kayıplarına sebep olmasıyla birlikte, KB ölçümlerinin ve KB algılama yöntemlerinin önemi artmıştır (Bartnikas, 2002; Knutson ve diğ, 1991; Lakdawala ve diğ, 2008; Lindell ve diğ, 2008; Pedersen ve diğ, 1991; Shaozhen ve Birlasekan, 2006). Ayrıca, Van Brunt'un 1994 yılında yaptığı kısmi boşalmanın özellikle de korona olayının oluşmasının fiziksel ve kimyasal altyapısını inceleyen çalışma, KB nedenlerinin anlaşılması açısından önemlidir (Van Brunt, 1994).

KB karakteristiği üzerine çalışmaların ortaya çıkmasıyla, KB'nin yüksek gerilim elektrik sistemlerindeki önemi de daha anlaşılır olmaya başlamıştır. Bu konuda yapılan çalışmalardan önemli bir tanesi, Nikolay Kolev, Peter Darjanova, Elissareta Gadjev, Denitza Darjanova'nın 1997 yılında birlikte yaptıkları KB varlığına ilişkin

önemli parametreleri (yarıçap, boy, boşluğun hacmi vb.) ortaya koyan çalışmadır. Bu çalışmada, KB karakteristiğinin karmaşık bir süreç olduğu aynı zamanda lineer dinamik bir yapıya sahip olmadığından bahsedilmektedir (Kolev ve diğ, 1997). Aynı yazarlar bir yıl sonra yaptıkları çalışmanın mikro modelini PSPICE programıyla simule ettikleri bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Kolev ve diğ, 1998). PD ölçümü ile ilgili bir başka fiziksel çalışma 2004 yılında C. Y. Ren, Y. H. Cheng, P. Yan, Y. H. Sun, T. Shao tarafından SIMULINK yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Ren ve diğ, 2004).

İncelen birçok çalışmada genel kanı, KB ölçümlerinin sürekli takibinin yapılmasıdır. “On-line measurement” terimi kullanılan bu ölçüm için S. Karmakar, 2009 yılında ortaya koyduğu çalışmada, “on-line monitoring” yani sürekli izleme sağlayan bir model oluşturmuş ve PDGold yazılımıyla bunun analizini gerçekleştirmiştir. Karmakar, aynı zamanda bu çalışmasında, LabVIEW yazılımını kullanarak, bu sürekli izlemeyi farklı yerlerden uzaktan erişim sağlayan ICT adını verdiği teknolojiyi ortaya çıkarmıştır (Karmakar ve diğ, 2009).

Kısmi boşalma karakteristiğinin belirlenmesi için farklı şartlar yaratmak, farklı veriler toplamak önemlidir. Bu çalışmada, alçak basıncın KB karakteristiğine etkisi de inceleneceği için bu konuda yapılan çalışmalar da araştırılmıştır (Kamarol ve diğ, 2007; Sun ve diğ, 2012).

Dielektrik malzemenin içindeki boşluklarda meydana gelen kısmi boşalmaların modellenmesiyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Illias ve diğ, 2009). Farklı koşullarda KB karakteristiğini ortaya koyması açısından önemli olan bu modellerden en popüler olanları, “üç kapasite modeli” olarak bilinen, Pedersen modeli, Niemeyer modeli, Forssen modelidir (Gutleisch ve Niemeyer, 1995). Bu modellerin hepsi sonlu elemanlar analizini kullanırlar.

Sonlu elemanlar yönteminin günümüzde, modellemelerde etkin bir biçimde kullanılmasından dolayı bu yöntemi anlamak için kitap, ders notu gibi kaynaklar araştırılmış ve bu yöntemle yapılan modellemeler incelenmiştir (Chari, 1993; Hutton, 2004; Kalenderli, 2015; Niemeyer, 1995).



2. KISMİ BOŞALMA

Uluslararası Elektroteknik Kurumu (IEC)'nin 60270 standardına göre, kısmi boşalma, iletkenler arasında olan ve iletkene bitişik veya ayrıık yalıtkanın kısmi olarak bozulması sonucunda kısmi köprüler aracılığıyla oluşan elektriksel boşalmalardır ve yalıtkan malzemenin yüzeyinde veya içinde biriken elektrik stresinin sonucunda oluşurlar. Bu boşalmalar, bir saniyeden kısa süren gerilim ve akım darbelerinin farklı türleri olarak ortaya çıkarlar (Kuffel ve diğ, 2005).

Kısmi boşalmanın en temel sebebi, yalıtkan malzemelerin yalıtım derecesinin düşmesidir. Söz konusu boşalmalar, kısmi olsa bile tekrar ettiğı müddetçe yalıtkan malzemelerde kimyasal ve mekanik değışimlere veya bozulmalara sebep olurlar. Mekanik hasarlar veya dielektrik içindeki kimyasal değışiklikler, yalıtkan malzemelerin yalıtım özelliklerini kaybederek, iletkenliklerinin artışına sebep olurlar. Bu durum, yalıtkanın organik veya inorganik olmasına göre değışebilir. İnorganik yalıtkanların, kimyasal ve mekanik değışikliklere karşı bağışıklıkları daha fazladır. Cam, porselen, mika, inorganik yalıtkanlara örnektir. Cam ve porselen, yüksek sıcaklıklarda kimyasal ve mekanik özelliklerini korumaktadırlar.

IEEE'de yayımlanmış olan araştırmalara göre; yüksek gerilim güç sistemlerinde meydana gelen hasarların büyük bir oranı, elektriksel kısmi boşalma kaynaklıdır. Elektriksel kısmi boşalmalar, yaşlanma kaynaklı bozulmalar, ısıl veya aşırı elektriksel stresler, uygun olmayan kurulumlar, hatalı işçilik veya uygun olmayan tasarımlar sebebiyle oluşabilir ve faz-faz ya da faz-toprak kısa devrelerinin meydana gelmesine sebep olabilirler (Karaman, 2015).

Elektrik sistemlerinde kullanılan yalıtkan malzemelerin çoğı saf ve pürüzsüz halde değıildir. Bu durum, yalıtkan malzemelerin içerisinde hava kabarcıklarının oluşmasına sebep olur. Böylelikle yalıtkan malzemelerde meydana gelen zayıflama, KB oluşumunun nedenlerindendir. KB, çoğunlukla bir katı dielektriğın içindeki boşluklarda başlar. Zaten boşluklar, KB oluşumu için temel nedendir. Elektrotlar arasındaki mesafelerdeki kısmi köprülerle oluşan boşalmalar, önemli bir örnektir.

KB, ayrıca farklı yalıtım malzemelerinin yüzeyinde oluşur. Bir yalıtkan malzemenin içindeki KB, genellikle dielektriğin içindeki gaz dolu boşluklarda başlar.

2.1 Kısmi Boşalmanın Türleri

Zararlı etkileri ve meydana gelme oranları dikkate alındığında dört temel kısmi boşalma oluşmaktadır: Korona, yüzeysel boşalma, elektriksel ağaçlanma, boşluk kısmi boşalması.

2.1.1 Korona olayı

Korona olayı, genellikle iletkenlerin sivri uçlarında veya havai hatlarda meydana gelen, iletkeni saran gazın iyonizasyonu tarafından oluşturulan elektriksel boşalmalardır. Korona, gürültü sinyalleri üretmesi veya yalıtkan malzemelerin yalıtkanlıklarını azaltması sebebiyle yüksek gerilimli sistemlerde hasarlara sebep olabilir. Korona, bir iletkenin çevresindeki elektrik alanın şiddeti, iletken bir bölge oluşturmak için yeterince yüksek olduğunda meydana gelir. Genellikle havada yüksek gerilim taşıyan metal iletkenlere doğru yönelmiş mavimsi bir renkte parıltı olarak görülürler. Korona boşalmasının en önemli özelliği, kendi kendini besleyen boşalmalardır. Negatif ve pozitif olmak üzere iki tür korona oluşmaktadır.

2.1.2 Yüzeysel boşalma

Katı malzemenin üzerinde oluşan elektriksel zorlanmaya bağlı olarak dielektrik malzemenin yüzeyinde oluşan boşalmalardır. Kablo başlıklarında veya elektrotlar arasındaki yalıtkan malzemenin herhangi bir noktasında görülebilir. Genellikle, dielektrik malzemenin geçirgenliğine, iletkenler arasındaki gerilim dağılımına göre bu tür boşalmalar oluşabilir.

2.1.3 Elektriksel ağaçlanma

Yüksek gerilim altında oluşan yüksek yoğunluklu elektrik alanlar sebebiyle yalıtkan malzemedeki oluşan bozulmaların zamanla ilerleyerek yalıtkanın delinmesi olayına elektriksel ağaçlanma denir. Meydana gelen bozulmalar görünüm olarak ağaca benzemesi sebebiyle bu şekilde adlandırılmıştır.

2.1.4 Boşluk kısmi boşalması

Boşluk kısmi boşalması, genellikle katı ve sıvı yalıtkan malzemelerde oluşan boşluklara gaz veya hava dolması sonucunda elektriksel zorlanmadan kaynaklanan boşalma olaylarıdır.

2.2 Kısmi Boşalma Algılama Yöntemleri

Kısmi boşalma algılama yöntemleri, elektriksel ve elektriksel olmayan yöntemler olmak üzere çok sayıda mevcuttur. En çok bilinen altı yöntem vardır: Elektriksel, elektromanyetik, optik, akustik, kimyasal ve termal.

2.2.1 Elektriksel algılama yöntemi

Yüksek gerilim güç ekipmanlarında KB ölçümü için en çok tercih edilen yöntemlerden biri elektriksel algılamadır. Bu yöntemde, boşlukta oluşan elektrik darbelerinin tespiti ve bilgisayar tabanlı yazılımlar ile analiz edilmesi esasına göre algılama yapılır.

2.2.2 Elektromanyetik algılama yöntemi

Kısmi boşalma olayı sırasında, oluşan elektromanyetik (radyo) dalgalar, metal muhafaza içinde akım endüklenmesine ve sonunda Transient Earth Voltages (TEVs) (Değişken toprak gerilimleri) meydana gelmesine sebep olur. Kısmi boşalma darbelerinin yüksek frekanslı olması sebebiyle, topraklanan metalin empedansı, bu küçük gerilimleri oluşturur. Algılama, dedektör kullanarak metalin yüzeyine kapasitif bir probun temasıyla olur (Şimşek, 2014).

2.2.3 Optik algılama yöntemi

Kısmi boşalma olayı sırasında, elektronların iyonizasyonu sonucunda fotonlar harekete geçer. Işık spektrumunun görülebilir aralıktan kızıl ötesine kadar geniş olabildiği bu yöntemde, söz konusu ışığın bir kısmı da karanlık ortamda görülebilse de %90'ı mor ötesi bölgede oluşur. Tespitin mümkün olması için, kısmi boşalma olan ekipman görüş mesafesinde olmalıdır (Şimşek, 2014).

2.2.4 Akustik algılama yöntemi

Kısmi boşalmanın başlaması ile oluşan ses tespitine dayanan bir algılama yöntemidir. Duyulabilen veya ultrasonik aralıklarda, ses tespitine dayanan bu yöntemde, insan kulağının duyamayacağı frekanslardaki sesler, hassas bir mikrofon yardımıyla duyulabilir frekansta bir sese dönüştürülerek bir kulaklık ile duyulur.

2.2.5 Kimyasal algılama yöntemi

Kimyasal algılama yönteminde, yalıtkan malzemenin bileşiminde meydana gelen kimyasal değişiklikler takip edilir.

2.2.6 Termal algılama yöntemi

Kısmi boşalma olayı sırasında, boşalmanın olduğu kısımda yüksek akım yoğunluğu sebebiyle sıcak noktalar oluşur. Termal görüntüleme yöntemiyle tespiti mümkündür.

2.3 Yalıtkan Malzemenin Dielektrik Dayanımını Etkileyen Etkenler

Yük gerilim güç ekipmanlarının yalıtım sistemlerinin temel özellikleri olarak, yalıtım direnci ile dielektrik dayanımı yüksek ve kimyasal maddelerden olabildiğince etkilenmemesi istenir. Sıcaklık, kirlilik, yalıtkanın elektrotla arasındaki mesafe gibi birçok etken, yalıtkanın dielektrik dayanımını etkiler.

Yalıtkan malzemeler belirli çalışma sıcaklıklarına göre üretilirler. Sıcaklık arttıkça yalıtkanlardaki bozulma derecesi artar ve yalıtkanın ömrü kısalır. Sıcaklık gibi nem de dielektrik dayanımı azaltan etkilerdendir. Elektrotların boyutu ve şekli, yalıtkan malzemelerin dielektrik dayanımını etkileyen bir diğer etkidir. Elektrotun hacminin artması daha yüksek elektrik zorlanmasına sebep olabilir. Ayrıca daha büyük hacimde daha fazla kirlilik olabilir. Metal parçacıkları, karbon, asit, selülozik elyaf gibi maddeler elektrotlarda kirlilik olarak görülen maddelerdir. Bu maddeler atlama geriliminin düşmesine sebep olurlar.

3. KISMİ BOŞALMA ÖLÇÜMÜ

Kısmi boşalma, elektriksel yalıtım problemlerinin başlangıcının önemli bir belirtisidir. Bu nedenle kısmi boşalmanın ölçülmesi son derece önem taşır. Kısmi boşalmanın ölçülmesinde, boşalma esnasında ortaya çıkan etkilerden yararlanılır. Bu etkiler, akım darbeleri gibi elektriksel etkiler veya ses, ışık, kimyasal bozulmalar gibi elektriksel olmayan etkiler olarak sınıflandırılabilir. Deneysel çalışmalarda ise kısmi boşalma ölçümü, çeşitli elektrot sistemleri kullanılarak KB karakteristiğini belirlemek ve sistem davranışını öğrenmek için yapılır.

3.1 Kısmi Boşalmanın Oluştığı Yerler

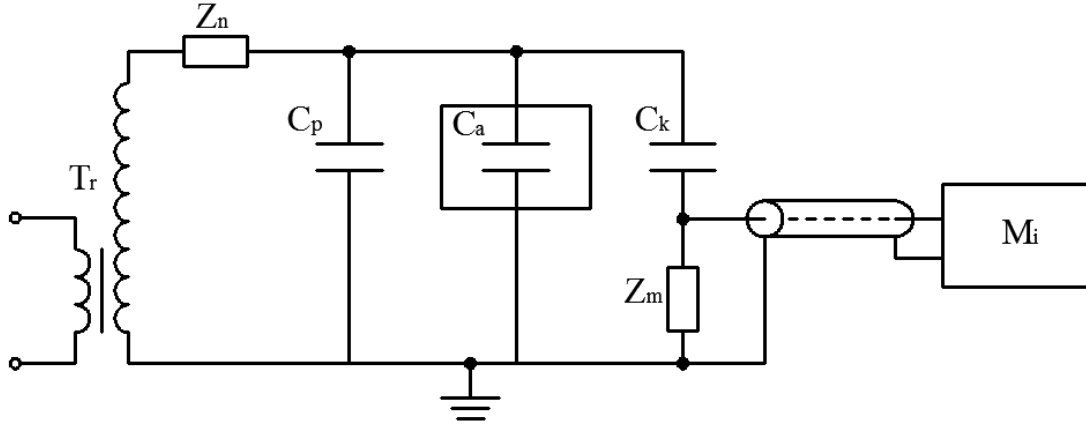
Kısmi boşalma, eğrilik yarıçapı küçük elektrotların keskin kenar, köşe veya sivri uçlarında, enerji hatlarının çevresinde, elektrotların katı yalıtkan tarafından örtülü olduğu yalıtkan yüzeyinde ve katı yalıtkan içindeki boşluk veya aralıklardaki oluşabilir.

3.2 Kısmi Boşalmanın Tespiti

Kısmi boşalmanın tespiti için KB dedektörü ve KB kalibratörü kullanılır. Elektrik, elektronik ve benzer endüstrilerde, KB ölçümleri sistem güvenilirliğini belirleyen önemli bir etkidir. Elektriksel hasarları önlemek için KB tespiti gereklidir.

3.3 Kısmi Boşalmanın Ölçülmesi

Şekil 3.1’de KB ölçümü eşdeğer devresi görülen kısmi boşalma ölçme sistemleri, kuplaj düzeni, iletim sistemi (örneğin, bağlantı kablosu veya optik bağlantı) ve ölçü aleti gibi alt sistemlerden oluşur.



Şekil 3.1 : KB ölçümü elektriksel eşdeğer devresi.

Eşdeğer devreye ait parametreler aşağıdadır:

- T_r : Deney trafosu
- C_a : Deney cismi kapasitesi
- Z_m : Ölçüm empedansı
- Z_n : Filtre
- C_k : Kuplaj kondansatörü
- C_p : Kapasitif gerilim bölücü
- M_i : KB ölçüm cihazı

TS 2051 EN 60270 numaralı standartta yapılan tanımlamaya göre kuplaj düzeni, belirli bir deney devresi ile en uygun hassasiyeti elde etmek için tasarlanmış belirli bileşenleri ile ölçme sistemi ve deney devresinin birleşik bir bölümüdür. Böylece, farklı kuplaj düzenleri tek bir ölçü aleti ile birleşik olarak kullanılabilir. Kuplaj düzeni genelde bir aktif veya pasif 4 uçlu devredir (2 giriş, 2 çıkış) ve giriş akımlarını, çıkış gerilim işaretlerine dönüştürür. Bu işaretler, bir iletim sistemiyle ölçü aletine gönderilirler.

3.4 Kısmi Boşalma Ölçüm Deneylerinin Yapılması ve Analizi

KB ölçüm deneylerinde, KB karakteristiğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çeşitli sistemlerde, KB'nin sürekli belirgin bir davranış sergileyip sergilemediği yorumlanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada, deney yapılacak sistem için çubuk elektrot ile disk düzlem elektrot ve çubuk elektrot ile Rogowski düzlem elektrot seçilmiştir. Deneyler esnasında, farklı yarıçaplı elektrotlar, farklı açıklıklarda kullanılarak fazla sayıda veri elde edilmiştir.

KB karakteristiğinin belirlenmesi için KB başlangıç gerilimi (PDIV) ve KB sönme gerilimi (PDEV) belirlenmelidir. KB başlangıç gerilimi, bir deney cisminde uygulanan gerilim yavaş yavaş yükseltildiğinde, kısmi boşalmaların başladığı veya belirli bir yeğirliğı geçtiğı en küçük gerilimdir. KB sönme gerilimi ise bir deney cisminde uygulanan gerilim en az kısmi boşalma başlangıç geriliminden başlayarak yavaş yavaş azaltıldığında, kısmi boşalmaların söndüğü veya belirli bir yeğirlikten daha az olduğı gerilimdir.

KB ölçümü cihazı Şekil 3.2’de görölmektedir. Bu cihaz, kuplaj kondansatörüne bağılıdır, aynı zamanda RJ45 portu üzerinden data ara kablosuyla bilgisayara bağılıdır. Böylelikle, bilgisayar yazılımı üzerinde ölçülen KB değeri görölmekte ve kayıt altına alınmaktadır.



Şekil 3.2 : KB ölçüm cihazı.

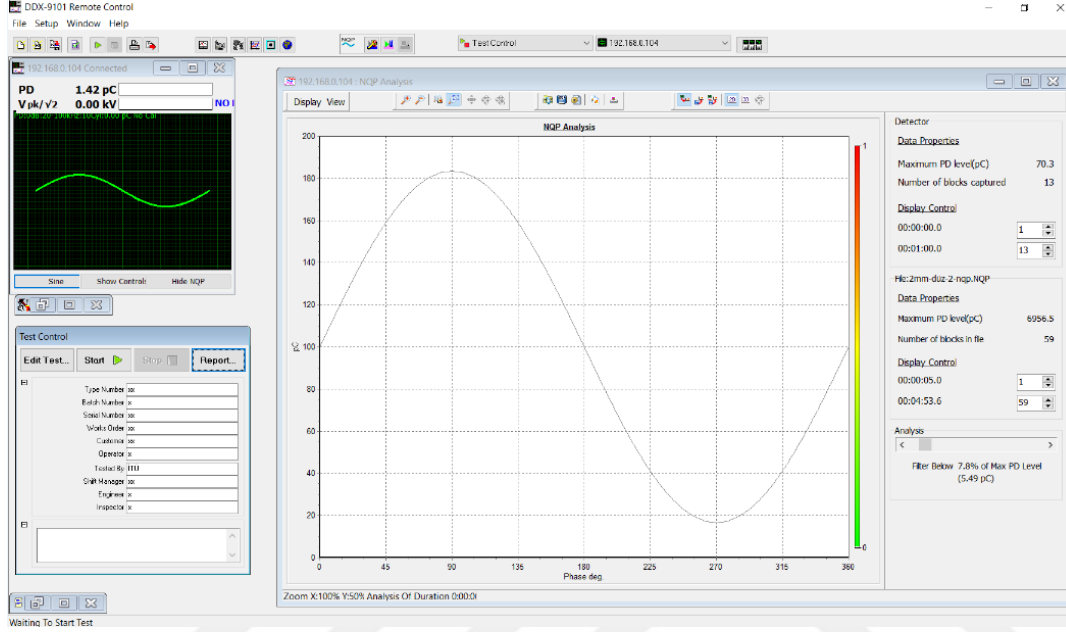
KB ölçüm cihazına ait teknik özellikler, Çizelge 3.1’de yer almaktadır.

Çizelge 3.1 : KB ölçüm cihazı teknik özellikleri.

Tettex Ins. DDX 9101 KB Ölçüm Cihazı Teknik Özellikleri	
KB ölçümü hata oranı	< 1%
KB ölçümü çözünürlüğü	10 bit
Gerilim ölçümü ölçek faktörü belirsizliğı	< 1%
Gerilim ölçümü hata oranı	< 1%
Gerilim ölçümü çözünürlüğü	11 bit
Gerilim ölçüm modu	RMS ($V_{tepe}/\sqrt{2}$)
Senkronizasyon kilidi aralığı	20-400 Hz

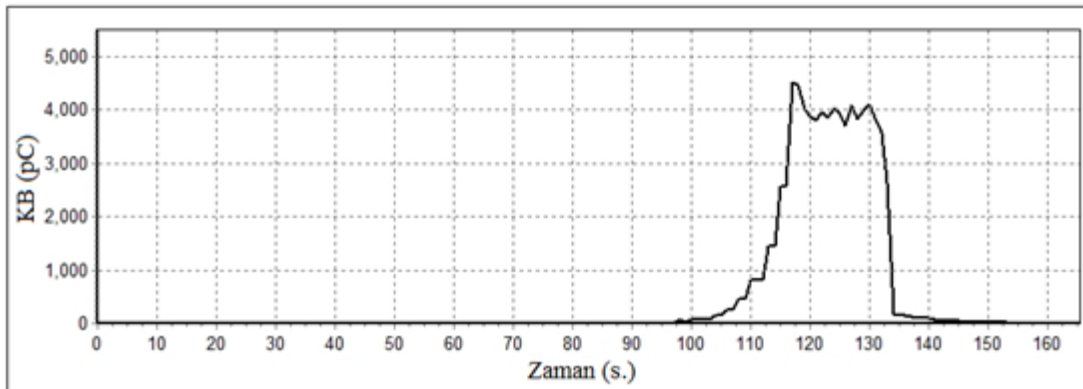
KB başlangıç gerilimini belirlemek için iki yol vardır. İlk yol, Şekil 3.3’de görölen bilgisayar yazılımı (Tettex Ins. DDX-9101 Remote Control) üzerinden kayıt altına

alınan sonuçların analizidir. Şekil 3.4’de KB’nin başladığı zaman ve Şekil 3.5’de de söz konusu zamandaki gerilim değeri görülebilmektedir. Ayrıca, program anlık olarak gerilim ve KB sonuçlarını kaydetmekte ve deney sonunda çizelge olarak oluşturmaktadır. Sadece bu çizelgeye bakarak da KB başlangıç ve sönme gerilimlerini ve zamanlarını belirlemek mümkündür.

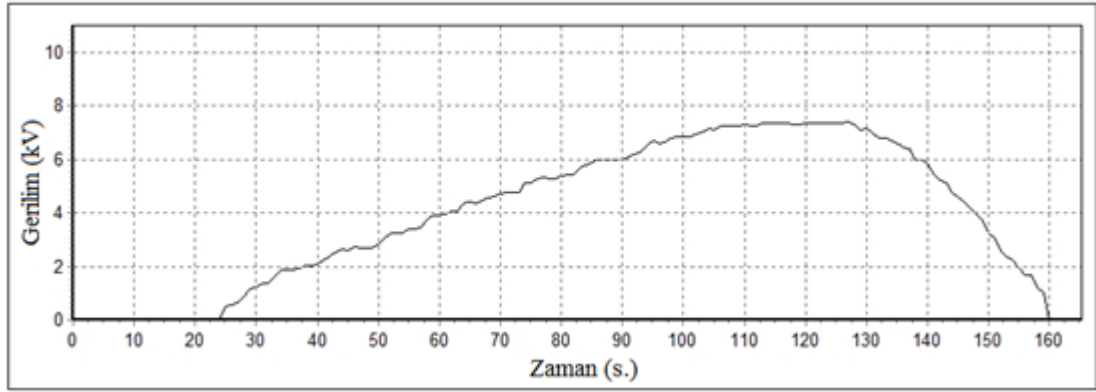


Şekil 3.3 : KB ölçüm cihazına ait bilgisayar yazılımı.

KB başlangıç ve sönme gerilimlerinin belirlenmesinde kriter, KB değerinde meydana gelen ani yükselmeler ve ani düşüşlerdir. Ancak, buradaki kritik nokta, oluşan darbelerin tekrarlanır olmasıdır. Tekrarlanmadan oluşan ani yükselmeleri, KB olarak değil de gürültü olarak kabul etmeliyiz. Şekil 3.5’de, 97. saniyeden 98. saniyeye geçildiğinde meydana gelen ani yükseliş, KB başlangıç gerilimini; 133. saniyeden 134. saniyeye geçişte yaşanan ani düşüş de KB sönme gerilimini göstermektedir.

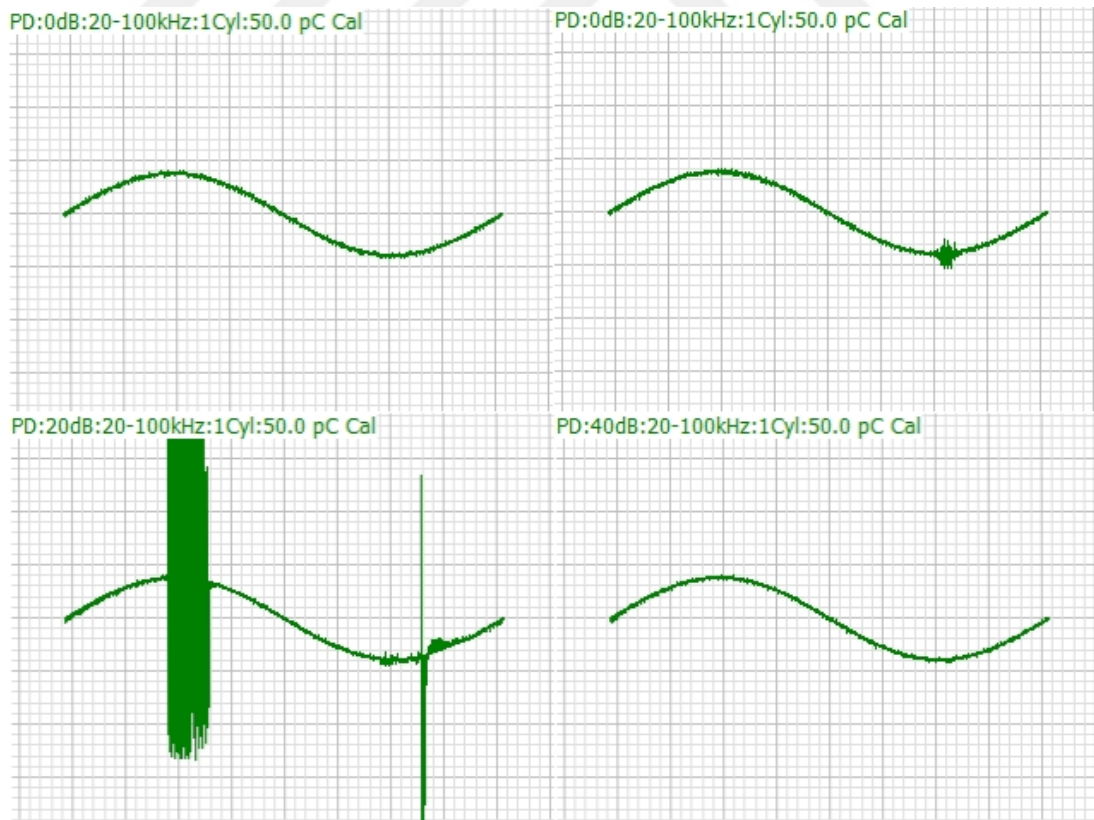


Şekil 3.4 : Kısmi boşalma genliği-zaman eğrisi.



Şekil 3.5 : Gerilim-zaman eğrisi.

KB tespiti için ikinci yol ise KB ölçümünün izlendiği bilgisayar yazılımı üzerinden anlık ekran görüntülerinin gözlemidir. Şekil 3.6'da yer alan anlık ekran görüntülerinde, KB başlamasıyla birlikte dalgalanma oluşmuş, KB başladıktan sonra gerilimi arttırmaya devam ettikçe dalga boyu büyümüştür. Belli bir artıştan sonra (genel ilke, KB başlangıç geriliminin %10-20 fazlasına kadar) gerilim periyodik olarak azaltılmaya başlar. KB sönme gerilimine kadar azaltıldığında anlık ekran görüntülerindeki dalgalanma da kaybolur.



Şekil 3.6 : KB anlık ekran görüntüleri.

Anlık ekran görüntüleri, meydana gelen kısmi boşalmanın türü konusunda da fikir vermektedir. Söz konusu görüntülere bakarak kısmi boşalma hakkında yorumlar yapılabilir. Kısmi boşalmanın olduğu faz açısına bakarak genel olarak dört farklı kısmi boşalmadan bahsedebiliriz. Kısmi boşalma, faz açısı 90° ve civarında oluşmuş ise pozitif korona, 270° ve civarında ise negatif korona olduğu yorumunu yapabiliriz. Eğer kısmi boşalma, çoğunluğu 180° olmak üzere 0° ve 180° civarında oluşmuşsa boşluk kısmi boşalması, çoğunluğu 0° olmak üzere 0° ve 180° civarında oluşmuşsa yüzeysel kısmi boşalma olduğunu söyleyebiliriz (Illias ve diğ., 2012). Bizim kullandığımız çubuk elektrot ve düzlem sisteminde, elektrot ile düzlem arasında hava dışında yalıtkan malzeme olmadığı için uyguladığımız gerilim yükseldikçe elektrotların sivri noktalarındaki havanın iyonize olması sonucu korona kısmi boşalması oluşacaktır. Dolayısıyla deney sonuçlarını bu mantıkla değerlendireceğiz. Meydana gelen koronayı, oluşacak ışık huzmesiyle veya duyulabilir aralıkta oluşacak sesle fark edebileceğiz.

4. KISMİ BOŞALMAYI ETKİLEYEN ETKENLERİN İNCELENMESİ

Kısmi boşalmayı etkileyen etkenleri belirlemek için farklı yarıçaplarda çubuk elektrotların, farklı düzlemlerle, farklı açıklıklarda ve alçak basınçta göstermiş olduğu KB karakteristiği incelenmiştir. Bunun için öncelikle atlama gerilimleri belirlenmiş, sonrasında da KB ölçümleri yapılmıştır.

4.1 Kısmi Boşalma Deneylerinin Hazırlanması

KB ölçümü için 3 adet farklı yarıçaplı (1 mm, 1,5 mm ve 2 mm) elektrot ile iki farklı düzlem (disk ve Rogowski) kullanılmıştır. Deney öncesinde, hem elektrotların hem de düzlemlerin yüzeyi, deney sonuçlarını etkileyebilen kirden, tozdan, parmak izlerinden, gresten veya yağdan, küften ve diğer kirlerden temizlenmiştir.

Şekil 4.1’de ve Şekil 4.2’de elektrotlar ve düzlemler görünmektedir.

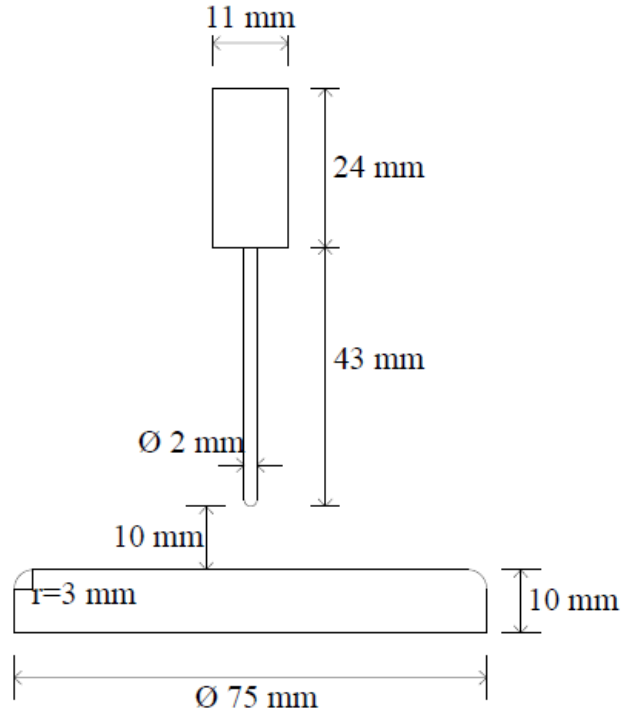


Şekil 4.1 : Çubuk elektrot ile disk düzlem elektrot görüntüsü.



Şekil 4.2 : Çubuk elektrot ile Rogowski düzlem elektrot görüntüsü.

Elektrotlar, 1-1,5-2 mm yarıçaplarında, 3 adet olmak üzere çubuk elektrotlardır. 1 mm yarıçaplı elektrot, 43 mm uzunluğundadır. Ayrıca, 24 mm uzunluğunda ve 11 mm genişliğinde kafa kısmına sahiptir. Düzlemin yarıçapı, 37,5 mm olup, 10 mm yüksekliğindedir. Uç kısmının eğrilik yarıçapı, 3 mm dir. 1 mm yarıçaplı elektrot ve düzleme ait ölçü detayları Şekil 4.3’de görülmektedir. Çubuk elektrotlardan, 1,5 mm yarıçaplı elektrot, 42 mm uzunluğundadır. 2 mm yarıçaplı elektrot ise 39 mm uzunluğundadır.



Şekil 4.3 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzleme ait ölçü detayları.

4.2 Kısmi Boşalma Deneylerinin Yapılışı

KB ölçümü deneylerinde önce atlama gerilimleri belirlenmiştir. Sonrasında, farklı yarıçaptaki elektrotlar ile farklı düzlemlerin arasındaki açıklıkları değiştirerek, elektrot yarıçapının, düzlem özelliklerinin, elektrot ile düzlem arası mesafenin KB ölçümünü nasıl etkilediği belirlenmiştir.

4.2.1 Atlama gerilimlerinin bulunması

Atlama gerilimi, iletkenler arasındaki yalıtkan malzemenin dayanma gerilimini aşarak yalıtkanın delinmesine ve dolayısıyla da iletkenler arasında kısa devre olmasına sebep olan gerilimdir. Atlama geriliminin belirlenmesinin sebebi, KB ölçümü esnasında atlama gerilimine ulaşmadan gerilim artışını sonlandırmaktır. Çünkü söz konusu ölçüm yapılırken oluşacak kısa devre, KB ölçüm cihazının veya tüm ölçüm sisteminin arızalanmasına sebep olabilir.

Şekil 4.4’de deney düzeneğinde görüldüğü üzere, atlama geriliminin belirlenmesi için elektrota gerilim uygulanmıştır ve gerilim, yavaş yavaş arttırılmıştır. Düzlem ise topraklanmıştır.



Şekil 4.4 : Çubuk elektrot ile düzlem atlama gerilimi ölçümü deney düzeneği.

Şekil 4.5’de yüksek gerilim ayar cihazı bulunmaktadır. Söz konusu cihazın varyağı ile gerilim, elle yavaş yavaş arttırılabilir.



Şekil 4.5 : Yüksek gerilim ayar düzeneği.

Çizelge 4.1’de 1 mm yarıçaplı elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri görülmektedir.

Çizelge 4.1 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri.

Ölçüm	Atlama Gerilimi (kV)		
	Elektrot-Düzlem Arası Açıklık (cm)		
	1	2	3
1.	10,4	20,9	27,3
2.	9,8	21,3	28,4
3.	9,1	19,5	26,9
Ort.	9,8	20,6	27,5

Çizelge 4.2’de 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri görülmektedir.

Çizelge 4.2 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri.

Ölçüm	Atlama Gerilimi (kV)		
	Elektrot-Düzlem Arası Açıklık (cm)		
	1	2	3
1.	8,7	15,6	30,5
2.	8,7	14,4	25,3
3.	8,4	14,7	32,8
Ort.	8,6	14,9	29,5

Çizelge 4.3’de 2 mm yarıçaplı elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri görülmektedir.

Çizelge 4.3 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri.

Ölçüm	Atlama Gerilimi (kV)		
	Elektrot-Düzlem Arası Açıklık (cm)		
	1	2	3
1.	8,9	15,1	29,8
2.	9	15,8	23
3.	9,1	15,2	30,5
Ort.	9	15,4	27,8

Çizelge 4.4’te 1 mm yarıçaplı elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri görülmektedir.

Çizelge 4.4 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri.

Ölçüm	Atlama Gerilimi (kV)		
	Elektrot-Düzlem Arası Açıklık (cm)		
	1	2	3
1.	11,8	24,5	32,2
2.	8,4	24	31,2
3.	8	24,4	31,2
Ort.	9,4	24,3	31,5

Çizelge 4.5’de 1,5 mm yarıçaplı elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri görülmektedir.

Çizelge 4.5 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri.

Ölçüm	Atlama Gerilimi (kV)		
	Elektrot-Düzlem Arası Açıklık (cm)		
	1	2	3
1.	7,7	16,5	35,3
2.	7,7	16,2	34,6
3.	7,7	16	35
Ort.	7,7	16,2	35

Çizelge 4.6’da 2 mm yarıçaplı elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri görülmektedir.

Çizelge 4.6 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda atlama gerilimleri.

Ölçüm	Atlama Gerilimi (kV)		
	Elektrot-Düzlem Arası Açıklık (cm)		
	1	2	3
1.	8,9	16,2	24
2.	9,4	16,2	21,8
3.	9,5	16,2	21,8
Ort.	9,3	16,2	22,5

Genel olarak bütün sonuçlar incelendiğinde, atlama gerilimlerinin açıklık arttıkça yükseldiği ve elektrot yarıçapı büyüdükçe de yükseldiği görülmektedir. Normal ve Rogowski düzlem için de söz konusu durum geçerlidir ancak her iki düzlem kıyaslandığında, genel bir ilkedden bahsedemeyiz. Aynı açıklıkta, elektrotun disk düzlemde atlama geriliminin Rogowski düzleme göre yüksek veya alçak olduğu söylenemez. Bazı yarıçaplı elektrotlar için veya bazı açıklıklar için disk düzlem

kullanıldığında, atlama gerilimi daha düşük olurken, bazı yarıçaplı elektrotlar veya bazı açıklıklar içinse Rogowski düzlem kullanıldığında, atlama gerilimi daha düşük olmuştur.

4.2.2 Çubuk elektrot-disk düzlem deneylerinin yapılması

KB'nin hangi gerilimde başladığını ve hangi gerilimde yok olduğunu anlayabilmek için oluşturulan düzenekte, elektrota gerilim uygulanmakta, düzlem ise topraklanmaktadır. 1-1,5-2 mm yarıçaplı elektrotlar, 1-1,5-2-2,5-3 cm açıklıklarda yerleştirilerek KB ölçümü yapılmıştır. Şekil 4.6'da çubuk elektrot ile disk düzlem KB ölçümü deney düzeneği görülmektedir.



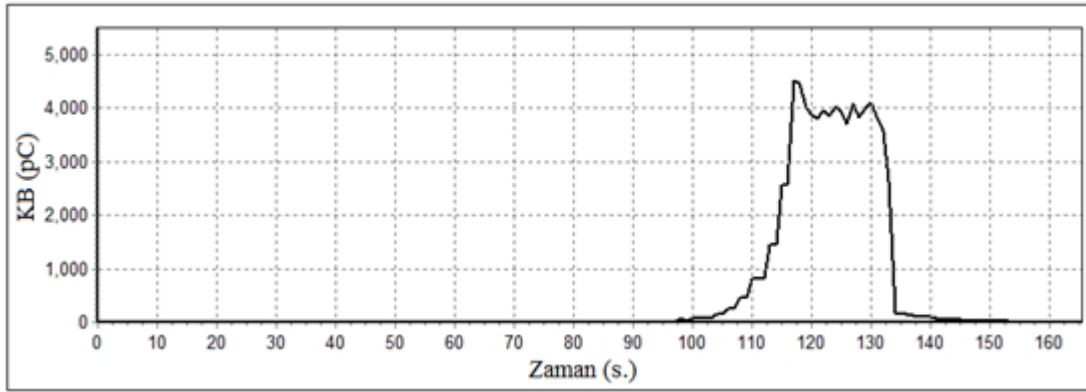
Şekil 4.6 : Çubuk elektrot ile disk düzlem KB ölçümü deney düzeneği.

Çizelge 4.7'de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

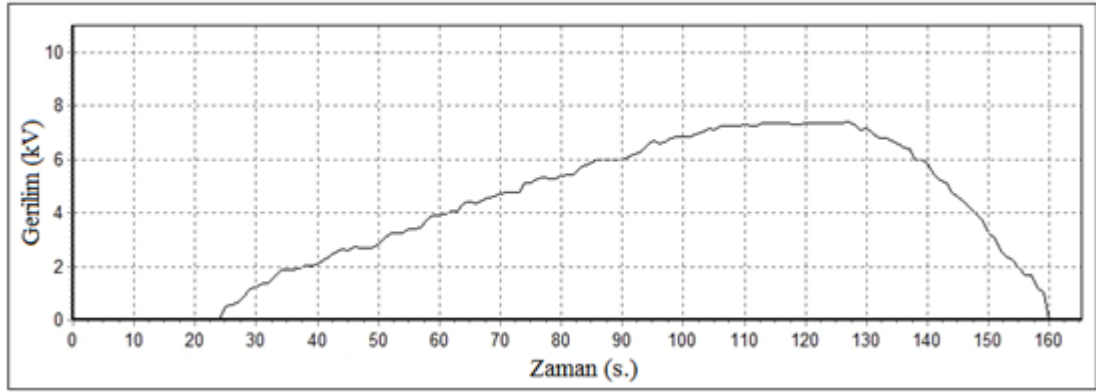
Çizelge 4.7 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,44
30	1,23	1,46
97	6,65	2,15
98	6,82	66,3
106	7,27	256
112	7,27	809
113	7,36	1438
117	7,35	4515
133	6,78	2630
134	6,69	188
159	1	5,5
165	0	2,67

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 98. saniyede ve 6,82 kV gerilimde, 66,3 pC olarak başladığını; 134. saniyede 6,69 kV gerilimde 188 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.

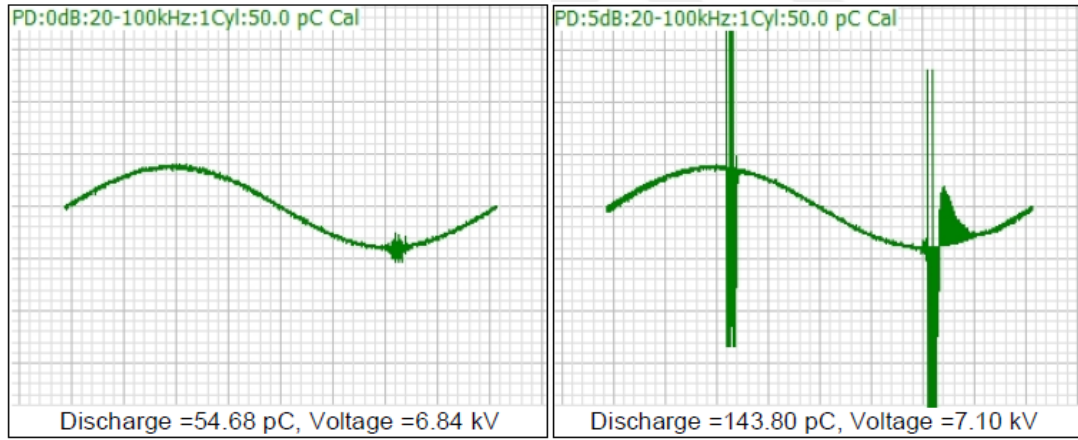


Şekil 4.7 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.8 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.9’da 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri yer almaktadır. Kısmi boşalma, 6,82 kV gerilimde başlamıştır. Bu gerilime en yakın gerilimdeki alınabilen ekran görüntüsü, 6,84 kV olarak görünmektedir. Kısmi boşalmanın negatif tarafta yani negatif korona olarak başladığını, gerilim arttıkça pozitif tarafta da oluştuğunu görmekteyiz. Ayrıca, KB büyüklüğü de gerilim yükseldikçe artmıştır.



Şekil 4.9 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri.

Çizelge 4.8’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.8 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	6,82	66,3
2.	6,42	66,3
3.	5,96	66,0
Ort.	6,40	66,2

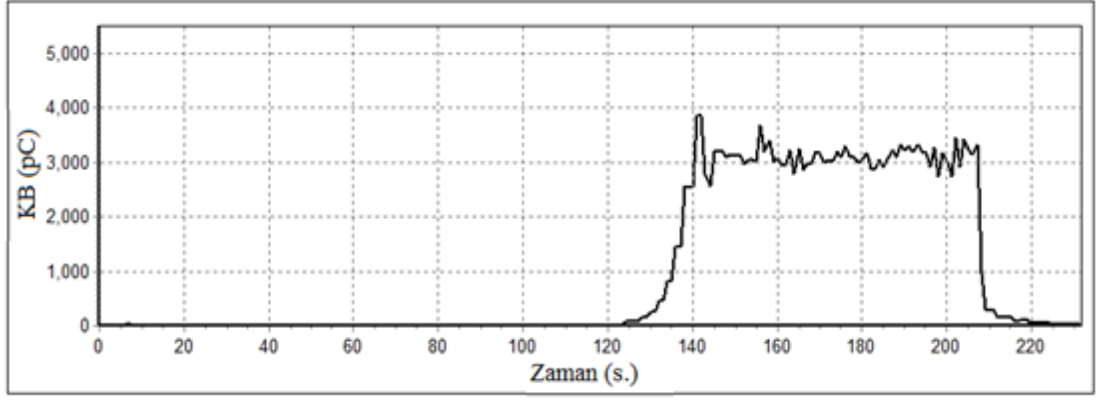
Çizelge 4.9’da 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.9 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

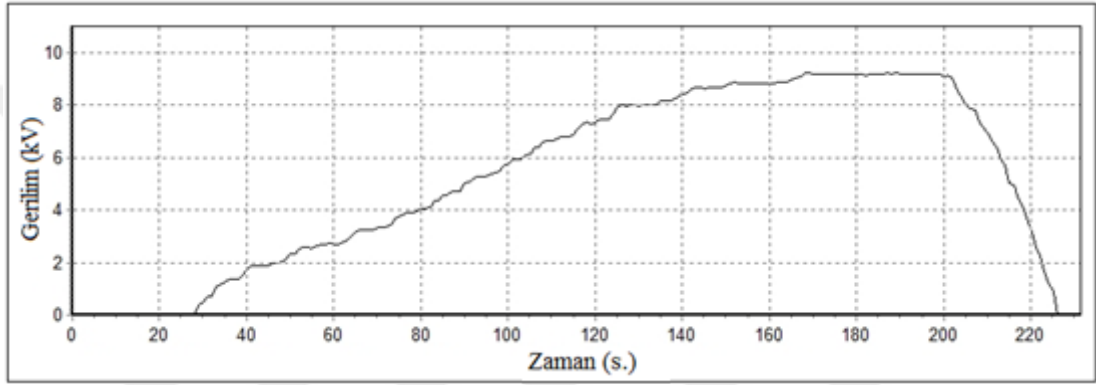
Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,52
34	1,18	1,56
123	7,46	3,99
124	7,67	80
136	8,16	1438
152	8,85	2971
193	9,17	3308
202	9,01	3434
207	7,79	3315
208	7,34	966
225	0,89	31,3
231	0	16,8

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 124. saniyede ve 7,67 kV gerilimde, 80 pC olarak başladığını; 208. saniyede 7,34 kV gerilimde 966 pC olarak sönüğünü söyleyebiliriz.

Elektrot ile düzlem arasındaki açıklığın artmasıyla KB başlangıç geriliminin yükseldiği görülmektedir. KB başlangıç gerilimi, 1 cm açıklıktaki değerden daha yüksektir.

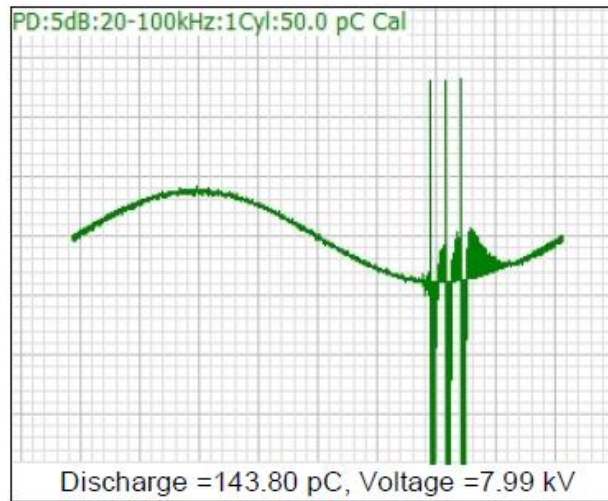


Şekil 4.10 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.11 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.12’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.12 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.

Çizelge 4.10’da 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.10 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

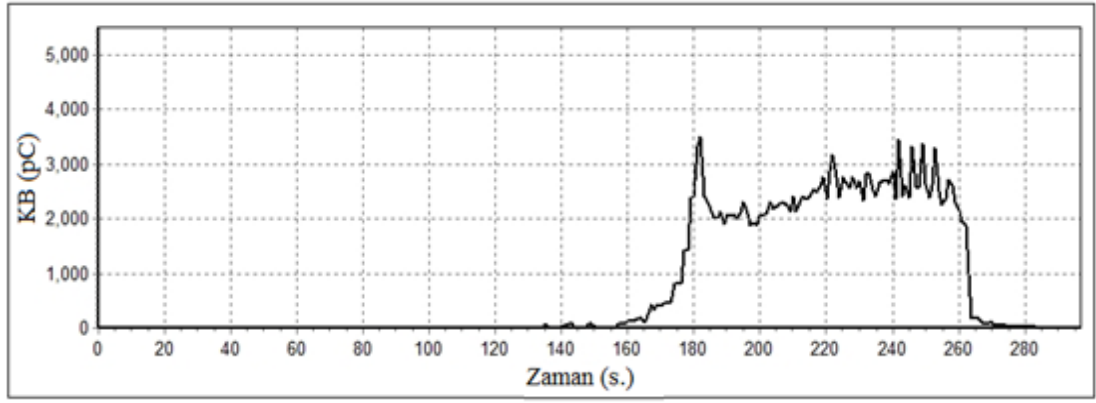
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,67	80
2.	7,05	80
3.	7,12	80
Ort.	7,28	80

Çizelge 4.11’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

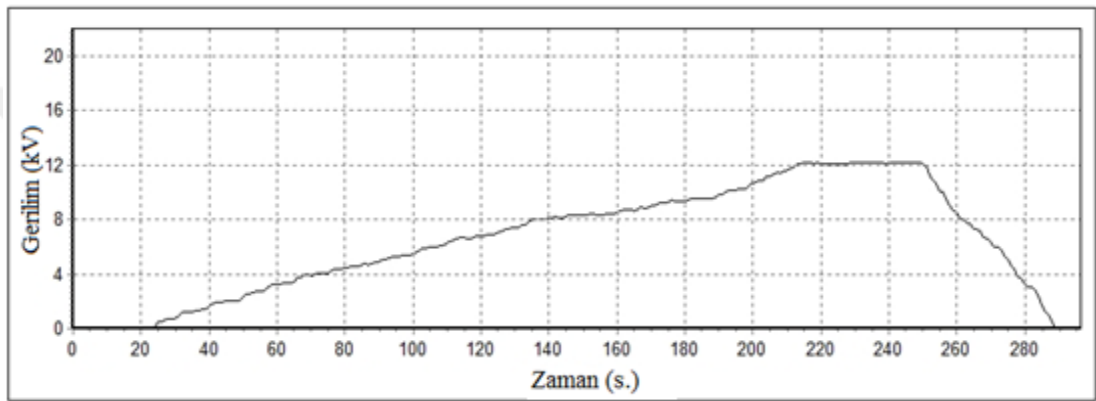
Çizelge 4.11 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,48
34	1,24	1,56
134	7,78	1,5
135	7,99	68
156	8,36	3
157	8,4	80,9
177	9,36	1422
191	9,83	2056
262	8	1874
263	7,74	980
287	1	10,2
296	0	2,11

Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, diğer açıklık koşullarına göre farklı bir durum söz konusudur. KB’nin 135. saniyede ve 7,99 kV gerilimde, 68 pC olarak başladığı ve daha sonraki saniyelerde sönüğü görülmektedir. KB’nin 157. saniyede ve 8,4 kV gerilimde, 80,9 pC olarak tekrar başladığı ve 263. saniyede 7,74 kV gerilimde 980 pC olarak sönüğü görülmektedir. Bu durumda birden fazla KB’den bahsetmek yerine tek bir KB’yi baz almalıyız. Çünkü genel olarak KB başlangıç gerilimi, KB’nin başlayıp devam ettiği gerilimdir. Dolayısıyla burada KB başlangıç gerilimi olarak 8,4 kV, sönme gerilimi olarak ise 7,74 kV baz alınmalıdır.

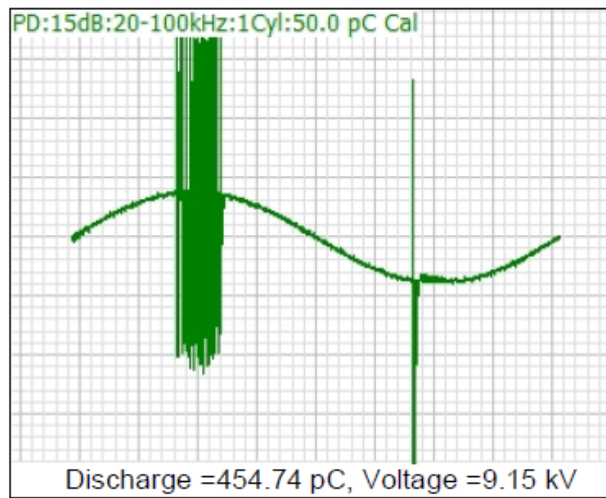


Şekil 4.13 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.14 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.15’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.15 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.

Çizelge 4.12’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.12 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

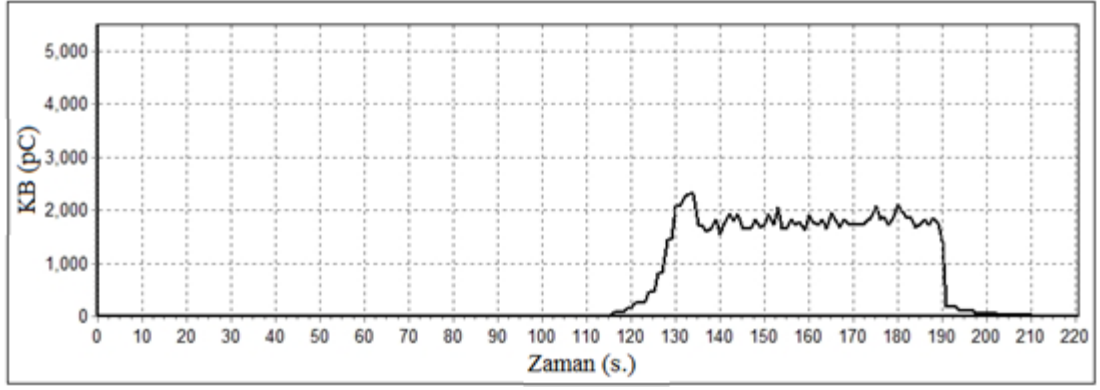
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,99	68
2.	7,74	68
3.	7,45	67,2
Ort.	7,73	67,73

Çizelge 4.13’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

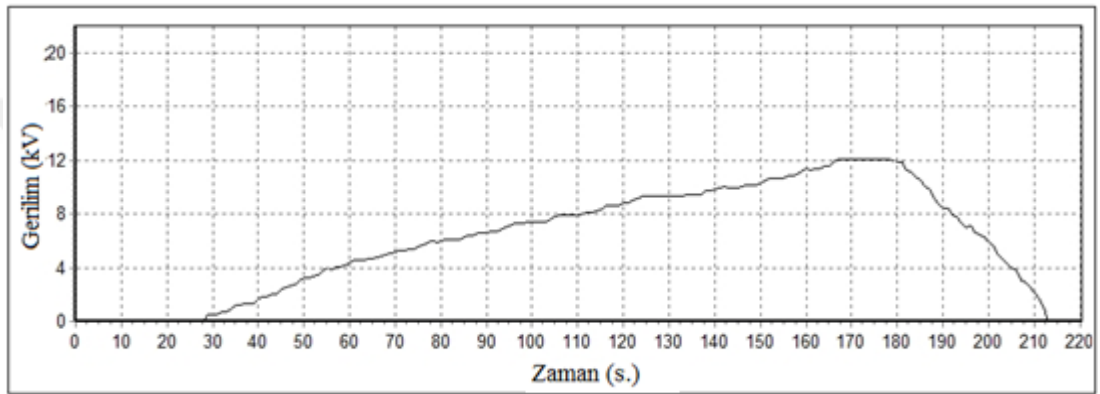
Çizelge 4.13 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	3,18
35	1,19	1,46
115	8,36	1,52
116	8,57	80,9
125	9,29	455
136	9,42	1708
153	10,69	2044
185	10,44	1748
190	8,43	1426
191	8,37	186
212	0,97	9,33
220	0	2,88

Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 116. saniyede ve 8,57 kV gerilimde, 80,9 pC olarak başladığını; 191. saniyede 8,37 kV gerilimde 186 pC olarak sönüğünü söyleyebiliriz.

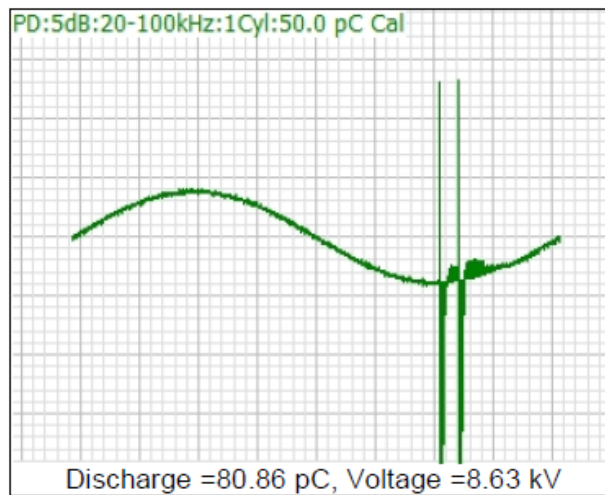


Şekil 4.16 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.17 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.18’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.18 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.

Çizelge 4.14’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.14 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

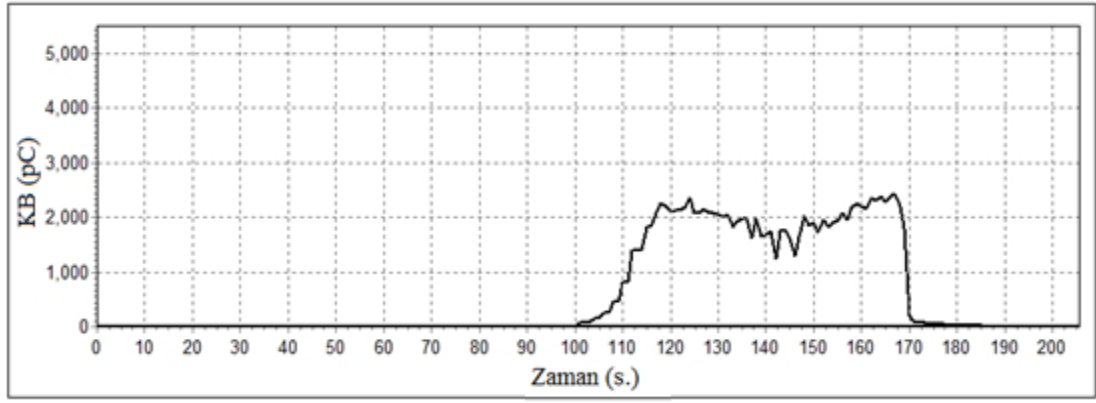
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	8,57	80,9
2.	7,80	80,9
3.	7,88	80,9
Ort.	8,08	80,9

Çizelge 4.15’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

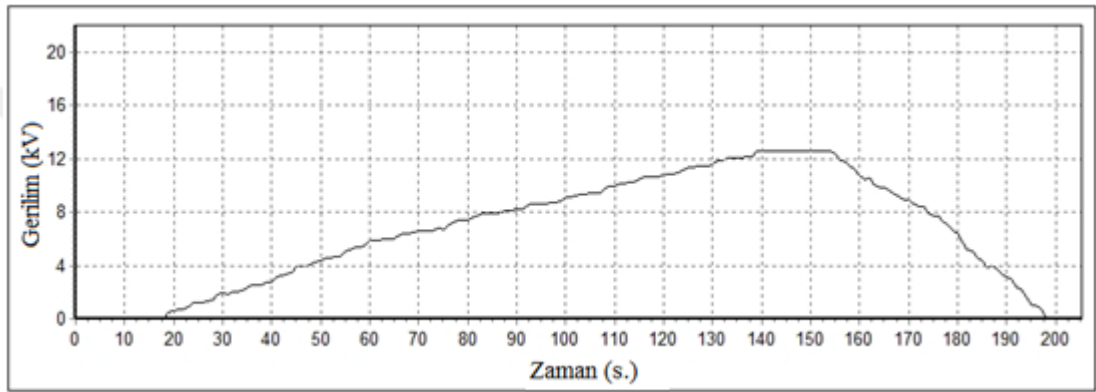
Çizelge 4.15 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,48
24	1,22	1,52
99	8,8	1,36
100	9,08	11,6
104	9,3	144
111	10,15	809
132	11,84	2053
160	10,74	2199
169	8,91	1788
170	8,93	215
196	1,04	2,84
205	0	1,58

Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 100. saniyede ve 9,08 kV gerilimde, 11,6 pC olarak başladığını; 170. saniyede 8,93 kV gerilimde 215 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.

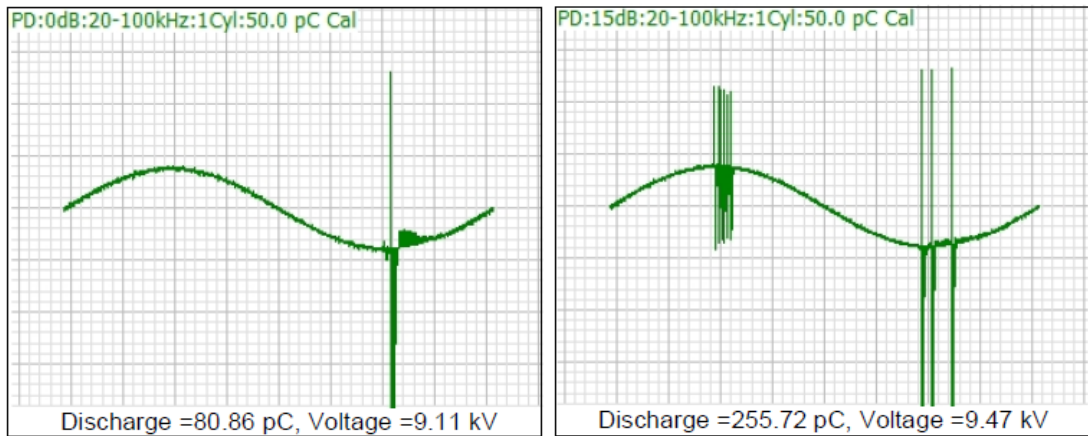


Şekil 4.19 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.20 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.21’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4.21 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri.

Çizelge 4.16’da 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.16 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	9,08	11,6
2.	8,98	11,6
3.	8,94	11,6
Ort.	9,00	11,6

1,5 mm yarıçaplı elektrot ile disk düzlem arasında 1-1,5-2-2,5-3 cm açıklıklarda ve 2 mm yarıçaplı elektrot ile disk düzlem arasında 1,5-2-2,5-3 cm açıklıklarda yapılan deneylere ait KB sonuçları Ek A'da yer almaktadır.

4.2.3 Çubuk elektrot-Rogowski düzlem deneylerinin yapılması

Şekil 4.22'de çubuk elektrot ile Rogowski düzlem KB ölçümü deney düzeneği görülmektedir. Disk düzlemde uygulanan yöntemle deneyler yapılmış ve sonuçlar alınmıştır.



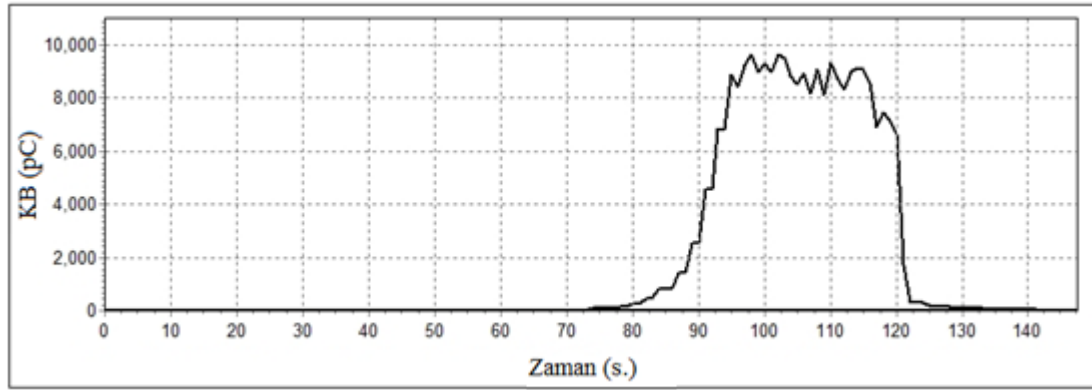
Şekil 4.22 : Çubuk elektrot ile Rogowski düzlem KB ölçümü deney düzeneği.

Çizelge 4.17'de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

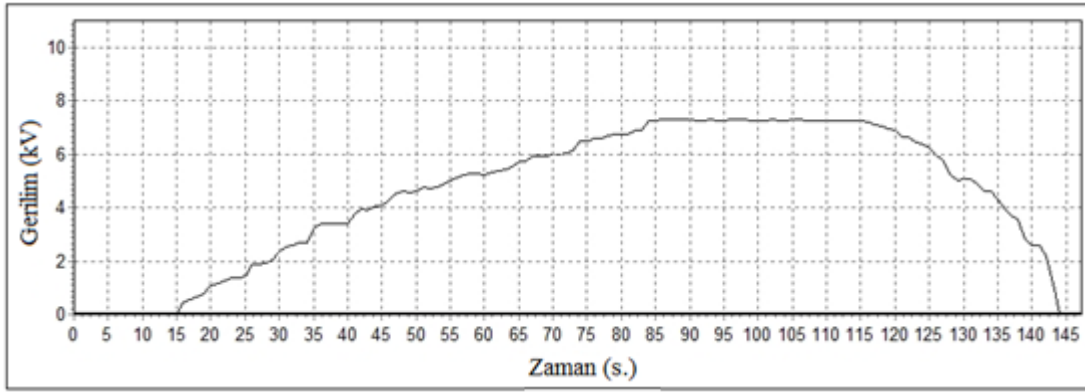
Çizelge 4.17 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,38
20	1,06	1,68
73	6,15	1,66
74	6,47	77,2
81	6,76	256
93	7,3	6821
101	7,26	8986
117	7,09	6872
121	6,63	1728
122	6,62	306
143	1,19	18,4
147	0	9,88

Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 74. saniyede ve 6,47 kV gerilimde, 77,2 pC olarak başladığını; 122. saniyede 6,62 kV gerilimde 306 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.

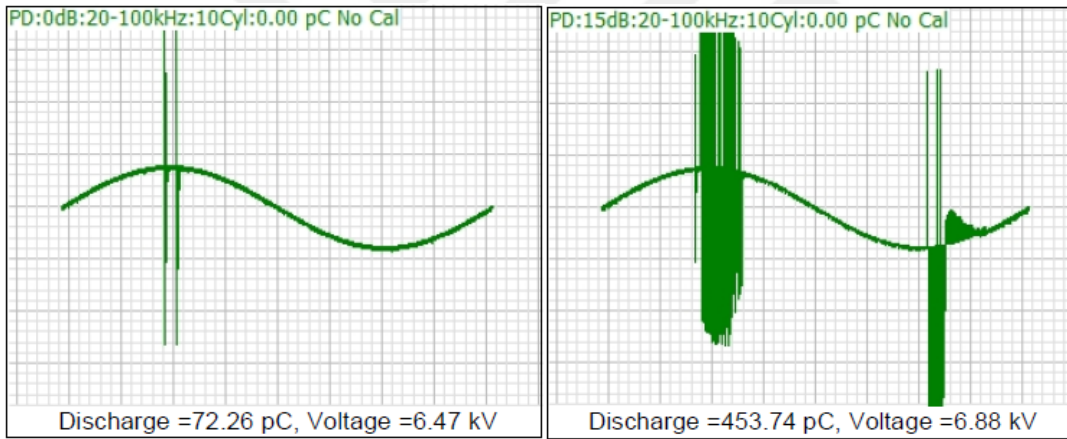


Şekil 4.23 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta 1. ölçüme ait, kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.24 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.25’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri yer almaktadır. Kısmi boşalmanın pozitif tarafta yani pozitif korona olarak başladığını, gerilim arttıkça negatif tarafta da oluştuğunu görmekteyiz. Ayrıca KB büyüklüğü de gerilim yükseldikçe artmıştır.



Şekil 4.25 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri.

Çizelge 4.18’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.18 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

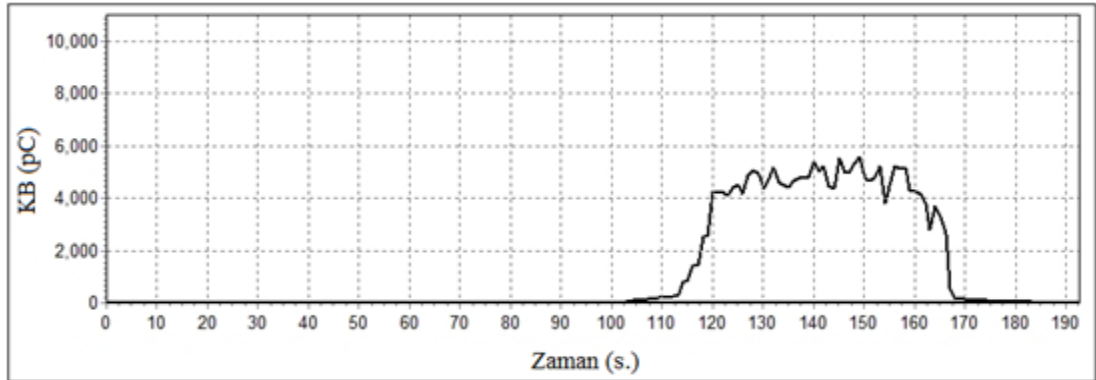
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	6,47	77,2
2.	6,80	77,2
3.	6,72	77,2
Ort.	6,66	77,2

Çizelge 4.19’da 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

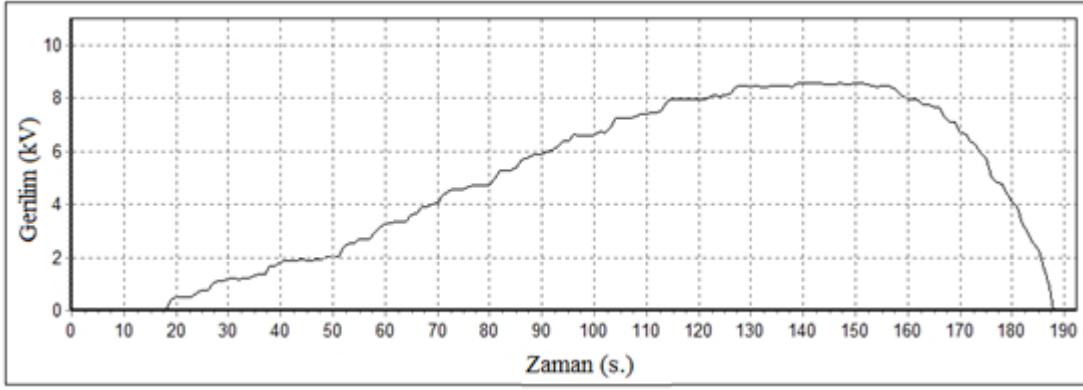
Çizelge 4.19 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,36
27	1,02	1,54
102	6,71	1,4
103	6,88	39
110	7,4	200
119	7,94	2557
130	8,43	4366
154	8,4	3811
166	7,63	2622
167	7,31	577
186	1,55	15,4
192	0	4,75

Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 103. saniyede ve 6,88 kV gerilimde, 39 pC olarak başladığını; 167. saniyede 7,31 kV gerilimde 577 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.



Şekil 4.26 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.27 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Çizelge 4.20’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.20 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

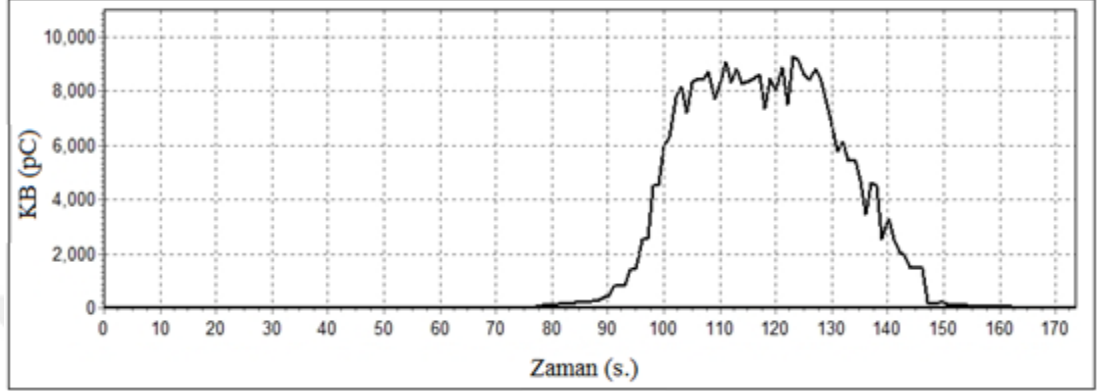
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	6,88	39
2.	7,49	39,8
3.	7,52	39,8
Ort.	7,30	39,53

Çizelge 4.21’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

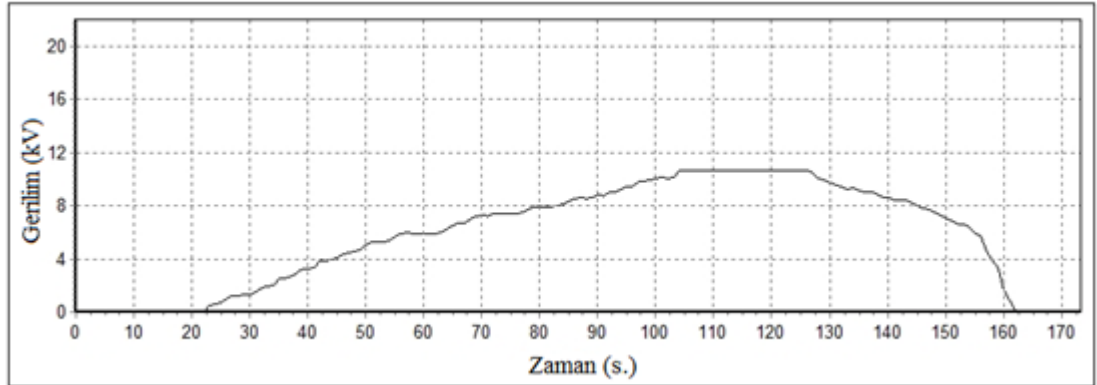
Çizelge 4.21 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,42
28	1,18	1,52
76	7,39	1,56
77	7,47	37,1
85	8,32	256
99	9,97	4531
114	10,65	8242
135	9,09	4699
146	7,85	1468
147	7,7	180
161	0,95	32
173	0	4,25

Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 77. saniyede ve 7,47 kV gerilimde, 37,1 pC olarak başladığını; 147. saniyede 7,7 kV gerilimde 180 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.



Şekil 4.28 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.29 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Çizelge 4.22’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.22 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

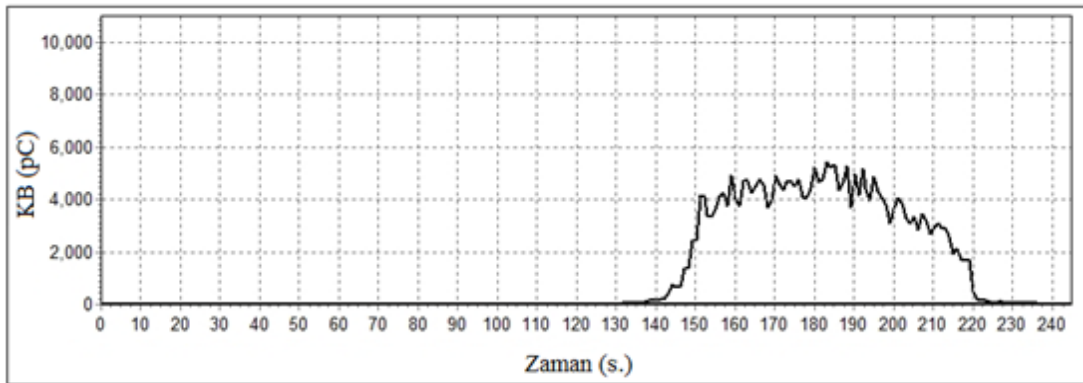
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,47	37,1
2.	7,94	37,5
3.	7,95	37,5
Ort.	7,79	37,37

Çizelge 4.23’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

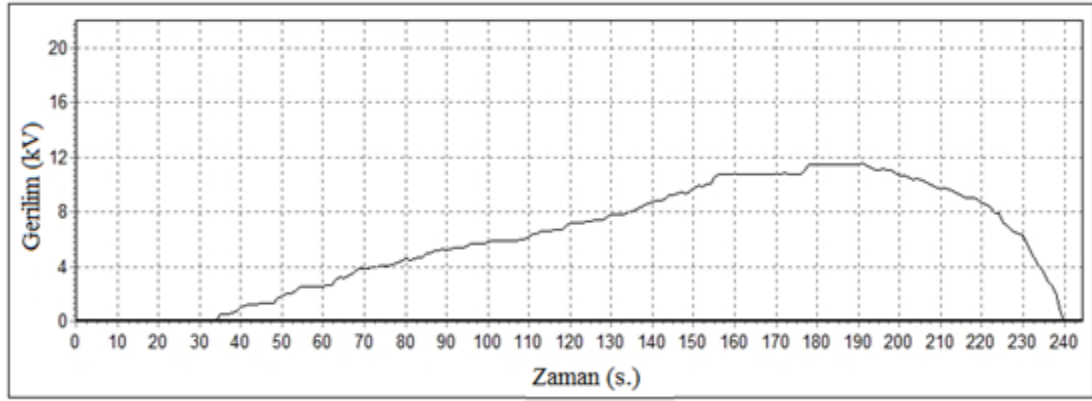
Çizelge 4.23 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,54
43	1,18	1,7
130	7,86	1,46
131	7,85	59,5
143	8,95	412
152	9,87	4108
206	20,21	2844
215	9,2	1912
219	8,83	1726
220	8,59	490
238	1,87	16,2
244	0	8,66

Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 131. saniyede ve 7,85 kV gerilimde, 59,5 pC olarak başladığını; 220. saniyede 8,59 kV gerilimde 490 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.



Şekil 4.30 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.31 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Çizelge 4.24’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.24 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

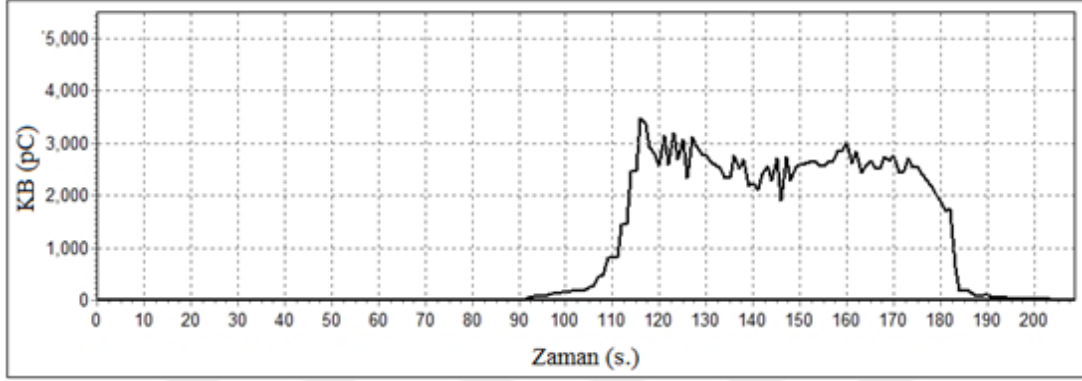
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,85	59,5
2.	8,40	60,8
3.	8,08	60
Ort.	8,11	60,1

Çizelge 4.25’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

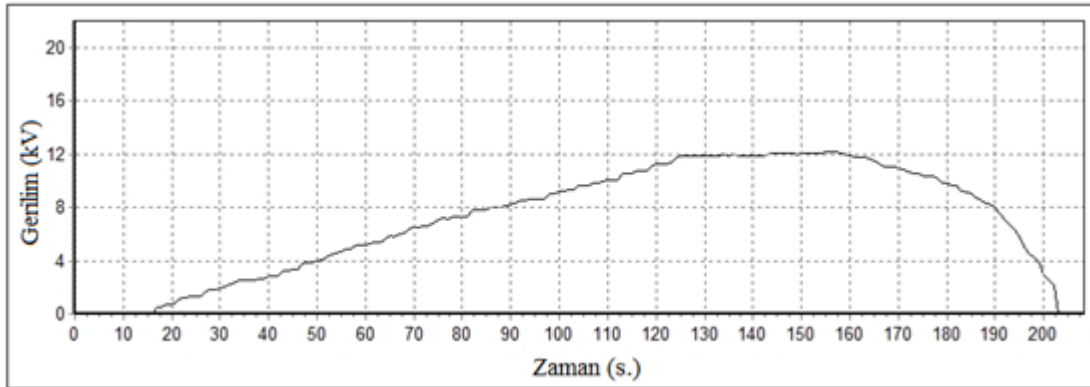
Çizelge 4.25 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,5
31	1,98	1,54
91	8,32	1,4
92	8,56	56,2
100	9,2	160
110	9,99	809
137	11,87	2514
170	10,97	2763
182	9,66	1760
183	9,21	642
202	2,15	15,8
208	0	4,81

Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 92. saniyede ve 8,56 kV gerilimde, 56,2 pC olarak başladığını; 183. saniyede 9,21 kV gerilimde 642 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.

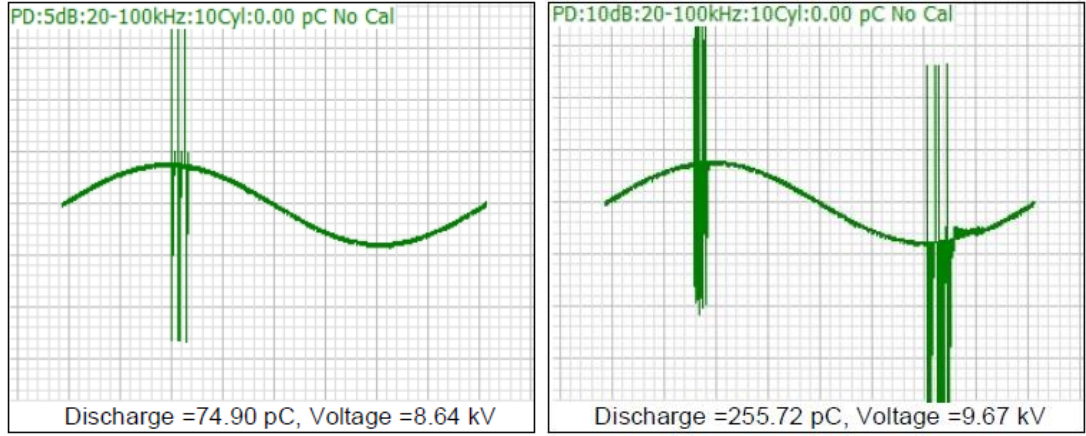


Şekil 4.32 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.33 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.34’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4.34 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri.

Çizelge 4.26’da 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.26 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	8,56	56,2
2.	9,22	58
3.	9,30	58
Ort.	9,03	57,4

1,5 mm ve 2 mm yarıçaplı elektrotların Rogowski düzlem ile arasında 1,5-2-2,5-3 cm açıklıklarda yapılan deneylere ait KB sonuçları Ek B’de yer almaktadır.

4.2.4 Alçak basınçta çubuk elektrot-disk düzlem deneylerinin yapılması

Çubuk elektrot-disk düzlem deneyleri, 220 mmHg alçak basınçta (220 torr=0,2894 atm basınçta), 331 mmHg alçak basınçta (331 torr=0,4355 atm basınçta), 441 mmHg alçak basınçta (441 torr=0,5802 atm basınçta) ve 551 mmHg alçak basınçta (551 torr=0,7250 atm basınçta) gerçekleştirilerek, alçak basıncın KB karakteristiğine etkisi incelenmiştir (1 atm=1,01325 bar=760 mmHg=760 torr).

Şekil 4.35’de alçak basınçta çubuk elektrot ile disk düzlem KB ölçümü deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 4.35 : Alçak basınçta çubuk elektrot ile disk düzlem için KB ölçümü deney düzeneği.

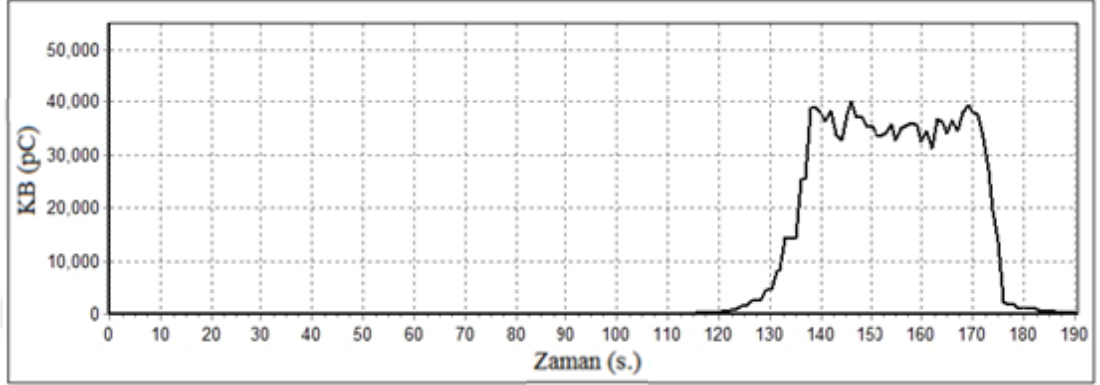
551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklık için kısmi boşalma olmadan atlama olduğu için kısmi boşalma tespit edilememiştir.

Çizelge 4.27’de 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

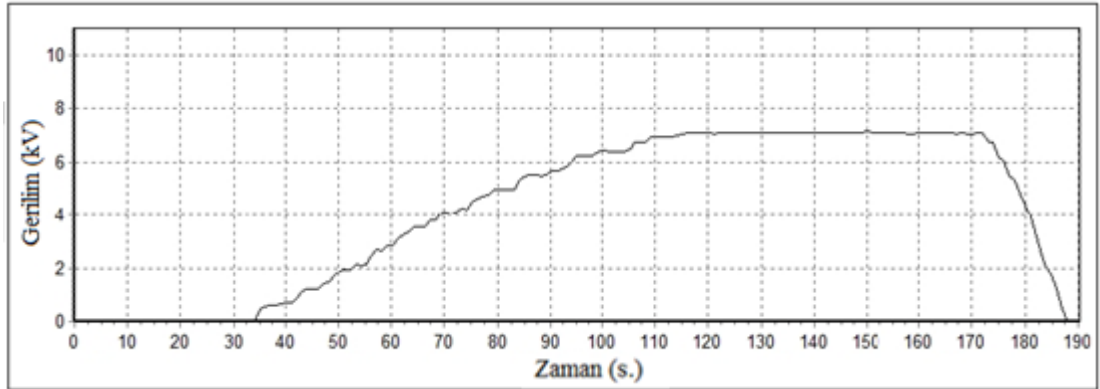
Çizelge 4.27 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,4
43	1,14	1,46
111	6,93	1,68
112	6,93	81,9
121	7,05	461
128	7,1	2590
150	7,12	35500
169	7,07	39160
175	6,18	13720
176	6,02	2260
186	1,24	538
190	0	338

Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’de 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 112. saniyede ve 6,93 kV gerilimde, 81,9 pC olarak başladığını; 176. saniyede 6,02 kV gerilimde 2260 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.

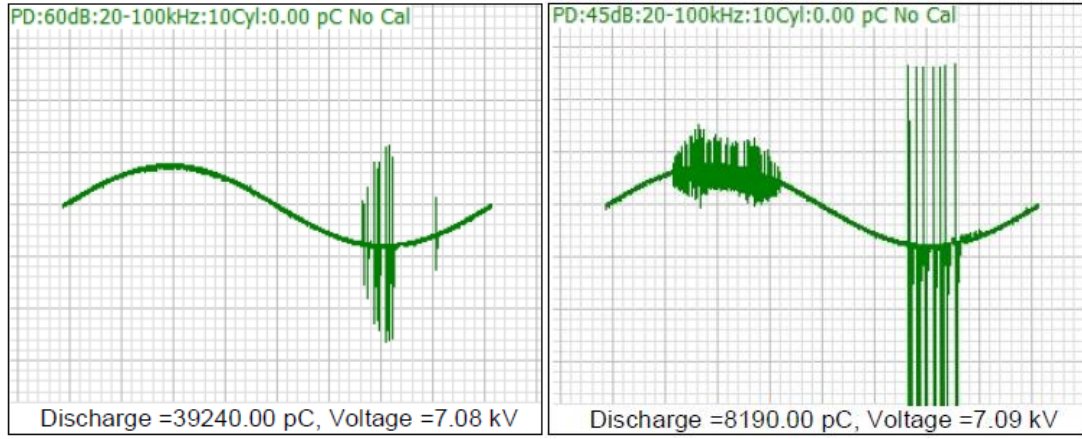


Şekil 4.36 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.37 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.38’de 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4.38 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüleri.

Çizelge 4.28’de 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.28 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

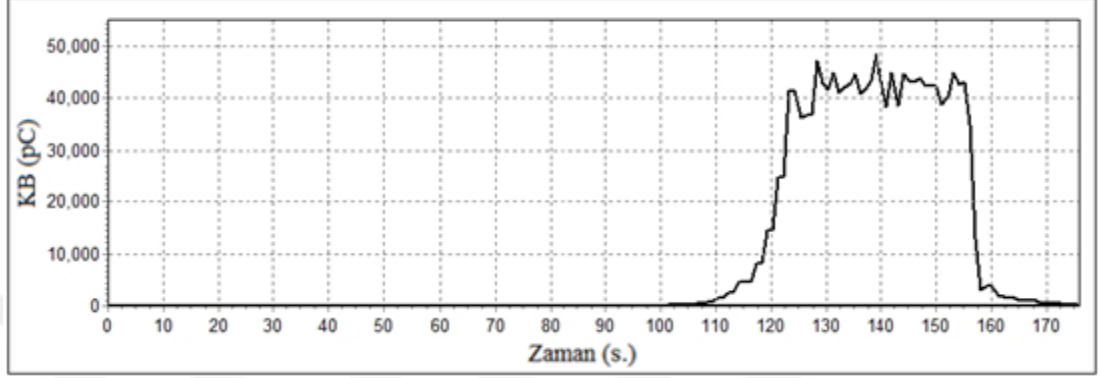
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	6,93	81,9
2.	6,9	81,9
3.	6,96	81,9
Ort.	6,93	81,9

Çizelge 4.29’da 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

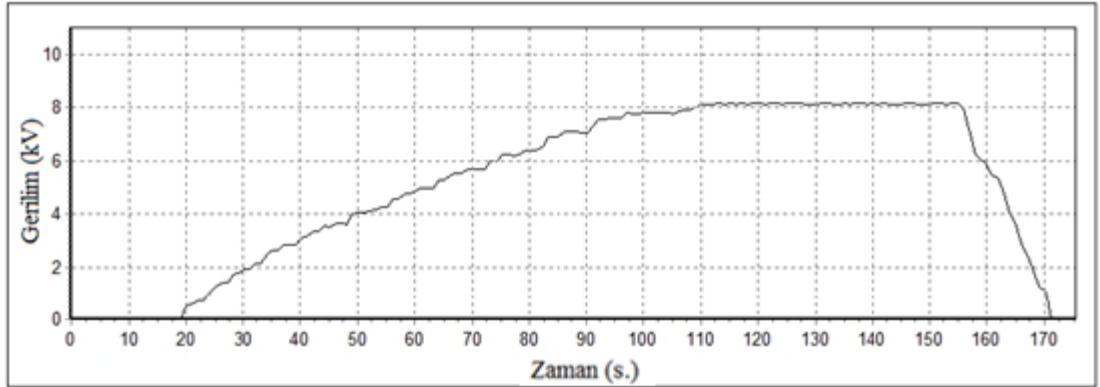
Çizelge 4.29 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta gerilime göre 1. ölçüme ait KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,62
22	0,71	1,84
96	7,58	1,54
97	7,81	49,8
106	7,85	461
116	8,13	4606
137	8,17	41897
151	8,17	38731
157	7,18	12839
158	6,22	2988
170	1,06	614
174	0	327

Şekil 4.39 ve Şekil 4.40’da 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 97. saniyede ve 7,81 kV gerilimde, 49,8 pC olarak başladığını; 158. saniyede 6,22 kV gerilimde 2988 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.



Şekil 4.39 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.40 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Çizelge 4.30’da 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.30 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

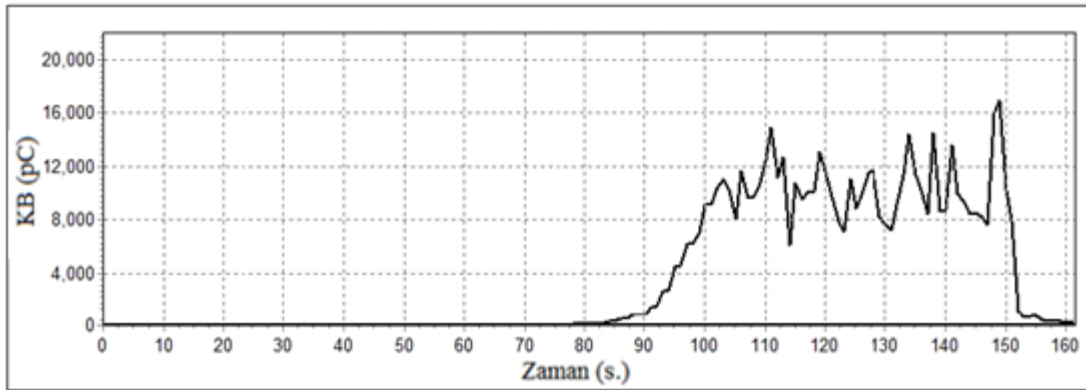
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,81	49,8
2.	7,39	49,8
3.	7,47	49,8
Ort.	7,56	49,8

Çizelge 4.31’de 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

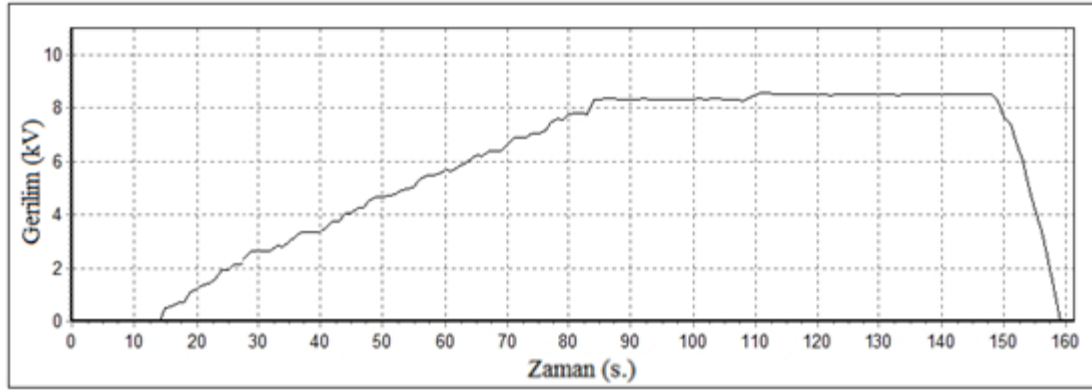
Çizelge 4.31 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,52
19	1,14	1,5
77	7,44	9,6
78	7,6	81,9
87	8,35	461
110	8,52	12403
127	8,52	11429
143	8,51	9335
151	7,39	7950
152	6,76	1125
158	1,25	320
161	0	204

Şekil 4.41 ve Şekil 4.42’de 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 78. saniyede ve 7,6 kV gerilimde, 81,9 pC olarak başladığını; 152. saniyede 6,76 kV gerilimde 1125 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.



Şekil 4.41 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.42 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Çizelge 4.32’de 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.32 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

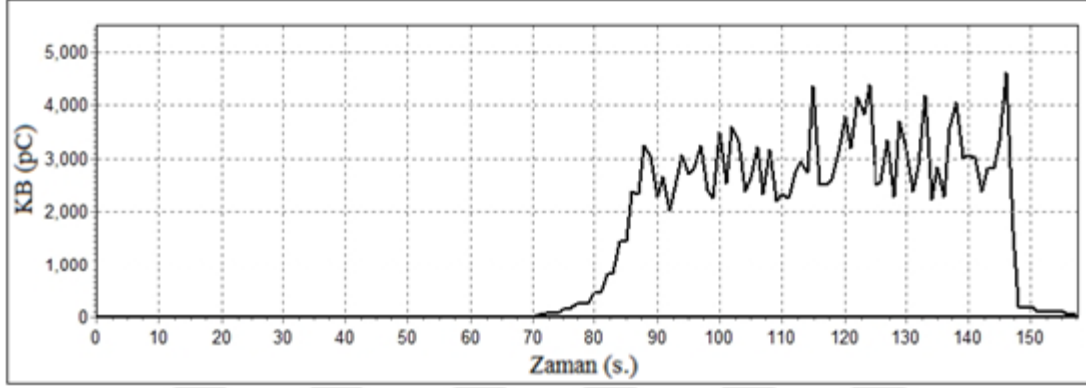
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,6	81,9
2.	7,81	81,9
3.	7,79	81,9
Ort.	7,73	81,9

Çizelge 4.33’de 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

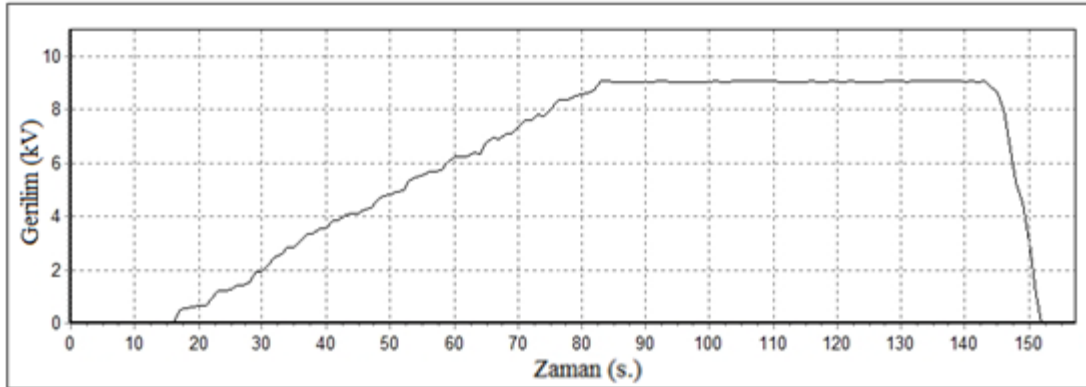
Çizelge 4.33 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,54
23	1,22	1,54
70	7,34	1,48
71	7,6	38,3
81	8,61	461
101	9,05	2526
122	9,06	4168
144	8,86	2810
147	6,54	1658
148	5,27	194
151	1,05	100
157	0	55

Şekil 4.43 ve Şekil 4.44’de 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 71. saniyede ve 7,6 kV gerilimde, 38,3 pC olarak başladığını; 148. saniyede 5,27 kV gerilimde 194 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.

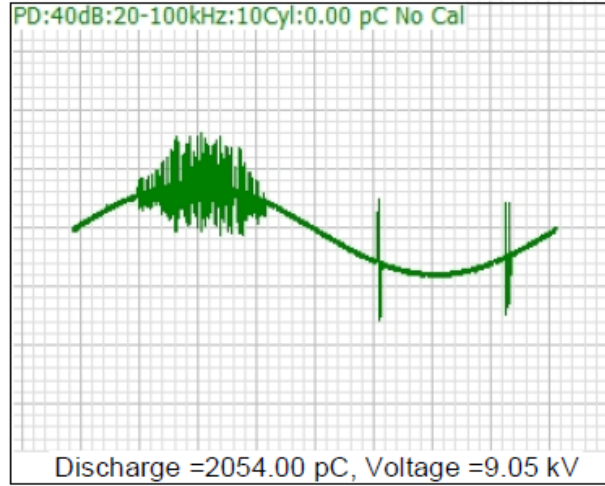


Şekil 4.43 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.44 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.45’de 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.45 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.

Çizelge 4.34’de 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.34 : 551 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,6	38,3
2.	8,01	40,3
3.	8,02	40,3
Ort.	7,88	39,63

551 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı elektrot ile disk düzlem arasında 1,5-2-2,5-3 cm açıklıklarda ve 2 mm yarıçaplı elektrot ile disk düzlem ile arasında 2-2,5-3 cm açıklıklarda yapılan deneylere ait KB sonuçları Ek C’de yer almaktadır.

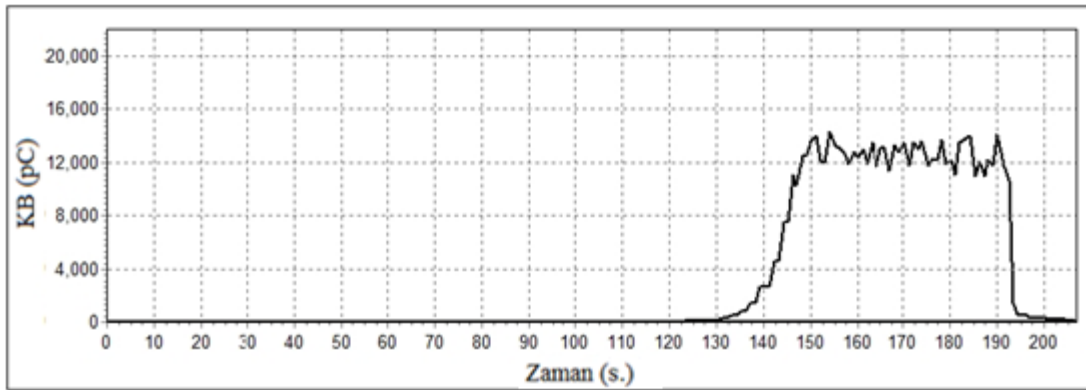
441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklık için kısmi boşalma olmadan atlama olduğu için kısmi boşalma tespit edilememiştir.

Çizelge 4.35’de 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

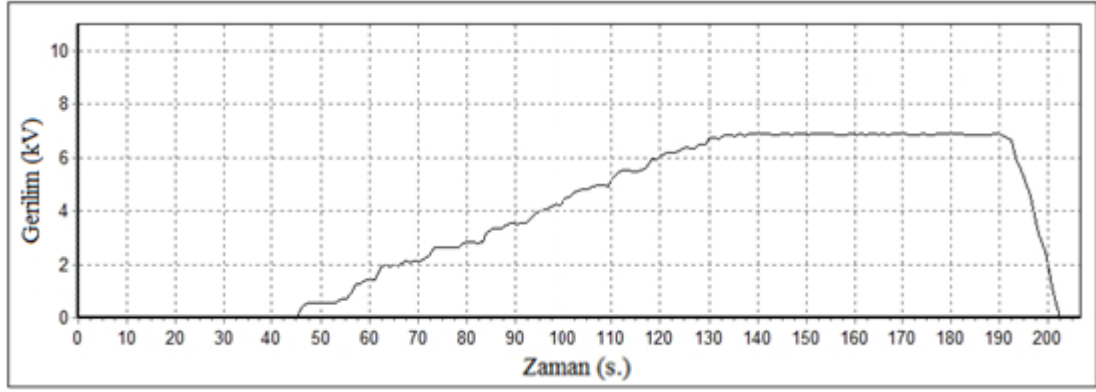
Çizelge 4.35 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,6
57	1,26	1,6
120	6,02	1,48
121	6,18	48,6
134	6,84	461
141	6,89	2590
159	6,89	12738
175	6,86	11795
192	6,65	10663
193	5,99	1410
201	0,91	188
206	0	101

Şekil 4.46 ve Şekil 4.47’de 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 121. saniyede ve 6,18 kV gerilimde, 48,6 pC olarak başladığını; 193. saniyede 5,99 kV gerilimde 1410 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.

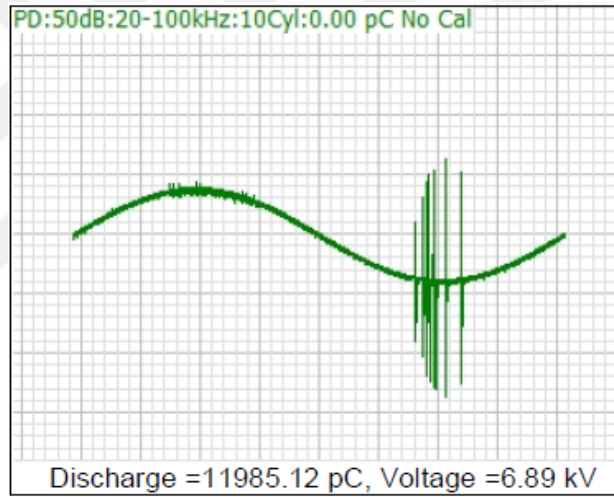


Şekil 4.46 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.47 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.48'de 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.48 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, anlık ekran görüntüsü.

Çizelge 4.36'da 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.36 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

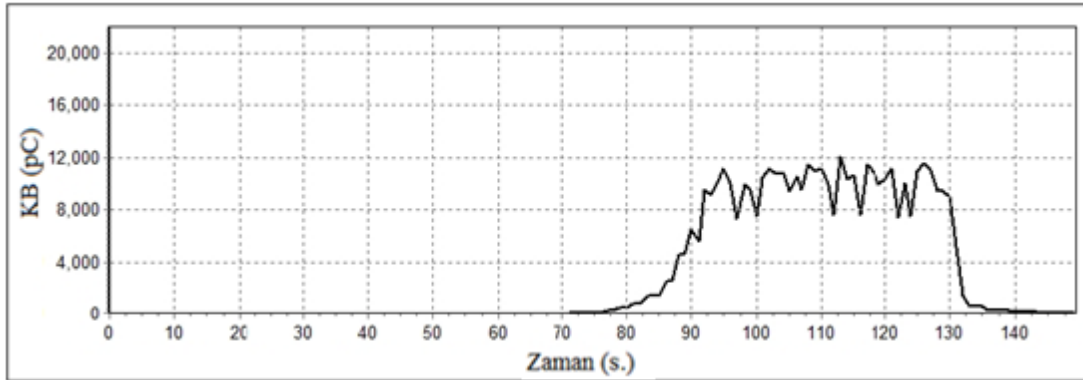
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	6,18	48,6
2.	6,2	48,6
3.	6,25	48,6
Ort.	6,21	48,6

Çizelge 4.37’de 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

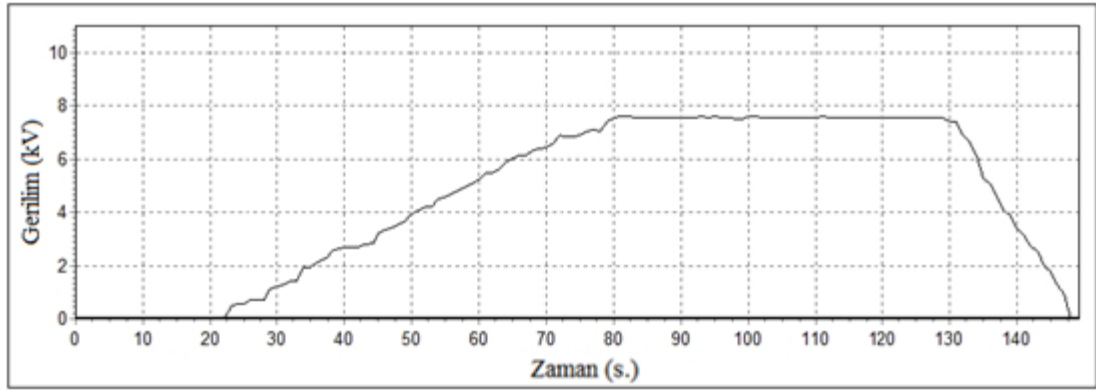
Çizelge 4.37 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,48
31	1,27	1,54
70	6,45	1,6
71	6,6	81,9
80	7,55	461
87	7,56	2567
103	7,57	10739
120	7,56	10309
131	7,42	5136
132	6,88	1385
146	1,28	104
149	0	58,2

Şekil 4.49 ve Şekil 4.50’de 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 71. saniyede ve 6,6 kV gerilimde, 81,9 pC olarak başladığını; 132. saniyede 6,88 kV gerilimde 1385 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.



Şekil 4.49 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.50 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Çizelge 4.38’de 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.38 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

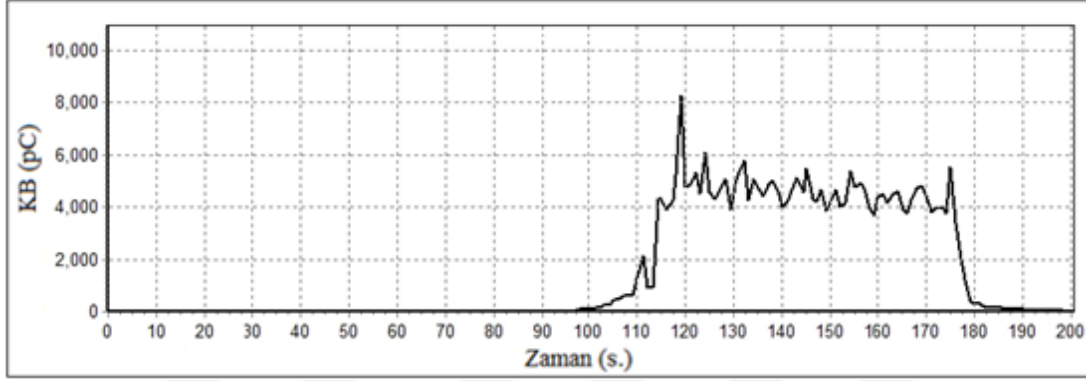
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	6,6	81,9
2.	6,65	81,9
3.	6,68	81,9
Ort.	6,64	81,9

Çizelge 4.39’da 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

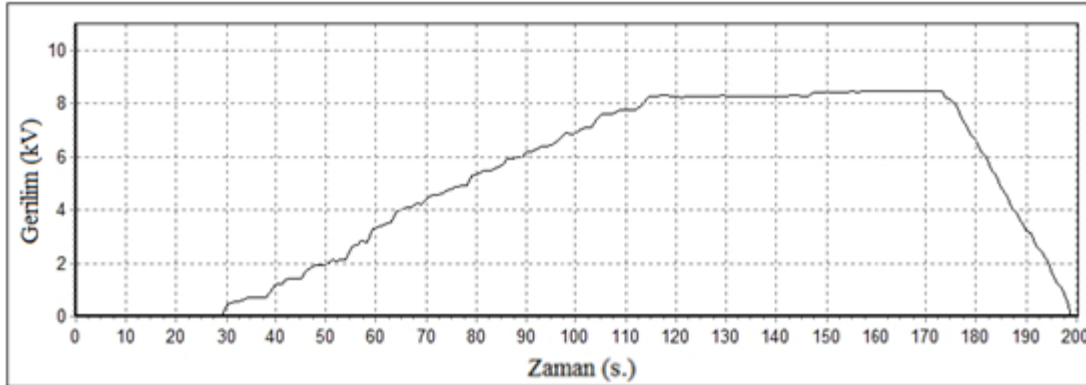
Çizelge 4.39 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,66
41	1,23	1,58
97	6,71	1,58
98	6,88	76,2
106	7,59	461
115	8,27	4313
138	8,29	5004
159	8,47	3638
178	7,22	1227
179	6,77	406
196	1,28	32
200	0	19,2

Şekil 4.51 ve Şekil 4.52’de 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 98. saniyede ve 6,88 kV gerilimde, 76,2 pC olarak başladığını; 179. saniyede 6,77 kV gerilimde 406 pC olarak sönüğünü söyleyebiliriz.



Şekil 4.51 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.52 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Çizelge 4.40’da 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.40 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

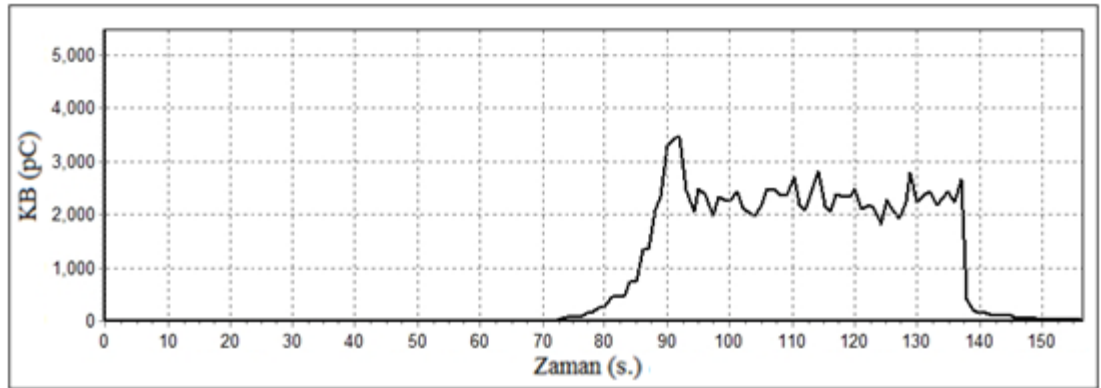
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	6,88	76,2
2.	6,9	76,2
3.	6,93	76,2
Ort.	6,90	76,2

Çizelge 4.41’de 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

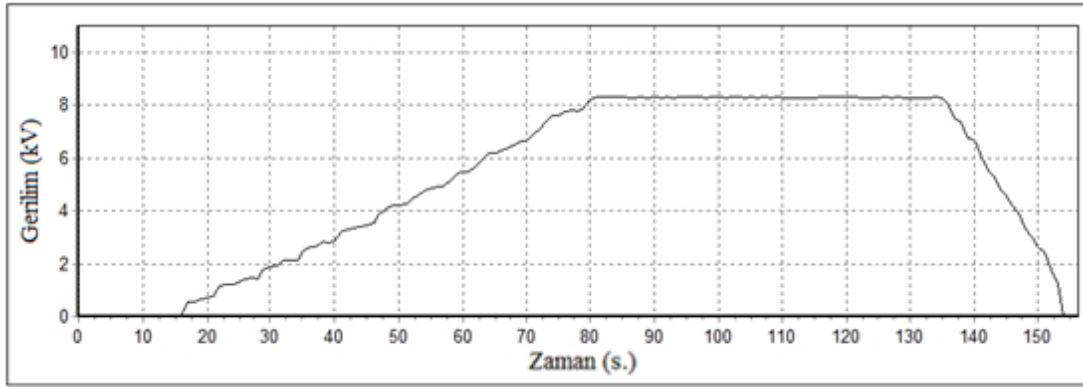
Çizelge 4.41 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,52
23	1,22	1,6
72	7,1	1,68
73	7,39	62,9
83	8,32	461
92	9,31	3439
109	8,31	2376
120	8,31	2472
137	7,51	2664
138	7,34	418
153	1,28	34,1
156	0	16,4

Şekil 4.53 ve Şekil 4.54’de 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 73. saniyede ve 7,39 kV gerilimde, 62,9 pC olarak başladığını; 138. saniyede 7,34 kV gerilimde 418 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.

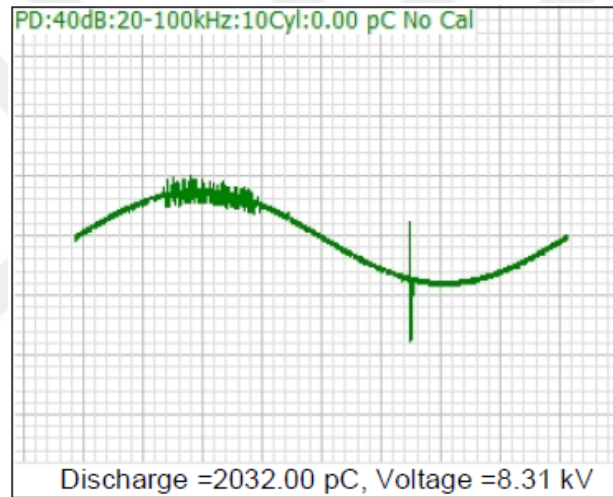


Şekil 4.53 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.54 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.55’de 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.55 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.

Çizelge 4.42’de 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.42 : 441 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,39	62,9
2.	7,4	62,9
3.	7,44	62,9
Ort.	7,41	62,9

441 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı elektrot ile disk düzlem arasında 1,5-2-2,5-3 cm açıklıklarda ve 2 mm yarıçaplı elektrot ile disk düzlem ile arasında 2-2,5-3 cm açıklıklarda yapılan deneylere ait KB sonuçları Ek Ç'de yer almaktadır.

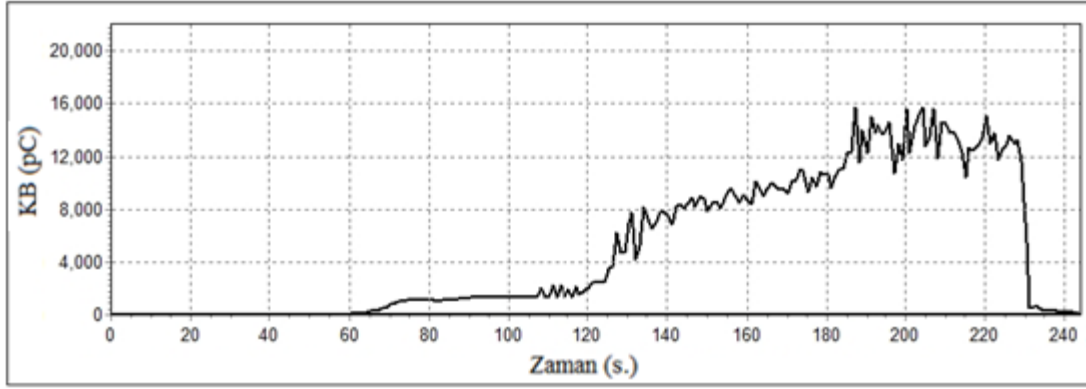
331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklık için kısmi boşalma olmadan atlama olduğu için kısmi boşalma tespit edilememiştir.

Çizelge 4.43'de 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

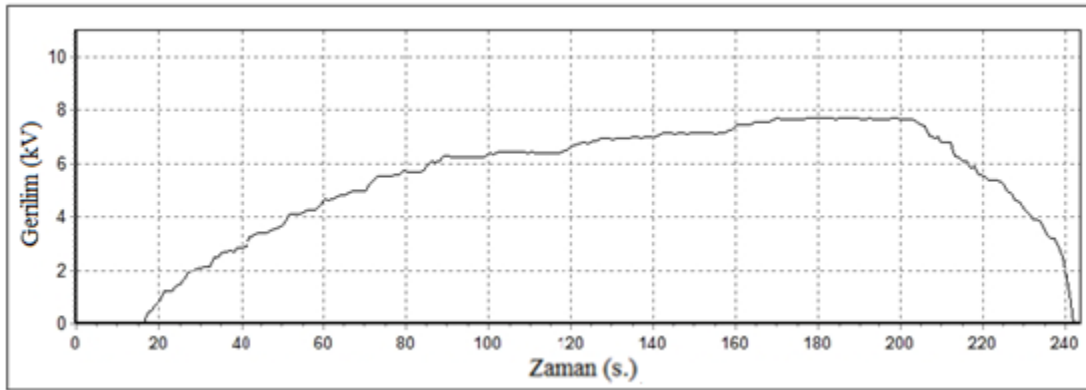
Çizelge 4.43 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,54
21	1,21	1,56
59	4,4	1,56
60	4,64	81,9
69	4,98	461
129	6,95	4686
170	7,68	9261
199	7,69	11751
230	4,24	5439
231	4,12	525
240	1,74	198
243	0	106

Şekil 4.56 ve Şekil 4.57'de 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB'nin 60. saniyede ve 4,64 kV gerilimde, 81,9 pC olarak başladığını; 231. saniyede 4,12 kV gerilimde 525 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.

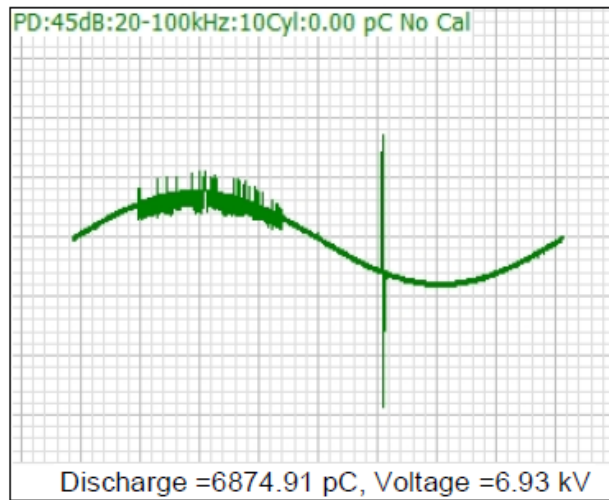


Şekil 4.56 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.57 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.58’de 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.58 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.

Çizelge 4.44’de 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.44 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

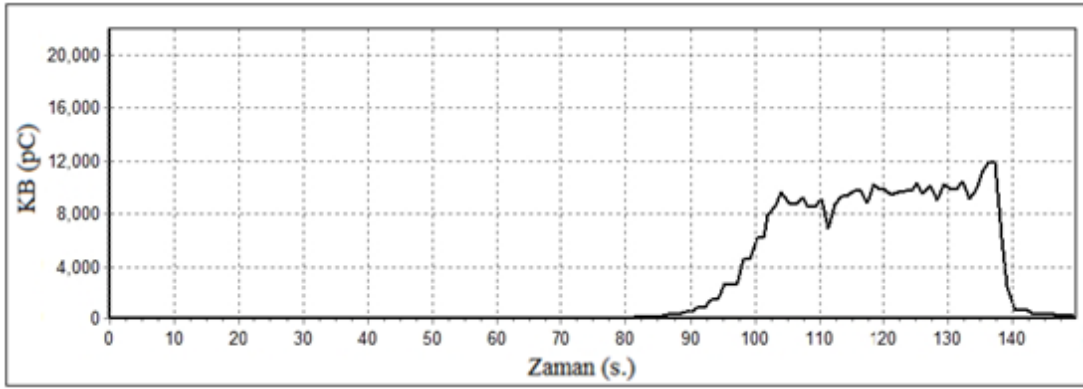
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	4,64	81,9
2.	4,6	81,9
3.	4,67	81,9
Ort.	4,64	81,9

Çizelge 4.45’de 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

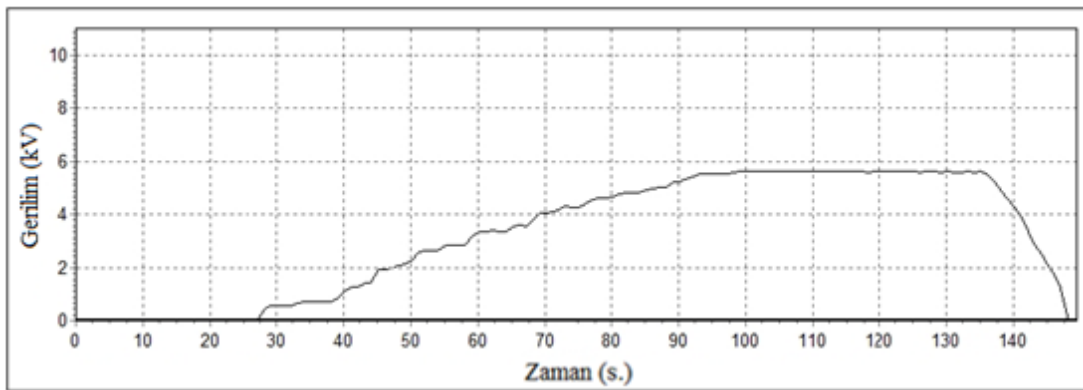
Çizelge 4.45 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,58
40	1,13	1,68
80	4,66	1,56
81	4,79	81,9
90	5,21	461
95	5,54	2590
110	5,62	9173
121	5,62	9393
139	4,62	2435
140	4,24	651
146	1,69	295
149	0	168

Şekil 4.59 ve Şekil 4.60’da 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 81. saniyede ve 4,79 kV gerilimde, 81,9 pC olarak başladığını; 140. saniyede 4,24 kV gerilimde 651 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.



Şekil 4.59 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.60 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Çizelge 4.46’da 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.46 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

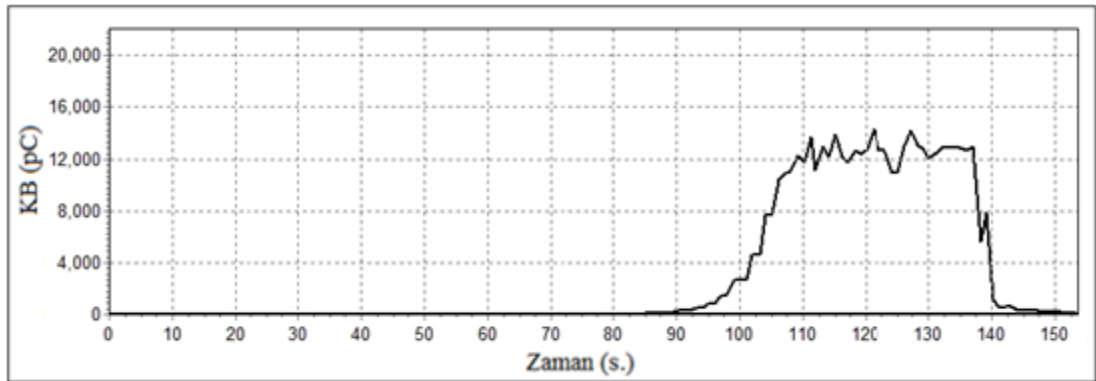
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	4,79	81,9
2.	4,8	81,9
3.	4,82	81,9
Ort.	4,80	81,9

Çizelge 4.47’de 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

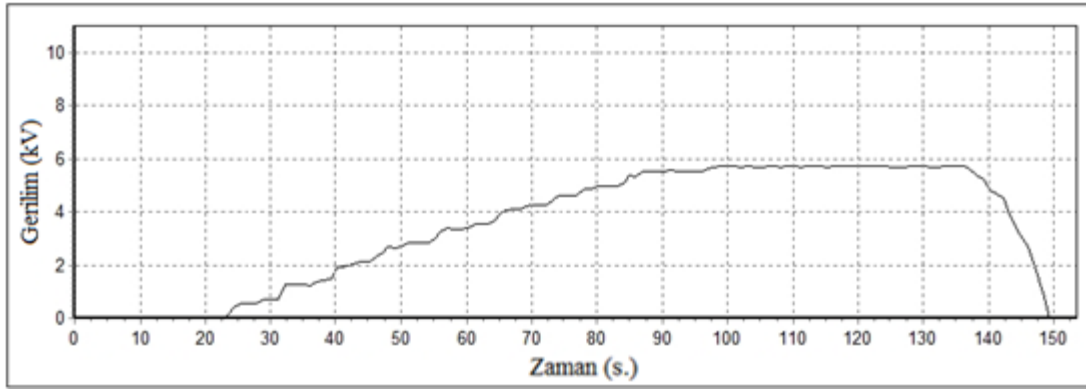
Çizelge 4.47 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,74
38	1,4	1,56
82	4,99	1,62
83	4,99	59,7
94	5,53	461
101	5,73	2590
113	5,72	12934
129	5,72	12744
139	5,2	7918
140	4,83	1126
147	1,78	274
153	0	99

Şekil 4.61 ve Şekil 4.62’de 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 83. saniyede ve 4,99 kV gerilimde, 59,7 pC olarak başladığını; 140. saniyede 4,83 kV gerilimde 1126 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.



Şekil 4.61 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.62 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Çizelge 4.48’de 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.48 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

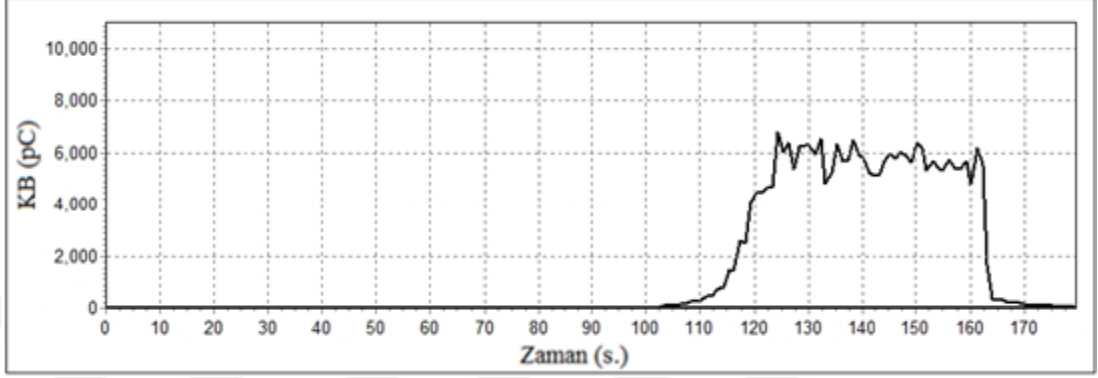
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	4,99	59,7
2.	4,9	59,7
3.	5,01	59,7
Ort.	4,97	59,7

Çizelge 4.49’da 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

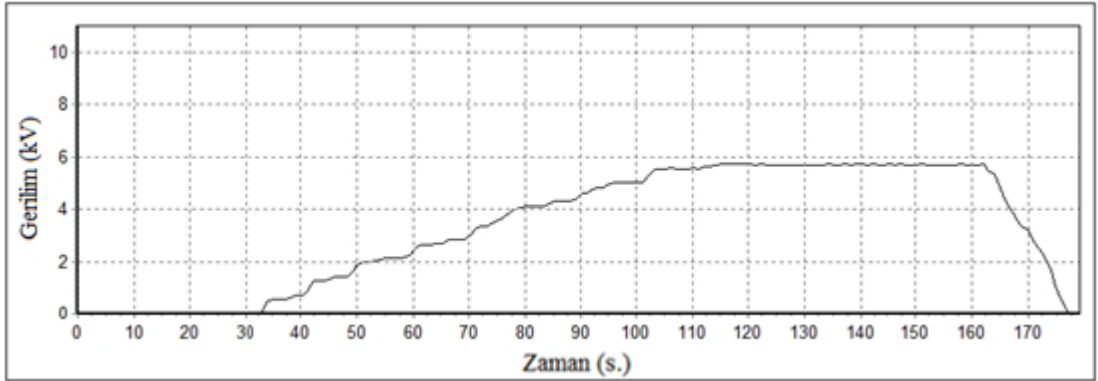
Çizelge 4.49 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,56
43	1,27	1,66
102	5,33	1,52
103	5,54	81,9
112	5,65	461
119	5,72	4084
134	5,72	5239
150	5,68	6405
163	5,48	1672
164	5,33	356
174	1,66	106
179	0	60,7

Şekil 4.63 ve Şekil 4.64’de 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 103. saniyede ve 5,54 kV gerilimde, 81,9 pC olarak başladığını; 164. saniyede 5,33 kV gerilimde 356 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.

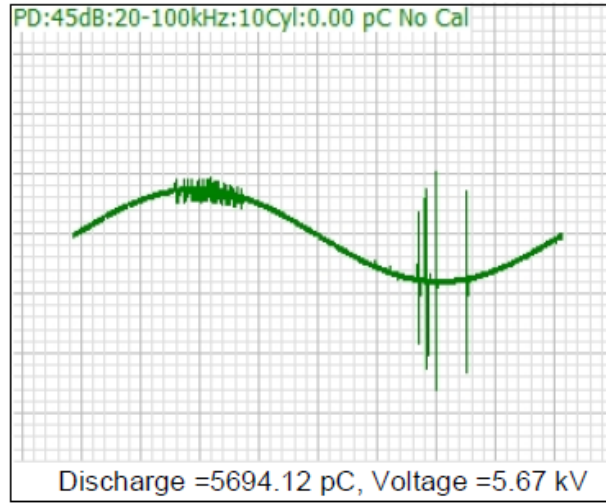


Şekil 4.63 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.64 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.65’de 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.65 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.

Çizelge 4.50’de 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.50 : 331 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	5,54	81,9
2.	5,51	81,9
3.	5,6	81,9
Ort.	5,55	81,9

331 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı elektrot ile disk düzlem arasında 1,5-2-2,5-3 cm açıklıklarda ve 2 mm yarıçaplı elektrot ile disk düzlem ile arasında 2-2,5-3 cm açıklıklarda yapılan deneylere ait KB sonuçları Ek D’de yer almaktadır.

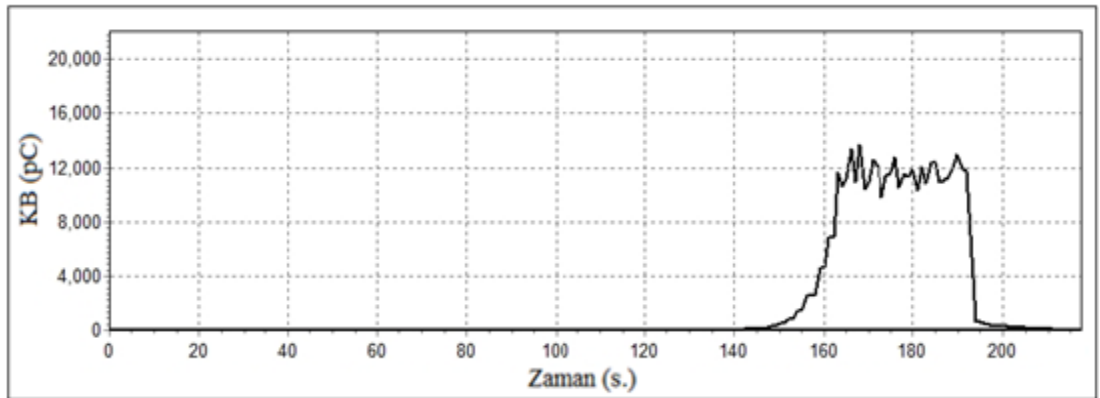
220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklık için kısmi boşalma olmadan atlama olduğu için kısmi boşalma tespit edilememiştir.

Çizelge 4.51’de 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

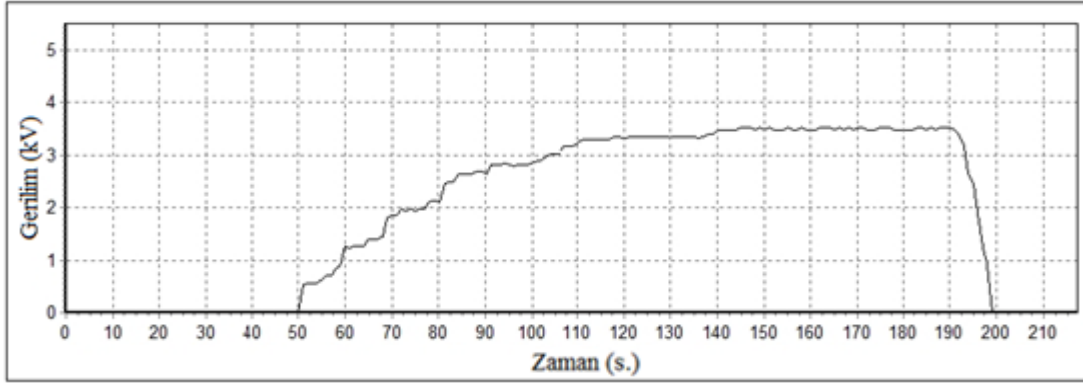
Çizelge 4.51 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,5
60	1,27	1,5
141	3,47	1,54
142	3,47	81,9
151	3,51	461
158	3,51	2581
175	3,52	11650
183	3,52	10821
193	3,16	7065
194	2,63	658
197	1,24	359
217	0	32,7

Şekil 4.66 ve Şekil 4.67’de 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 142. saniyede ve 3,47 kV gerilimde, 81,9 pC olarak başladığını; 194. saniyede 2,63 kV gerilimde 658 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.

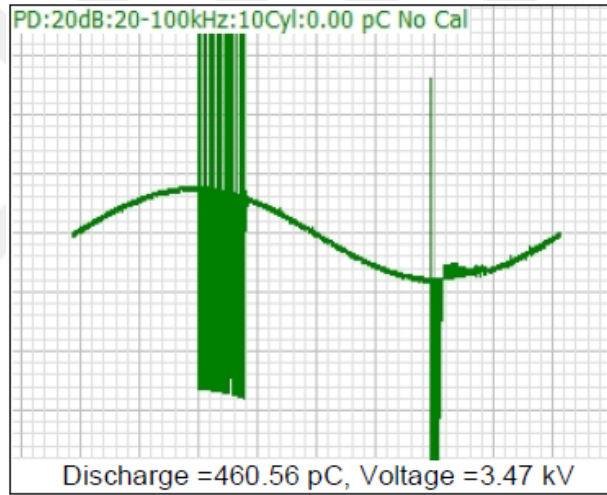


Şekil 4.66 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.67 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.68’de 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.68 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.

Çizelge 4.52’de 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.52 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

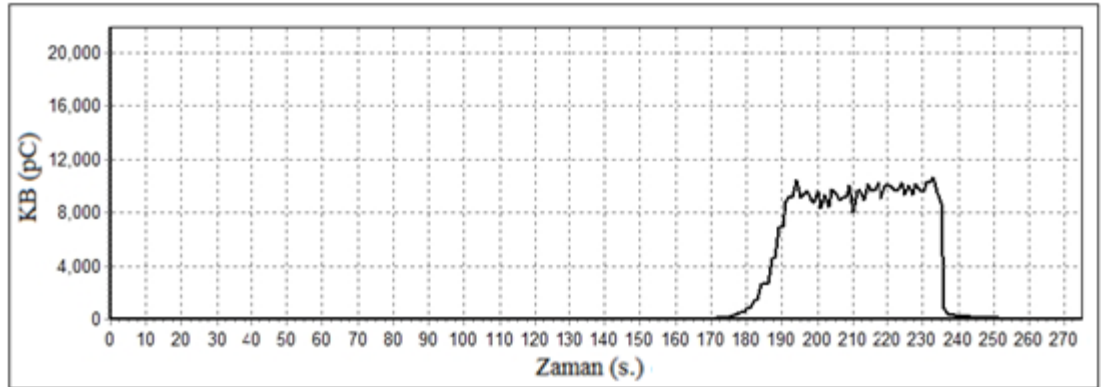
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	3,47	81,9
2.	3,45	81,9
3.	3,48	81,9
Ort.	3,47	81,9

Çizelge 4.53’de 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

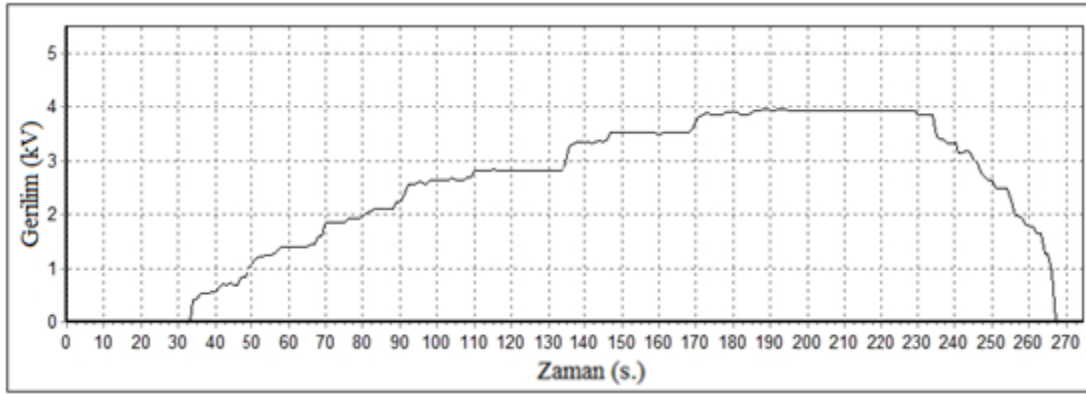
Çizelge 4.53 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,44
51	1,17	1,46
170	3,77	1,64
171	3,81	81,9
179	3,9	461
186	3,94	2590
209	3,93	10076
225	3,93	9279
235	3,45	8764
236	3,4	804
265	1,27	5,06
274	0	1,46

Şekil 4.69 ve Şekil 4.70’de 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 171. saniyede ve 3,81 kV gerilimde, 81,9 pC olarak başladığını; 236. saniyede 3,4 kV gerilimde 804 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.



Şekil 4.69 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.70 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Çizelge 4.54’de 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.54 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

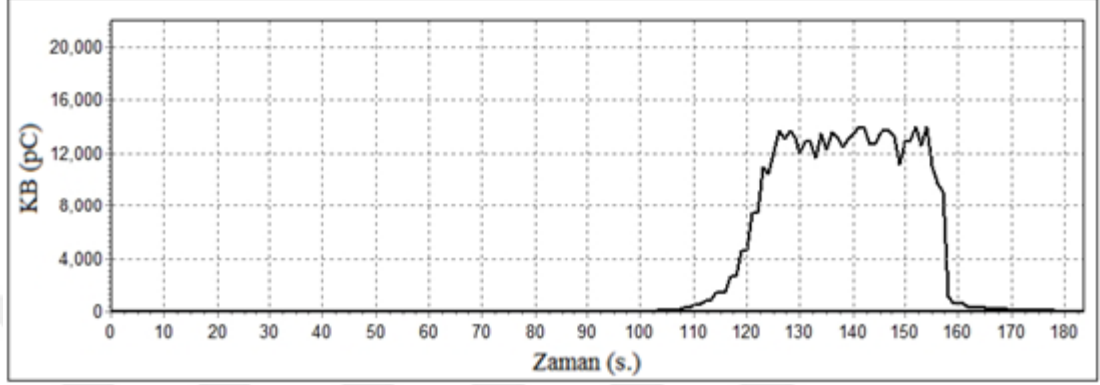
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	3,81	81,9
2.	3,85	81,9
3.	3,8	81,9
Ort.	3,82	81,9

Çizelge 4.55’de 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

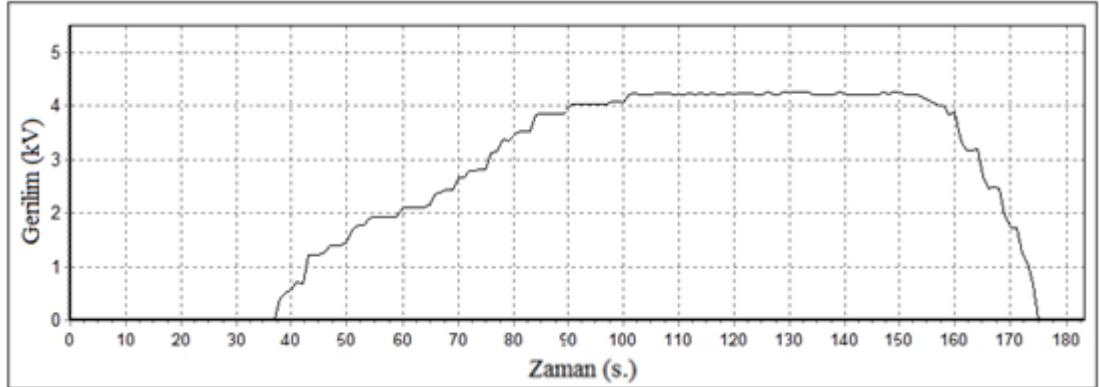
Çizelge 4.55 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,52
48	1,4	1,52
102	4,24	2,34
103	4,2	81,9
111	4,2	461
118	4,2	2590
129	4,25	13193
149	4,25	11112
157	4,01	9095
158	4	1132
173	1,07	113
183	0	20,4

Şekil 4.71 ve Şekil 4.72’de 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 103. saniyede ve 4,2 kV gerilimde, 81,9 pC olarak başladığını; 158. saniyede 4 kV gerilimde 1132 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.



Şekil 4.71 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.72 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Çizelge 4.56’da 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.56 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

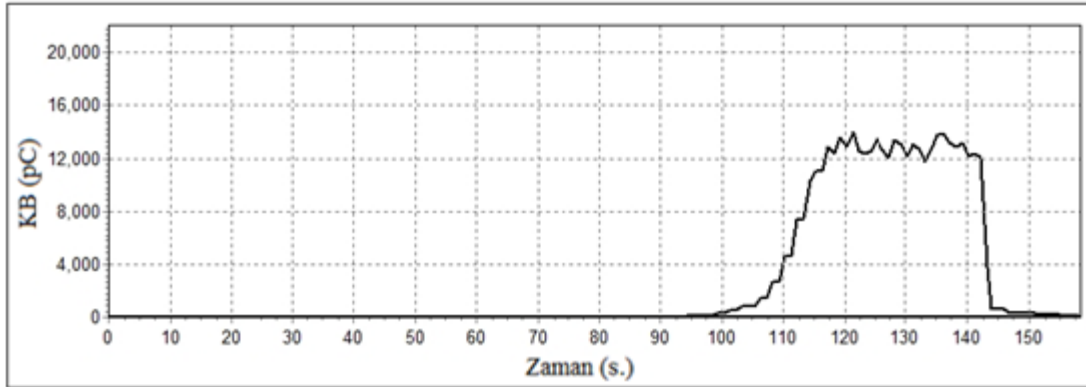
Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	4,2	81,9
2.	4,26	81,9
3.	4,3	81,9
Ort.	4,25	81,9

Çizelge 4.57’de 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

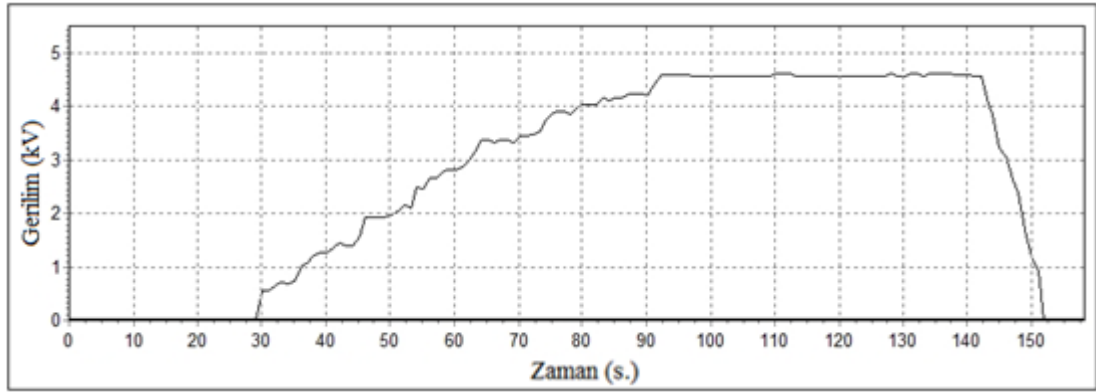
Çizelge 4.57 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta 1. ölçüme ait gerilime göre KB değişimi.

Zaman (s.)	Gerilim (kV)	KB Genliği (pC)
0	0	1,82
38	1,23	1,56
93	4,58	1,6
94	4,59	81,9
102	4,57	461
109	4,56	2590
128	4,6	13351
133	4,56	11732
143	4,04	3751
144	3,84	633
150	1,2	313
158	0	101

Şekil 4.73 ve Şekil 4.74’de 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait KB-zaman ve gerilim-zaman eğrileri yer almaktadır. Söz konusu çizelge ve şekiller incelendiğinde, KB’nin 94. saniyede ve 4,59 kV gerilimde, 81,9 pC olarak başladığını; 144. saniyede 3,84 kV gerilimde 633 pC olarak söndüğünü söyleyebiliriz.

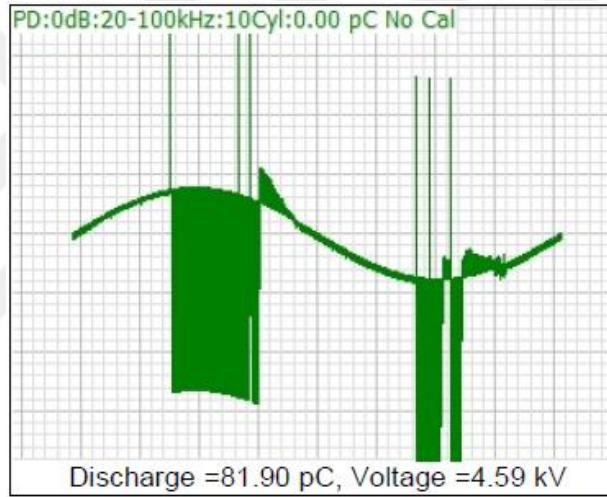


Şekil 4.73 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait kısmi boşalma-zaman eğrisi.



Şekil 4.74 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait gerilim-zaman eğrisi.

Şekil 4.75’de 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 4.75 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta, 1. ölçüme ait anlık ekran görüntüsü.

Çizelge 4.58’de 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.58 : 220 mmHg alçak basınçta 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	4,59	81,9
2.	4,62	81,9
3.	4,66	81,9
Ort.	4,62	81,9

220 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı elektrot ile disk düzlem arasında 1,5-2-2,5-3 cm açıklıklarda ve 2 mm yarıçaplı elektrot ile disk düzlem ile arasında 2-2,5-3 cm açıklıklarda yapılan deneylere ait KB sonuçları Ek E’de yer almaktadır.

Deneylerde, 551 mmHg alçak basınç haricinde diğer alçak basınç kademelerinde kısmi boşalma, pozitif ve negatif tarafta aynı anda başlamıştır. Alçak basınç kademesinin artması KB riskini arttırdığı için bu durum oluşmuştur.

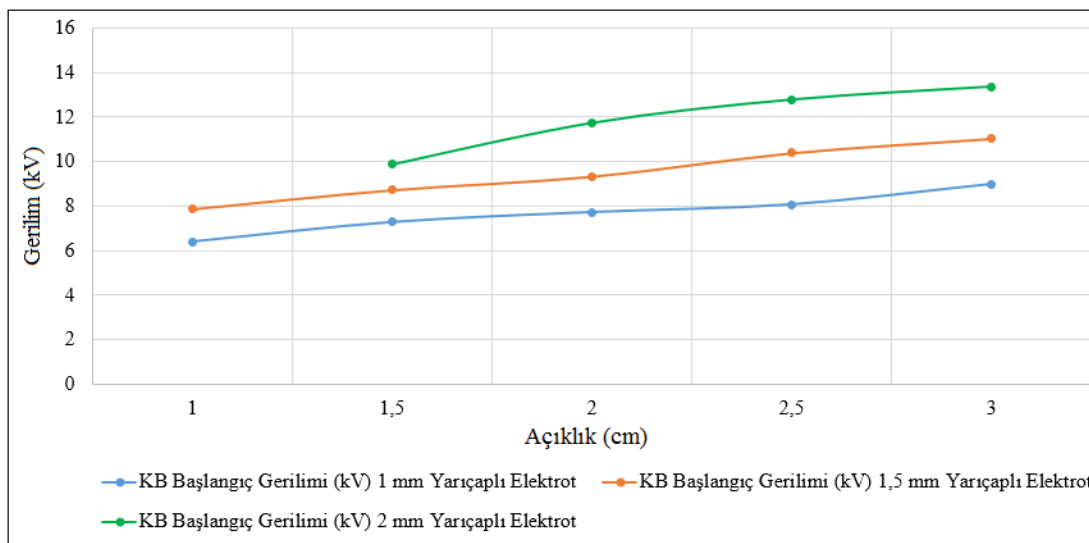
4.3 Deney Sonuçlarının İncelenmesi

KB ölçümü sonunda, Çizelge 4.59’da farklı yarıçaplarda elektrotlar ile disk düzlem arasında farklı açıklıklardaki KB başlangıç gerilimleri yer almaktadır.

Çizelge 4.59 : Çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.

Açıklık (cm)	KB Başlangıç Gerilimi (kV)		
	1 mm Yarıçaplı Elektrot	1,5 mm Yarıçaplı Elektrot	2 mm Yarıçaplı Elektrot
1	6,4	7,86	
1,5	7,28	8,72	9,88
2	7,73	9,33	11,73
2,5	8,08	10,39	12,77
3	9	11,04	13,35

Şekil 4.76’da farklı yarıçaplarda elektrotlar ile disk düzlem arasında farklı açıklıklardaki KB başlangıç gerilimlerine ait eğriler yer almaktadır.



Şekil 4.76 : Çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.

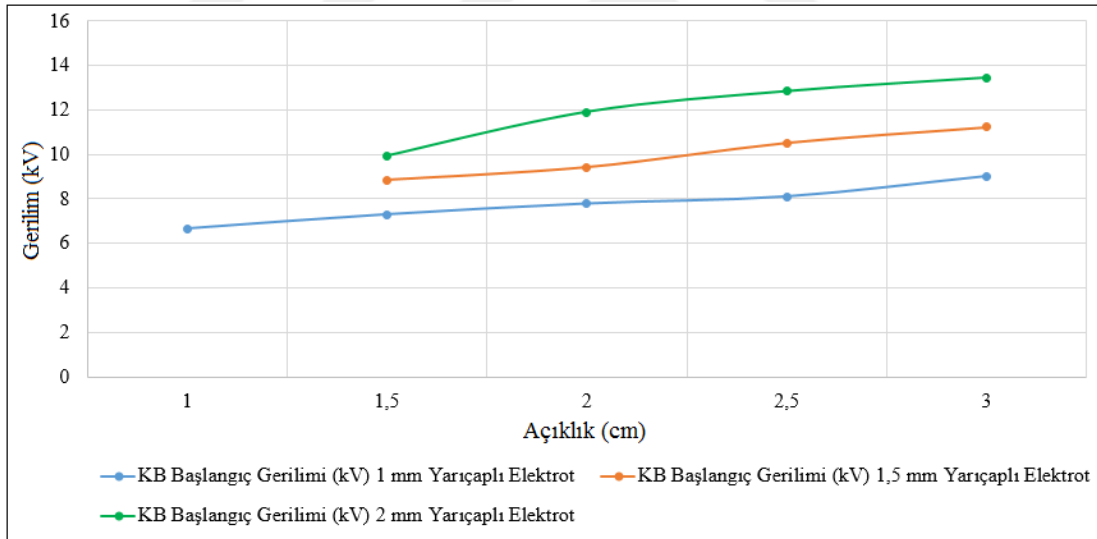
Çizelge ve şekil incelendiğinde, elektrot yarıçapının ve açıklığın KB karakteristiğine etkisi görülmektedir.

Çizelge 4.60’da farklı yarıçaplarda elektrotlar ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklardaki KB başlangıç gerilimleri yer almaktadır.

Çizelge 4.60 : Çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.

Açıklık (cm)	KB Başlangıç Gerilimi (kV)		
	1 mm Yarıçaplı Elektrot	1,5 mm Yarıçaplı Elektrot	2 mm Yarıçaplı Elektrot
1	6,66		
1,5	7,3	8,84	9,93
2	7,79	9,42	11,91
2,5	8,11	10,52	12,84
3	9,03	11,23	13,45

Şekil 4.77’de farklı yarıçaplarda elektrotlar ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklardaki KB başlangıç gerilimlerine ait eğriler yer almaktadır.



Şekil 4.77 : Çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.

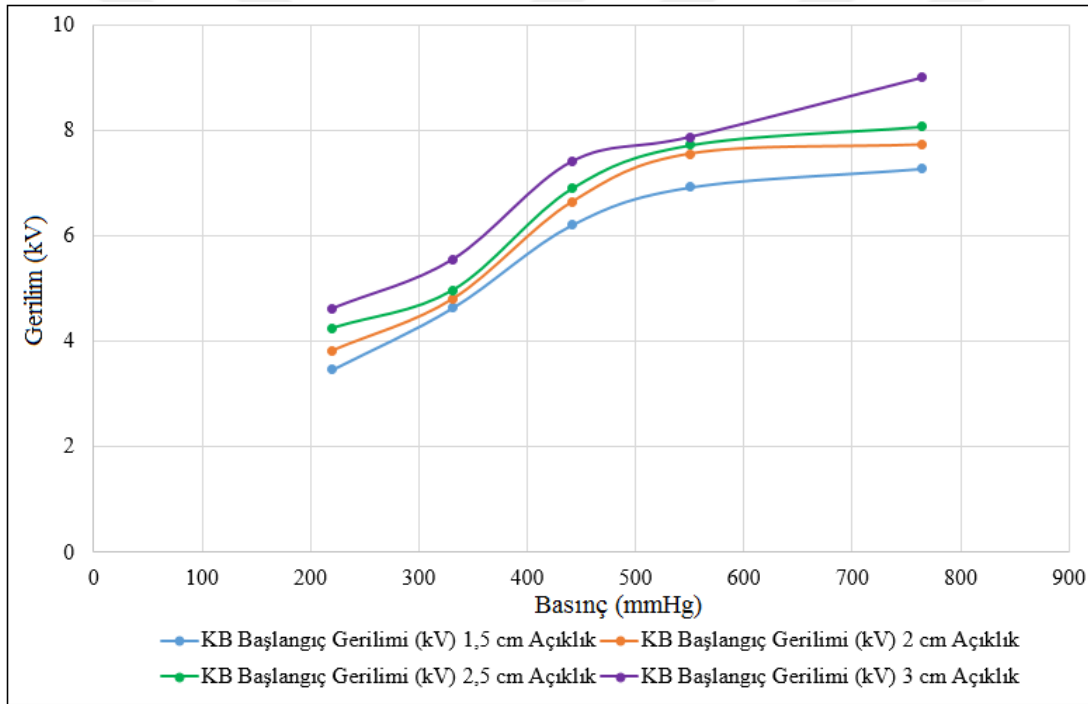
Çizelge ve şekil incelendiğinde, elektrot yarıçapının ve açıklığın KB karakteristiğine etkisi görülmektedir.

Çizelge 4.61’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri yer almaktadır.

Çizelge 4.61 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.

Basınç (mmHg)	KB Başlangıç Gerilimi (kV)			
	1,5 cm Açıklık	2 cm Açıklık	2,5 cm Açıklık	3 cm Açıklık
220	3,47	3,82	4,25	4,62
331	4,64	4,8	4,97	5,55
441	6,21	6,64	6,9	7,41
551	6,93	7,56	7,73	7,88
764	7,28	7,73	8,08	9

Şekil 4.78’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimlerine ait eğriler yer almaktadır.



Şekil 4.78 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.

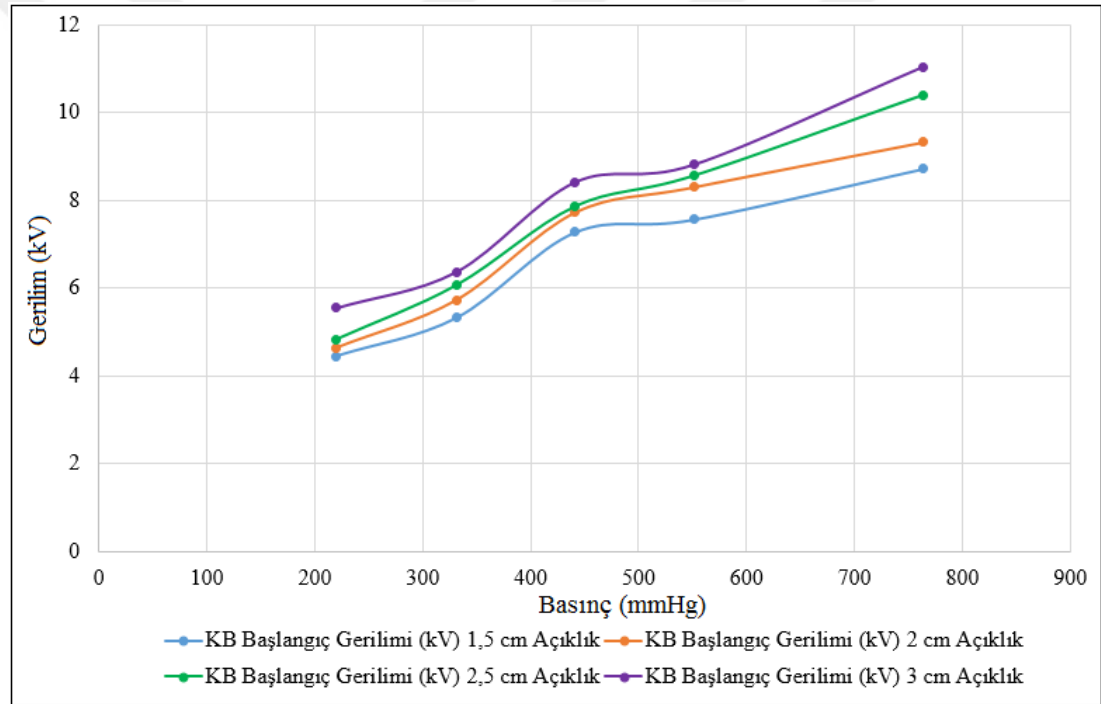
Çizelge ve şekil incelendiğinde, alçak basıncın KB karakteristiğine etkisi görülmektedir.

Çizelge 4.62’de 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri yer almaktadır.

Çizelge 4.62 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.

Basınç (mmHg)	KB Başlangıç Gerilimi (kV)			
	1,5 cm Açıklık	2 cm Açıklık	2,5 cm Açıklık	3 cm Açıklık
220	4,45	4,63	4,83	5,55
331	5,32	5,72	6,06	6,37
441	7,27	7,72	7,85	8,41
551	7,56	8,3	8,55	8,81
764	8,72	9,33	10,39	11,04

Şekil 4.79’da 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimlerine ait eğriler yer almaktadır.



Şekil 4.79 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.

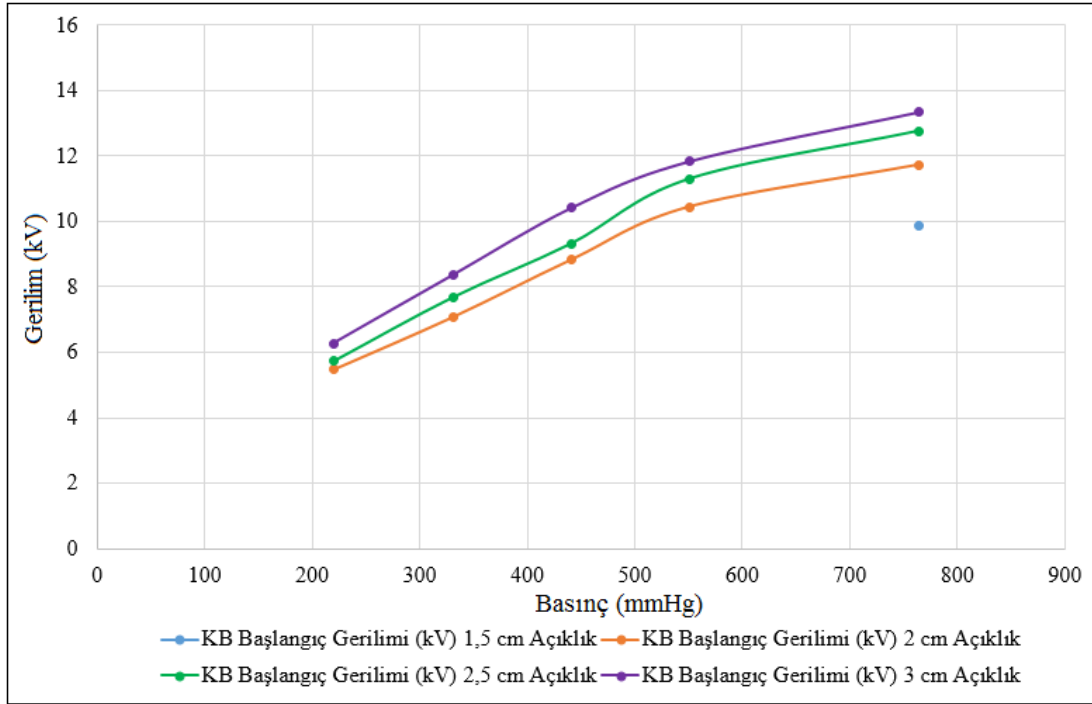
Çizelge ve şekil incelendiğinde, alçak basıncın KB karakteristiğine etkisi görülmektedir.

Çizelge 4.63’de 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri yer almaktadır.

Çizelge 4.63 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.

Basınç (mmHg)	KB Başlangıç Gerilimi (kV)			
	1,5 cm Açıklık	2 cm Açıklık	2,5 cm Açıklık	3 cm Açıklık
220		5,48	5,74	6,27
331		7,08	7,69	8,36
441		8,83	9,33	10,41
551		10,45	11,31	11,84
764	9,88	11,73	12,77	13,35

Şekil 4.80’de 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimlerine ait eğriler yer almaktadır.



Şekil 4.80 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.

Çizelge ve şekil incelendiğinde, alçak basıncın KB karakteristiğine etkisi görülmektedir.

Çizelge 4.64’de farklı yarıçaplı çubuk elektrotlar ile normal veya Rogowski düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB türleri yer almaktadır.

Çizelge 4.64 : Farklı yarıçaplı çubuk elektrotlar ile disk veya Rogowski düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda KB türleri.

Elektrot (yarıçap)	Düzlem	Alçak basınç (mmHg)	Korona Türü (p: pozitif, n: negatif)							
			1,5 cm Açıklıkta		2 cm Açıklıkta		2,5 cm Açıklıkta		3 cm Açıklıkta	
			Başlama	Devam	Başlama	Devam	Başlama	Devam	Başlama	Devam
1 mm	Normal	764	n	n+p	n+p	n+p	n	n+p	n	n+p
1,5 mm	Normal	764	p	n+p	p	n+p	n+p	n+p	n	n+p
2 mm	Normal	764	p	p	p	p	p	p	p	n+p
1 mm	Rogowski	764	p	n+p	p	n+p	p	n+p	p	n+p
1,5 mm	Rogowski	764	p	n+p	p	n+p	p	n+p	p	n+p
2 mm	Rogowski	764	p	p	p	n+p	p	n+p	p	n+p
1 mm	Normal	551	n	n+p	n	n	n+p	n+p	n+p	n+p
1,5 mm	Normal	551	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p
2 mm	Normal	551	-	-	n	n	n+p	n+p	n	n
1 mm	Normal	441	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p
1,5 mm	Normal	441	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p
2 mm	Normal	441	-	-	n	n	n	n	n	n
1 mm	Normal	331	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p
1,5 mm	Normal	331	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p
2 mm	Normal	331	-	-	n	n	n	n	n	n
1 mm	Normal	220	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p
1,5 mm	Normal	220	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n+p	n	n
2 mm	Normal	220	-	-	n+p	n+p	n	n	n	n

Çizelge incelendiğinde, genel bir ilkedden bahsedemeyiz. Çünkü KB türünü etkileyen başka etkenler de vardır. Özellikle gerilimin artış hızı önemli bir etkendir. Ancak, yine de tespit edebildiğimiz noktalar vardır. Rogowski düzlem kullanıldığında, korona neredeyse tüm seçeneklerde pozitif korona olarak başlayıp, daha sonra negatif korona da oluşmuştur. Alçak basınç uygulanan seçeneklerde ise çoğunluğunda, korona pozitif ve negatif olarak başlamış ve öyle devam etmiştir.

4.3.1 KB başlangıç gerilimini etkileyen etkenlerin incelenmesi

Deneyler sırasında KB karakteristiğini etkileyen etkenlerden elektrot yarıçapı, düzlem özelliği, elektrot-düzlem arası açıklık ve alçak basınç incelenmiştir. Söz konusu inceleme yapılırken diğer ortam koşullarının ve fiziksel şartların aynı olması durumunda her bir etken ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

4.3.1.1 Elektrot yarıçapı

Elektrot yarıçapının artması, KB başlangıç geriliminin yükselmesine sebep olmuştur. Elektrot-disk düzlem veya elektrot-Rogowski düzlem için de aynı durum geçerlidir.

Söz konusu durum, Çizelge 4.59 ve Çizelge 4.60 ile Şekil 4.76 ve Şekil 77’de görülmektedir.

4.3.1.2 Düzlem özelliği

Rogowski düzlemde alınan sonuçlar ile disk düzlemde alınan sonuçlar kıyaslandığında, disk düzlemde KB başlangıç gerilimleri, Rogowski düzleme göre daha küçük olduğu belirlenmiştir. Söz konusu durum, Çizelge 4.59 ve Çizelge 4.60 ile Şekil 4.76 ve Şekil 77’de görülmektedir.

4.3.1.3 Elektrot-düzlem arası açıklık

Elektrot-düzlem arası açıklığın artması, KB başlangıç geriliminin yükselmesine sebep olmuştur. Elektrot-disk düzlem veya elektrot-Rogowski düzlem için de aynı durum geçerlidir. Söz konusu durum, Çizelge 4.59 ve Çizelge 4.60 ile Şekil 4.76 ve Şekil 77’de görülmektedir.

4.3.1.4 Alçak basınç

Elektrot yarıçapı, düzlem özelliği ve elektrot ile düzlem arası açıklık aynı olmak koşuluyla alçak basınçta yani dört farklı alçak basınç altında yapılan deneyler sonucunda, alçak basınçta kısmi boşalma başlangıç gerilimlerinin normal duruma göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, alçak basınç arttıkça veya diğer deyişle basınç düştükçe kısmi boşalma başlangıç gerilimi de daha düşük olmaktadır. Çizelge 4.61, Çizelge 4.62 ve Çizelge 4.63 ile Şekil 4.78, Şekil 4.79 ve Şekil 4.80’de alçak basınç altında yapılan deneylerin sonuçları gösterilmiştir. Dolayısıyla, bu çizelge ve şekillerde alçak basıncın KB karakteristiğine etkisi açıkça görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, Kamarol, Ohtsuka, Saitoh, Sakaki ve Hikita’nın 2007 yılında yaptıkları “Diagnostic Technique of Insulation Performance in Vacuum Interrupter Based on Partial Discharge” adlı çalışması ile Sun, Youn, Hwang, Yi ve Kang’ın 2012 yılında yaptıkları “A Method to Monitor Vacuum Degree Using Capacitive Partial Discharge Coupler” adlı çalışmasında elde edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir.

4.3.2 Deney sonuçlarının kısmi boşalma açısından analizi

Peek ve Peterson tarafından daha geniş formüller ampirik olarak bulunmuş olsa da en temel anlamıyla KB başlangıç gerilimi (korona başlangıç gerilimi),

$$V = E. r. \ln\left(\frac{D}{r}\right) \quad (4.1)$$

şeklindedir. Buna bağıl hava yoğunluğunu (δ) yani basınç ve sıcaklık etkisini eklersek,

$$V = E. \delta . r. \ln\left(\frac{D}{r}\right) \quad (4.2)$$

olur ve basınç-sıcaklık etkisini açarsak,

$$V = E. \left(0,392 \frac{P}{273+t}\right). r. \ln\left(\frac{D}{r}\right) \quad (4.3)$$

formülünü elde ederiz (P: basınç, t: sıcaklık, r: elektrot yarıçapı, D: elektrotlar arası açıklık). Söz konusu denklem yardımıyla deney sonuçlarının nedenlerini anlayabiliriz. Deneylerde, elektrot yarıçapının, elektrot-düzlem arası açıklığın ve basıncın artmasının KB başlangıç gerilimini yükselttiğini görmüştük. Söz konusu denklemden de bunu görebiliyoruz.

Deneylerde düzlem özelliğinin KB etkisini de incelemiştik. Rogowski düzlemde, KB başlangıç gerilimlerinin daha yüksek olduğunu ölçüm sonuçlarında belirledik. Rogowski düzlem profili disk düzleme göre daha farklı olduğu için, KB riski Rogowski düzlemde daha azdır. Bu durumu, FEMM programında yaptığımız modelleme sonuçlarında da göreceğiz.

Bu deneylerde amaçlanan, elektrot yarıçapının, düzlem özelliğinin, elektrot ile düzlem arası açıklığın ve alçak basıncın KB karakteristiğini nasıl etkilediğini belirlemektir. Deneyler sonunda elde edilen sonuçlarla söz konusu amaca ulaşılmıştır. Ayrıca deney sonuçları, bu alanda yayımlanan makalelerdeki sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçların benzer olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla elektrot-düzlem sistemi kullanılarak, yüksek gerilim sistemlerinin KB karakteristiği hakkında değerlendirmeler ve tahminler yapılabilir.

4.4 KB Ölçümlerindeki Hatanın Hesaplanması

KB ölçümleri tamamlandıktan sonra her bir ölçüm için hata oranları hesaplanmıştır. Çizelge 4.65’de çubuk elektrot ile disk veya Rogowski düzlem arasında 764 mmHg basınçta farklı açıklıklarda yapılan KB ölçümleri ve bu ölçümlerin ortalamaları yer almaktadır.

Çizelge 4.65 : Çubuk elektrot ile disk veya Rogowski düzlem arasında 764 mmHg basınçta ve farklı açıklıklarda KB ölçümleri ve ölçümlerin ortalamaları.

Elektrot yarıçapı (mm)	Düzlem	Basınç (mmHg)	Ölçüm	Ölçülen Değer (I) kV					Olasılıklı Değer (x) kV				
				Açıklık (cm)					Açıklık (cm)				
				1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
1	Disk	764	1.	6,82	7,67	7,99	8,57	9,08	6,40	7,28	7,73	8,08	9,00
			2.	6,42	7,05	7,74	7,8	8,98	6,40	7,28	7,73	8,08	9,00
			3.	5,96	7,12	7,45	7,88	8,94	6,40	7,28	7,73	8,08	9,00
1,5	Disk	764	1.	7,95	8,74	9,56	10,7	11,2	7,86	8,72	9,33	10,39	11,04
			2.	7,95	8,7	9,24	10,3	10,3	7,86	8,72	9,33	10,39	11,04
			3.	7,68	8,72	9,2	10,2	11,6	7,86	8,72	9,33	10,39	11,04
2	Disk	764	1.		10,8	12,1	12,8	14	0,00	9,88	11,73	12,77	13,35
			2.		9,3	11,5	12,7	12,8	0,00	9,88	11,73	12,77	13,35
			3.		9,5	11,6	12,8	13,3	0,00	9,88	11,73	12,77	13,35
1	Rogowski	764	1.	6,47	6,88	7,47	7,85	8,56	6,66	7,30	7,79	8,11	9,03
			2.	6,8	7,49	7,94	8,4	9,22	6,66	7,30	7,79	8,11	9,03
			3.	6,72	7,52	7,95	8,08	9,3	6,66	7,30	7,79	8,11	9,03
1,5	Rogowski	764	1.		8,82	9,68	10	10,7	0,00	8,84	9,42	10,52	11,23
			2.		8,8	9,4	10,8	11,7	0,00	8,84	9,42	10,52	11,23
			3.		8,9	9,18	10,8	11,3	0,00	8,84	9,42	10,52	11,23
2	Rogowski	764	1.		8,83	10,7	12,9	13,3	0,00	9,93	11,91	12,84	13,45
			2.		9,98	12,4	12,9	13,6	0,00	9,93	11,91	12,84	13,45
			3.		11	12,6	12,8	13,4	0,00	9,93	11,91	12,84	13,45

Çizelge 4.66’da çubuk elektrot ile disk veya Rogowski düzlem arasında 764 mmHg basınçta ve farklı açıklıklarda görünen hata ve görünen hatanın karesine ait hesaplama sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.66 : Çubuk elektrot ile disk veya Rogowski düzlem arasında 764 mmHg basınçta ve farklı açıklıklarda görünen hata ve görünen hatanın karesine ait hesaplama sonuçları.

Elektrot yarıçapı (mm)	Düzlem	Basınç (mmHg)	Ölçüm	Görünen Hata ($v=x-l$) kV					Görünen Hatanın Karesi (vv) kV				
				Açıklık (cm)					Açıklık (cm)				
				1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
1	Disk	764	1.	-0,42	-0,39	-0,26	-0,49	-0,08	0,1764	0,1521	0,0693	0,2368	0,0064
			2.	-0,02	0,23	-0,01	0,28	0,02	0,0004	0,0529	0,0002	0,0803	0,0004
			3.	0,44	0,16	0,28	0,20	0,06	0,1936	0,0256	0,0765	0,0413	0,0036
1,5	Disk	764	1.	-0,09	-0,02	-0,23	-0,26	-0,19	0,0081	0,0004	0,0514	0,0676	0,0374
			2.	-0,09	0,02	0,09	0,09	0,73	0,0081	0,0004	0,0087	0,0081	0,5280
			3.	0,18	0,00	0,13	0,17	-0,53	0,0324	0,0000	0,0178	0,0289	0,2844
2	Disk	764	1.	0,00	-0,96	-0,37	-0,05	-0,62	0,0000	0,9216	0,1394	0,0025	0,3885
			2.	0,00	0,58	0,23	0,07	0,57	0,0000	0,3364	0,0514	0,0049	0,3211
			3.	0,00	0,38	0,15	-0,02	0,06	0,0000	0,1444	0,0215	0,0004	0,0032
1	Rogowski	764	1.	0,19	0,42	0,32	0,26	0,47	0,0374	0,1736	0,1003	0,0676	0,2178
			2.	-0,14	-0,19	-0,15	-0,29	-0,19	0,0187	0,0374	0,0235	0,0841	0,0374
			3.	-0,06	-0,22	-0,16	0,03	-0,27	0,0032	0,0499	0,0267	0,0009	0,0747
1,5	Rogowski	764	1.	0,00	0,02	-0,26	0,52	0,58	0,0000	0,0004	0,0676	0,2669	0,3364
			2.	0,00	0,04	0,02	-0,25	-0,51	0,0000	0,0016	0,0004	0,0642	0,2601
			3.	0,00	-0,06	0,24	-0,26	-0,07	0,0000	0,0036	0,0576	0,0693	0,0049
2	Rogowski	764	1.	0,00	1,10	1,22	-0,01	0,12	0,0000	1,2027	1,4803	0,0000	0,0152
			2.	0,00	-0,05	-0,49	-0,04	-0,18	0,0000	0,0028	0,2434	0,0013	0,0312
			3.	0,00	-1,04	-0,72	0,04	0,05	0,0000	1,0885	0,5232	0,0019	0,0028

Çizelge 4.67’de çubuk elektrot ile disk veya Rogowski düzlem arasında 764 mmHg basınçta ve farklı açıklıklarda ortalama hata ve karesel ortalama hataya ait hesaplama sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.67 : Çubuk elektrot ile disk veya Rogowski düzlem arasında 764 mmHg basınçta ve farklı açıklıklarda ortalama hata ve karesel ortalama hataya ait hesaplama sonuçları.

Elektrot yarıçapı (mm)	Düzlem	Basınç (mmHg)	Ort. Hata ($t= v /n$) kV					Karesel Ort. Hata ($m=(vv /(n-1))^{1/2}$) kV				
			Açıklık (cm)					Açıklık (cm)				
			1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
1	Disk	764	0,2933	0,2600	0,1844	0,3244	0,0533	0,4303	0,3396	0,2702	0,4234	0,0721
1,5	Disk	764	0,1200	0,0133	0,1511	0,1733	0,4844	0,1559	0,0200	0,1973	0,2287	0,6519
2	Disk	764	0,0000	0,6400	0,2489	0,0467	0,4156	0,0000	0,8374	0,3258	0,0624	0,5970
1	Rogowski	764	0,1289	0,2778	0,2111	0,1933	0,3111	0,1721	0,3612	0,2743	0,2762	0,4061
1,5	Rogowski	764	0,0000	0,0400	0,1733	0,3444	0,3867	0,0000	0,0529	0,2506	0,4475	0,5484
2	Rogowski	764	0,0000	0,7311	0,8111	0,0289	0,1178	0,0000	1,0710	1,0599	0,0404	0,1570

Çizelge 4.68’de çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda yapılan KB ölçümleri ve bu ölçümlerin ortalamaları yer almaktadır.

Çizelge 4.68 : Çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda yapılan KB ölçümleri ve bu ölçümlerin ortalamaları.

Elektrot yarıçapı (mm)	Düzlem	Basınç (mmHg)	Ölçüm	Ölçülen değer (l) kV					Olasılıklı değer (x) kV				
				Açıklık (cm)					Açıklık (cm)				
				1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
1	Disk	551	1.	6,93	7,81	7,6	7,6	0,00	6,93	7,56	7,73	7,88	
			2.	6,9	7,39	7,81	8,01	0,00	6,93	7,56	7,73	7,88	
			3.	6,96	7,47	7,79	8,02	0,00	6,93	7,56	7,73	7,88	
1,5	Disk	551	1.	7,55	8,28	8,5	8,78	0,00	7,56	8,30	8,55	8,81	
			2.	7,5	8,3	8,66	8,8	0,00	7,56	8,30	8,55	8,81	
			3.	7,62	8,33	8,49	8,85	0,00	7,56	8,30	8,55	8,81	
2	Disk	551	1.		10,5	11,3	11,8	0,00	0,00	10,45	11,31	11,84	
			2.		10,4	11,3	11,8	0,00	0,00	10,45	11,31	11,84	
			3.		10,5	11,3	11,9	0,00	0,00	10,45	11,31	11,84	
1	Disk	441	1.	6,18	6,6	6,88	7,39	0,00	6,21	6,64	6,90	7,41	
			2.	6,2	6,65	6,9	7,4	0,00	6,21	6,64	6,90	7,41	
			3.	6,25	6,68	6,93	7,44	0,00	6,21	6,64	6,90	7,41	
1,5	Disk	441	1.	7,25	7,71	7,86	8,36	0,00	7,27	7,72	7,85	8,41	
			2.	7,28	7,77	7,9	8,41	0,00	7,27	7,72	7,85	8,41	
			3.	7,27	7,69	7,79	8,45	0,00	7,27	7,72	7,85	8,41	
2	Disk	441	1.		9,44	8,24	10,5	0,00	0,00	8,83	9,33	10,41	
			2.		8,6	9,89	10,3	0,00	0,00	8,83	9,33	10,41	
			3.		8,45	9,86	10,4	0,00	0,00	8,83	9,33	10,41	
1	Disk	331	1.	4,64	4,79	4,99	5,54	0,00	4,64	4,80	4,97	5,55	
			2.	4,6	4,8	4,9	5,51	0,00	4,64	4,80	4,97	5,55	
			3.	4,67	4,82	5,01	5,6	0,00	4,64	4,80	4,97	5,55	
1,5	Disk	331	1.	5,29	5,66	6,02	6,34	0,00	5,32	5,72	6,06	6,37	
			2.	5,32	5,8	6,1	6,4	0,00	5,32	5,72	6,06	6,37	
			3.	5,34	5,69	6,06	6,37	0,00	5,32	5,72	6,06	6,37	
2	Disk	331	1.		7,1	7,66	8,35	0,00	0,00	7,08	7,69	8,36	
			2.		7,05	7,7	8,34	0,00	0,00	7,08	7,69	8,36	
			3.		7,09	7,72	8,38	0,00	0,00	7,08	7,69	8,36	
1	Disk	220	1.	3,47	3,81	4,2	4,59	0,00	3,47	3,82	4,25	4,62	
			2.	3,45	3,85	4,26	4,62	0,00	3,47	3,82	4,25	4,62	
			3.	3,48	3,8	4,3	4,66	0,00	3,47	3,82	4,25	4,62	
1,5	Disk	220	1.	4,59	4,4	4,82	5,54	0,00	4,45	4,63	4,83	5,55	
			2.	4,34	4,82	4,88	5,5	0,00	4,45	4,63	4,83	5,55	
			3.	4,42	4,66	4,8	5,61	0,00	4,45	4,63	4,83	5,55	
2	Disk	220	1.		5,65	5,49	6,22	0,00	0,00	5,48	5,74	6,27	
			2.		5,3	5,92	6,3	0,00	0,00	5,48	5,74	6,27	
			3.		5,49	5,82	6,29	0,00	0,00	5,48	5,74	6,27	

Çizelge 4.69’da çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda görünen hata ve görünen hatanın karesine ait hesaplama sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.69 : Çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda görünen hata ve görünen hatanın karesine ait hesaplama sonuçları.

Elektrot yarıçapı (mm)	Düzlem	Basınç (mmHg)	Ölçüm	Görünen hata ($v=x-l$) kV					Görünen hatanın karesi (vv) kV				
				Açıklık (cm)					Açıklık (cm)				
				1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
1	Disk	551	1.	0,00	0,00	-0,25	0,13	0,28	0,0000	0,0000	0,0642	0,0178	0,0765
			2.	0,00	0,03	0,17	-0,08	-0,13	0,0000	0,0009	0,0278	0,0059	0,0178
			3.	0,00	-0,03	0,09	-0,06	-0,14	0,0000	0,0009	0,0075	0,0032	0,0205
1,5	Disk	551	1.	0,00	0,01	0,02	0,05	0,03	0,0000	0,0000	0,0005	0,0025	0,0009
			2.	0,00	0,06	0,00	-0,11	0,01	0,0000	0,0032	0,0000	0,0121	0,0001
			3.	0,00	-0,06	-0,03	0,06	-0,04	0,0000	0,0040	0,0007	0,0036	0,0016
2	Disk	551	1.	0,00	0,00	-0,05	0,03	0,06	0,0000	0,0000	0,0022	0,0009	0,0032
			2.	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,0000	0,0000	0,0028	0,0000	0,0000
			3.	0,00	0,00	-0,01	-0,03	-0,05	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009	0,0028
1	Disk	441	1.	0,00	0,03	0,04	0,02	0,02	0,0000	0,0009	0,0019	0,0005	0,0004
			2.	0,00	0,01	-0,01	0,00	0,01	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001
			3.	0,00	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03	0,0000	0,0016	0,0013	0,0007	0,0009
1,5	Disk	441	1.	0,00	0,02	0,01	-0,01	0,05	0,0000	0,0003	0,0002	0,0001	0,0022
			2.	0,00	-0,01	-0,05	-0,05	0,00	0,0000	0,0002	0,0022	0,0025	0,0000
			3.	0,00	0,00	0,03	0,06	-0,04	0,0000	0,0000	0,0011	0,0036	0,0019
2	Disk	441	1.	0,00	0,00	-0,61	1,09	-0,08	0,0000	0,0000	0,3721	1,1881	0,0069
			2.	0,00	0,00	0,23	-0,56	0,08	0,0000	0,0000	0,0529	0,3136	0,0059
			3.	0,00	0,00	0,38	-0,53	0,01	0,0000	0,0000	0,1444	0,2809	0,0000
1	Disk	331	1.	0,00	0,00	0,01	-0,02	0,01	0,0000	0,0000	0,0002	0,0005	0,0001
			2.	0,00	0,04	0,00	0,07	0,04	0,0000	0,0013	0,0000	0,0044	0,0016
			3.	0,00	-0,03	-0,02	-0,04	-0,05	0,0000	0,0011	0,0003	0,0019	0,0025
1,5	Disk	331	1.	0,00	0,03	0,06	0,04	0,03	0,0000	0,0007	0,0032	0,0016	0,0009
			2.	0,00	0,00	-0,08	-0,04	-0,03	0,0000	0,0000	0,0069	0,0016	0,0009
			3.	0,00	-0,02	0,03	0,00	0,00	0,0000	0,0005	0,0007	0,0000	0,0000
2	Disk	331	1.	0,00	0,00	-0,02	0,03	0,01	0,0000	0,0000	0,0004	0,0011	0,0000
			2.	0,00	0,00	0,03	-0,01	0,02	0,0000	0,0000	0,0009	0,0000	0,0003
			3.	0,00	0,00	-0,01	-0,03	-0,02	0,0000	0,0000	0,0001	0,0007	0,0005
1	Disk	220	1.	0,00	0,00	0,01	0,05	0,03	0,0000	0,0000	0,0001	0,0028	0,0011
			2.	0,00	0,02	-0,03	-0,01	0,00	0,0000	0,0003	0,0009	0,0000	0,0000
			3.	0,00	-0,01	0,02	-0,05	-0,04	0,0000	0,0002	0,0004	0,0022	0,0013
1,5	Disk	220	1.	0,00	-0,14	0,23	0,01	0,01	0,0000	0,0196	0,0514	0,0002	0,0001
			2.	0,00	0,11	-0,19	-0,05	0,05	0,0000	0,0121	0,0374	0,0022	0,0025
			3.	0,00	0,03	-0,03	0,03	-0,06	0,0000	0,0009	0,0011	0,0011	0,0036
2	Disk	220	1.	0,00	0,00	-0,17	0,25	0,05	0,0000	0,0000	0,0289	0,0642	0,0025
			2.	0,00	0,00	0,18	-0,18	-0,03	0,0000	0,0000	0,0324	0,0312	0,0009
			3.	0,00	0,00	-0,01	-0,08	-0,02	0,0000	0,0000	0,0001	0,0059	0,0004

Çizelge 4.70’de çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda ortalama hata ve karesel ortalama hataya ait hesaplama sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.70 : Çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı basınçlarda ve farklı açıklıklarda ortalama hata ve karesel ortalama hataya ait hesaplama sonuçları.

Elektrot yarıçapı (mm)	Düzlem	Basınç (mmHg)	Ort. Hata ($t= v /n$) kV					Karesel Ort. Hata ($m=(vv /(n-1))^{1/2}$) kV				
			Açıklık (cm)					Açıklık (cm)				
			1	1,5	2	2,5	3	1	1,5	2	2,5	3
1	Disk	551	0,0000	0,0200	0,1689	0,0889	0,1844	0,0000	0,0300	0,2230	0,1159	0,2397
1,5	Disk	551	0,0000	0,0422	0,0178	0,0733	0,0267	0,0000	0,0603	0,0252	0,0954	0,0361
2	Disk	551	0,0000	0,0000	0,0356	0,0200	0,0378	0,0000	0,0000	0,0503	0,0300	0,0551
1	Disk	441	0,0000	0,0267	0,0289	0,0178	0,0200	0,0000	0,0361	0,0404	0,0252	0,0265
1,5	Disk	441	0,0000	0,0111	0,0311	0,0400	0,0311	0,0000	0,0153	0,0416	0,0557	0,0451
2	Disk	441	0,0000	0,0000	0,4067	0,7267	0,0556	0,0000	0,0000	0,5336	0,9441	0,0802
1	Disk	331	0,0000	0,0244	0,0111	0,0444	0,0333	0,0000	0,0351	0,0153	0,0586	0,0458
1,5	Disk	331	0,0000	0,0178	0,0556	0,0267	0,0200	0,0000	0,0252	0,0737	0,0400	0,0300
2	Disk	331	0,0000	0,0000	0,0200	0,0222	0,0156	0,0000	0,0000	0,0265	0,0306	0,0208
1	Disk	220	0,0000	0,0111	0,0200	0,0356	0,0244	0,0000	0,0153	0,0265	0,0503	0,0351
1,5	Disk	220	0,0000	0,0933	0,1511	0,0311	0,0400	0,0000	0,1277	0,2120	0,0416	0,0557
2	Disk	220	0,0000	0,0000	0,1200	0,1689	0,0333	0,0000	0,0000	0,1752	0,2250	0,0436

Yapılan KB ölçümlerinde hesaplanan en büyük ortalama hata % 7,3 iken en küçük ortalama hata % 0,11 dir. Hesaplanan ortalama hataların büyük çoğunluğu % 5’ten küçüktür. Ayrıca hesaplanan ortalama hata değerlerinin yarısından fazlasında ise hata % 1’den küçüktür. Ölçüm cihazımızın hata oranı da %1’den küçük olduğu dikkate alındığında, yapılan ölçümlerin sonuçlarının doğruluğunun olabildiğince yüksek olduğu görülmektedir.



5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Karmaşık mühendislik problemlerinin kontrol edilebilir parçalar aracılığıyla çözümünü sağlayan Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY), pek çok mühendislik dalında tercih edilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemindeki temel mantık, çözüm bölgesinin çok sayıda, basit, küçük, birbirine bağlı, sonlu eleman adı verilen alt bölgelere ayırmaktır. Yani kısacası, SEY, birbirine çok sayıda düğüm noktalarıyla bağlanmış parçalara ayrılan problemin basite indirgenerek yaklaşık çözümünü sağlayan sayısal bir tekniktir.

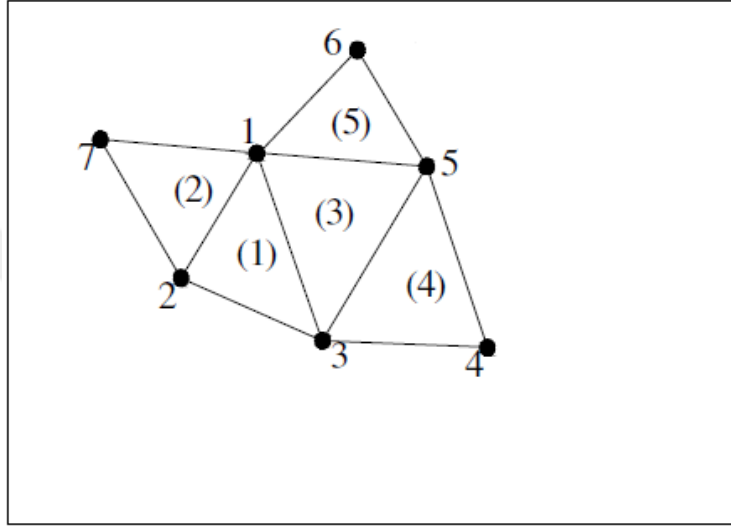
5.1 Sonlu Elemanlar Yönteminin Tarihçesi

1940'lı yıllarda inşaat mühendisliğinde çubuk ve kiriş elemanlar için kullanılmaya başlanan SEY, 1950'li yıllarda uçak sanayinde de kullanılmaya başlanmıştır. İlk kez 1960 yılında Clough tarafından “Sonlu Eleman” ifadesi kullanılmıştır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile güvenilirliği ve pratikliği artan yöntem, günümüzde neredeyse tüm mühendislik alanlarında kullanılmaktadır. Elektrik mühendisliği alanında özellikle manyetik ve elektrostatik problemlerin analizinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Chari ve diğ, 1993). Elektrik kablolarında kayıp ve ısı analizlerin yapılmasında sıklıkla kullanılan SEY, Türkiye’de TR 62095 numarası ile standartlaşmıştır.

5.2 Sonlu Elemanlar Yönteminin İlkesi

Sonlu elemanlar yönteminde öncelikle, yapı, düğüm noktaları içeren parçalara ayrılır. Her parçanın fiziksel büyüklüklerinin davranış tanımları yapıldıktan sonra, parçalar düğüm noktalarından bağlanılarak bütün yapı için yaklaşık bir denklem sistemi oluşturulur. Sistem denklemleri, düğüm noktalarındaki bilinmeyen değerler için çözüldükten sonra seçilen parçaların istenilen değerleri hesaplanır (Kalenderli, 2015).

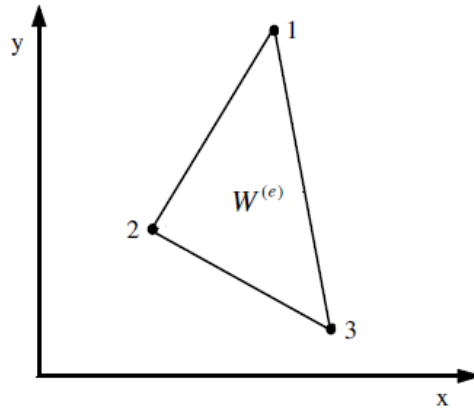
Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizlerde doğru sonuçlar almak için çözüm bölgesinin olabildiğince fazla sonlu elemana bölünmesi ve tanımsız bölge kalmaması çok önemlidir. Bölünen elemanlar ortak düğüm noktalarıyla birleştirilir. Şekil 5.1’de görüldüğü gibi çözüm bölgesi üçgen sonlu elemanlara ayrılmıştır. Parantez içinde gösterilen rakamlar, eleman sayılarını göstermektedir. Parantez içine alınmayan rakamlar ise düğüm noktalarını göstermektedir. Örneğin, 3 numaralı düğüm, 1 numaralı, 3 numaralı ve 4 numaralı elemanların sınır düğümüdür (Hutton, 2004).



Şekil 5.1 : Bir probleme ait çözüm bölgesinin sonlu elemanlar yöntemiyle elemanlara bölünmüş hali.

5.3 Sonlu Elemanlar Yönteminin Elektrostatik Problemlere Uygulanması

Şekil 5.2’de görülen bir üçgen eleman içinde tutulan ya da biriktirilen elektrik enerjisi $W^{(e)}$ dir (Kalenderli, 2015).



Şekil 5.2 : Üçgen bir sonlu eleman.

Söz konusu enerjiyi,

$$W = \frac{1}{2} D.E = \frac{1}{2} \varepsilon.E^2 \quad (5.1)$$

şeklinde yazarsak, sonlu elemanın enerjisi ise,

$$W^{(e)} = \frac{1}{2} \int \varepsilon |E|^2 dS = \frac{1}{2} \int \varepsilon \left| -\nabla V^{(e)} \right|^2 dS \quad (5.2)$$

olur. Enerjiyi matrislerden oluşacak şekilde yazmak için denklemini tekrar oluşturalım. Bunun için önce elemanın gerilimini yazalım (Kalenderli, 2015).

$$V(x, y) = V^{(e)} = \sum_{i=1}^3 \alpha_i(x, y).V_i \quad (5.3)$$

$$\nabla V^{(e)} = \sum_{i=1}^3 V_i. \nabla \alpha_i \quad (5.4)$$

$$\left| -\nabla V^{(e)} \right|^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 V_i.V_j. \nabla \alpha_i. \nabla \alpha_j \quad (5.5)$$

$$W^{(e)} = \frac{1}{2} \varepsilon \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 V_i \left| \int \nabla \alpha_i. \nabla \alpha_j. ds \right| V_j \quad (5.6)$$

Elemanın enerjisini, matrisler cinsinden yazalım,

$$W^{(e)} = \frac{1}{2} \varepsilon \left[V^{(e)} \right]^T \left[K^{(e)} \right] \left[V^{(e)} \right] \quad (5.7)$$

Düğüm potansiyelleri matrisi ve transpozesi,

$$[V^{(e)}] = \begin{bmatrix} V_1^{(e)} \\ V_2^{(e)} \\ V_3^{(e)} \end{bmatrix} \Rightarrow [V^{(e)}]^T = [V_1^{(e)} \ V_2^{(e)} \ V_3^{(e)}] \quad (5.8)$$

Sonlu eleman katsayılar matrisi,

$$[K^{(e)}] = \begin{bmatrix} K_{11}^{(e)} & K_{12}^{(e)} & K_{13}^{(e)} \\ K_{21}^{(e)} & K_{22}^{(e)} & K_{23}^{(e)} \\ K_{31}^{(e)} & K_{32}^{(e)} & K_{33}^{(e)} \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

Her elemanın katsayısını bulalım.

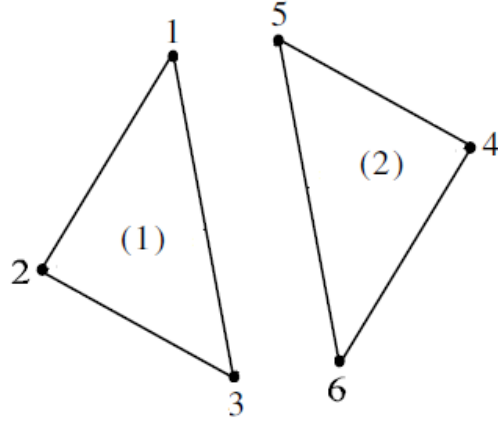
$$\int \nabla \alpha_i \cdot \nabla \alpha_j \cdot dS = K_{ij}^{(e)} \quad (5.10)$$

$$\alpha_i = \frac{1}{2S} (a_i + b_i x + c_i y) \quad (5.11)$$

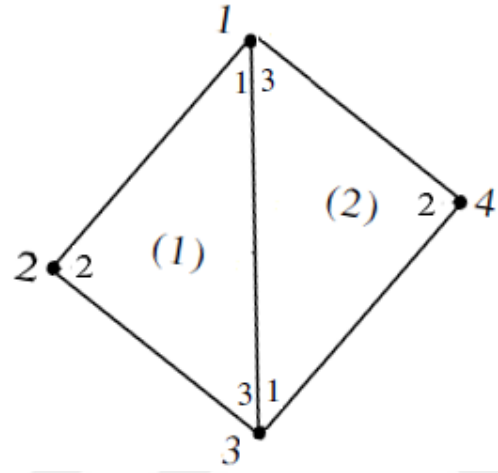
Elemanın katsayısı,

$$k_{ij}^{(e)} = \int \nabla \alpha_i \cdot \nabla \alpha_j \cdot dS = \frac{1}{4S} (b_i^{(e)} b_j^{(e)} + c_i^{(e)} c_j^{(e)}) \quad (5.12)$$

şeklindedir. Eleman katsayılarını bulduktan sonra sonlu elemanları birleştirebiliriz. Şekil 5.3’de görülen iki ayrı sonlu eleman, Şekil 5.4’de görüldüğü gibi birleştirilmiştir (Kalenderli, 2015).



Şekil 5.3 : İki ayrı üçgen sonlu eleman.



Şekil 5.4 : İki sonlu elemanın birleşmiş hali.

İki ayrı elemanın düğüm noktalarının gerilim matrisi,

$$[V]_{AYRIK}^T = [V_1 \ V_2 \ V_3 \ V_4 \ V_5 \ V_6] \quad (5.13)$$

şeklindedir. Birleştirilen elemanların düğüm noktalarının gerilim matrisi,

$$[V]_{BIRLESIK}^T = [V_1 \ V_2 \ V_3 \ V_4] \quad (5.14)$$

şeklinde olur. Katsayılar matrisi, (düğüm sayısı x düğüm sayısı) kadarlık bir matris olur. Dolayısıyla ayırık katsayılar matrisi (6x6) lık bir matristir (Kalenderli, 2015).

$$[K]_{AYRIK} = []_{6 \times 6} \quad (5.15)$$

Birleşik katsayılar matrisi ise (4x4) lük bir matris olur.

$$[K]_{BIRLESİK} = []_{4 \times 4} \quad (5.16)$$

Birleşik katsayılar matrisini bulalım. k_{11} ,

$$k_{11} = k_{11}^{(1)} + k_{33}^{(2)} \quad (5.17)$$

şeklinde olur. k_{12} ,

$$k_{12} = k_{12}^{(1)} = k_{21} \quad (5.18)$$

şeklinde olur. k_{13} ,

$$k_{13} = k_{13}^{(1)} + k_{31}^{(2)} = k_{31} \quad (5.19)$$

şeklinde olur. k_{14} ,

$$k_{14} = k_{23}^{(2)} = k_{41} \quad (5.20)$$

şeklinde olur. k_{22} ,

$$k_{22} = k_{22}^{(1)} \quad (5.21)$$

şeklinde olur. k_{23} ,

$$k_{23} = k_{23}^{(1)} = k_{32} \quad (5.22)$$

şeklinde olur. k_{24} ,

$$k_{24} = 0 = k_{42} \quad (5.23)$$

şeklinde olur. k_{33} ,

$$k_{33} = k_{33}^{(1)} + k_{11}^{(2)} \quad (5.24)$$

şeklinde olur. k_{34} ,

$$k_{34} = k_{12}^{(2)} = k_{43} \quad (5.25)$$

şeklinde olur. k_{44} ,

$$k_{44} = k_{22}^{(2)} \quad (5.26)$$

olur. Birleştirilmiş elemanların enerjisi ise,

$$W = \frac{1}{2} \varepsilon [V]^T [K]_B [V] \quad (5.27)$$

şeklinde elde edilir.



6. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE MODELLEME

Bir elektrostatik problemin sonlu elemanlar yöntemiyle çözümü için Poisson ve Laplace denklemleri kullanılır. Öncelikle denklem 6.1’de görülen Gauss yasası denklemini yazılır.

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (6.1)$$

Denklem 6.1’i tekrar yazarsak denklem 6.2 elde edilir.

$$\nabla \cdot (-\nabla V) = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (6.2)$$

Denklem 6.2’i tekrar yazarsak denklem 6.3’de görülen Poisson denklemini elde edilir.

$$\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (6.3)$$

Ortamda yük olmaması durumunda denklem 6.4’de görülen Laplace denklemini ulaşılır.

$$\nabla^2 V = 0 \quad (6.4)$$

Böylelikle herhangi bir koordinat sisteminde iki boyutlu Laplace denlemi, denklem 6.5’de görüldüğü haliyle elde edilir.

$$\frac{d^2 V}{d\xi^2} + \frac{d^2 V}{d\psi^2} = 0 \quad (6.5)$$

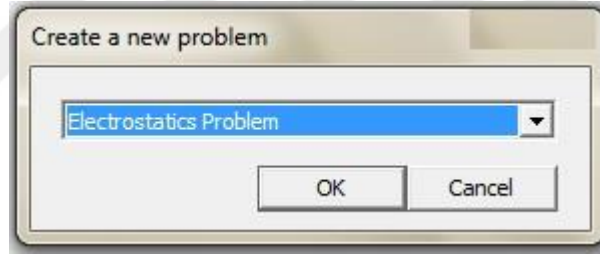
Sonlu elemanlar yöntemiyle bir problemin incelenmesinde, günümüzde bilgisayar yazılımı kullanılmaktadır, inceleme yapmak istenilen bölge sonlu elemanlara bölünür. Bunun için genellikle üçgen sonlu elemanlar kullanılır. Daha sonra sınır koşulları, bilinen gerilimler ve malzeme özellikleri de girilir. Girilen bu değerler, FEMM 4.2 programı kullanılarak problem çözülür.

6.1 FEMM Programıyla Modelleme Yapılması

FEMM 4.2 bilgisayar yazılımı kullanarak elektrik mühendisliği alanında birçok problem sonlu elemanlar yöntemiyle basite indirgenerek analiz edilebilir. Söz konusu bilgisayar programı aracılığıyla problemin oluşturulması ve çözümü için belirli aşamalar vardır.

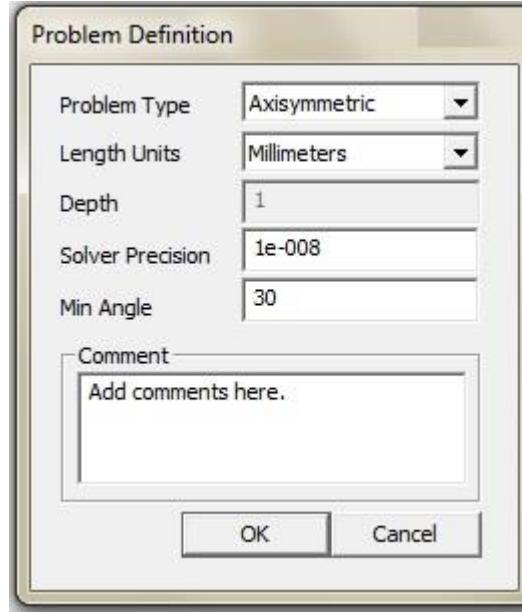
6.1.1 Problemin oluşturulması

FEMM 4.2 programında elektrik alan ve atlama gerilimleri üzerinde çalışacağımız için Şekil 6.1’de görüldüğü üzere programın Elektrostatik Problem alanı seçilir.



Şekil 6.1 : FEMM 4.2 programı çalışma alanı seçimi.

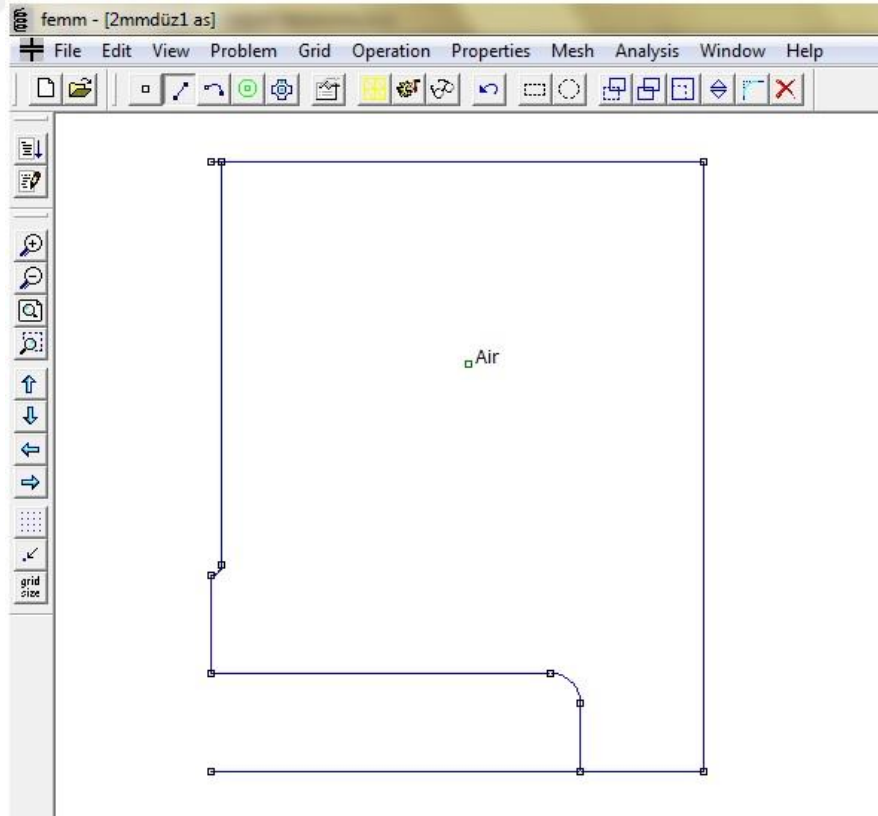
Çalışma alanı seçildikten sonra problem tanımı yapılır. İlgili tanımlama yapılırken Şekil 6.2’de görüldüğü gibi problem tipi ve çalışacağımız uzunluk birimi seçilir. Elektrik alan çalışmaları yapılacağı için problem tipi, eksenel simetrik problem seçilir ve problem çizimi yapılırken, dikey eksene göre şekiller yarım çizilir.



Şekil 6.2 : FEMM 4.2 programı problem tanımı.

6.1.2 Problemin çizilmesi

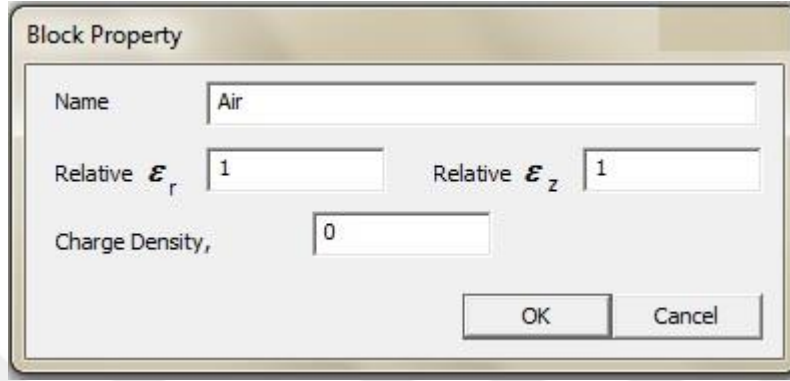
Problem tanımı yapıldıktan sonra çözüm aradığımız probleme ilişkin çizim yapılır. Şekil 6.3’de görülen ekran görüntüsünde olduğu gibi nokta, çizgi, eğri sekmeleri kullanılabilir.



Şekil 6.3 : FEMM 4.2 programı ekran görüntüsü.

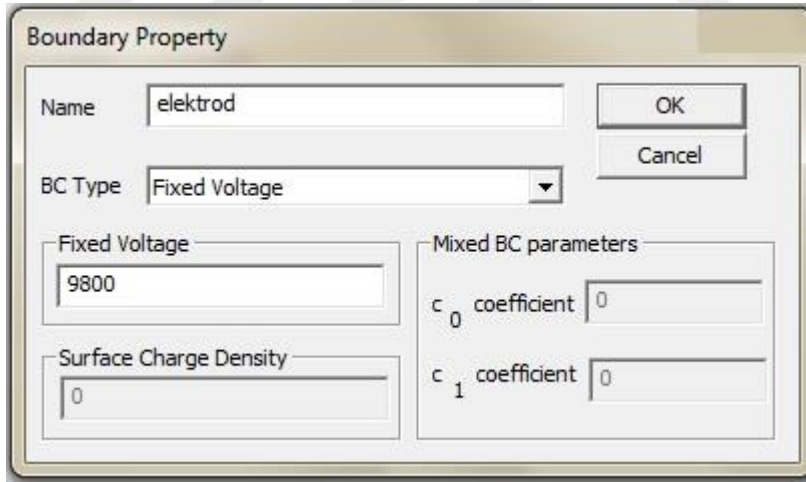
6.1.3 Materyal özellikleri ve sınır değerlerin girilmesi

Problem çizimi tamamlandıktan sonra materyal özellikleri girilmelidir. Program içerisinde daha önce tanımlanmış materyaller de kullanılabilir. Şekil 6.4’de havaya ait özellik tanımları girilmiştir.

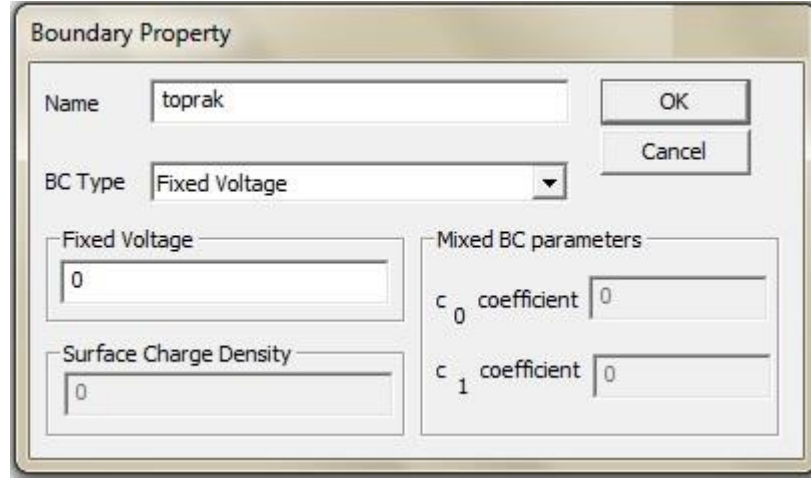


Şekil 6.4 : FEMM 4.2 programı materyal özelliklerinin tanımlanması.

Materyal özelliklerinin girilmesinden sonra sınır değerlerinin girilmesi gerekir. Şekil 6.5’de elektrot sınır değerleri, Şekil 6.6’da toprak sınır değerleri görülmektedir. Elektrot sınır değeri olarak Dirichlet sınır koşulu girilmiştir.



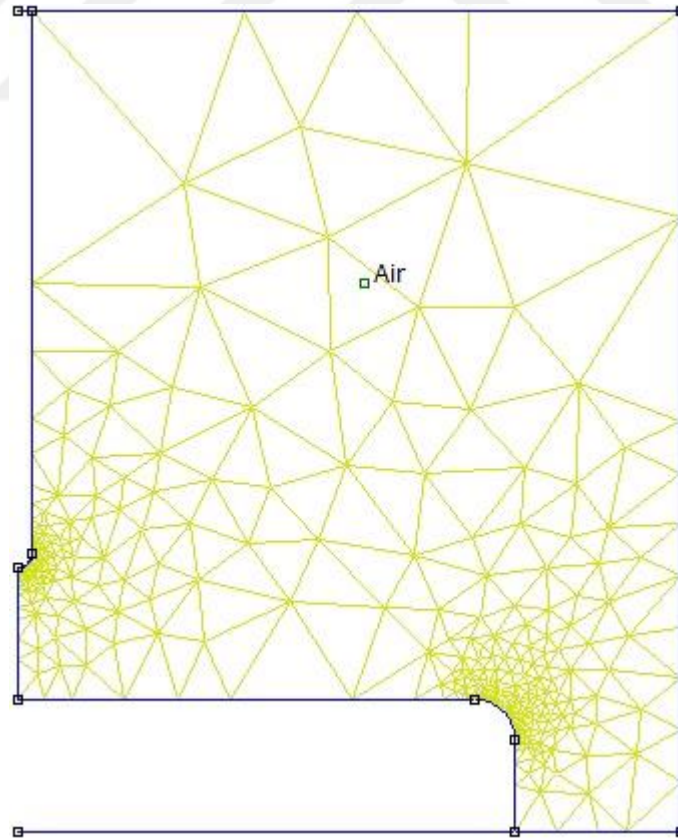
Şekil 6.5 : FEMM 4.2 programı elektrot sınır değerlerinin tanımı.



Şekil 6.6 : FEMM 4.2 programı toprak sınır değerlerinin tanımı.

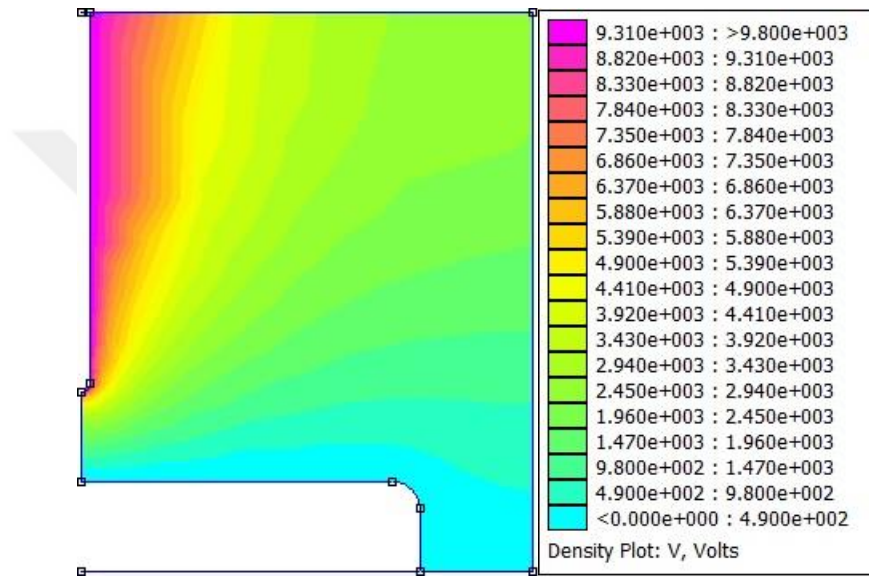
6.1.4 Problemin sonlu elemanlara bölünmesi

Problem çizimi, materyal ve sınır değerlere ait tanımlamalar tamamlandıktan sonra problemin çözümüne geçilir. Problemin çözümü yapılırken önce ilgili problem alanı birbirine bağlı küçük parçalara ayrılır. Şekil 6.7’de görüldüğü gibi bu programda üçgen sonlu elemanlar kullanılmıştır.

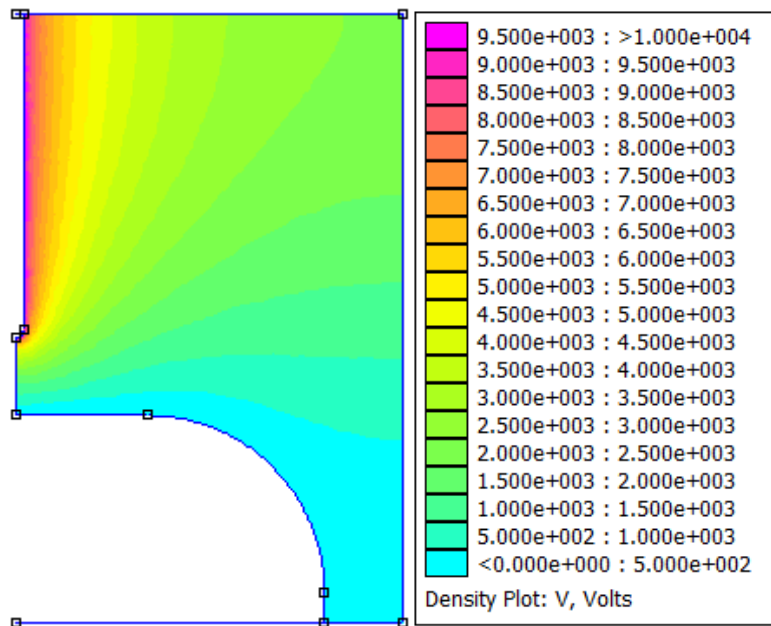


Şekil 6.7 : FEMM 4.2 programı problem tanımı.

Problemi sonlu elemanlara ayırdıktan sonra problem analizinin program üzerinden yapılması ve sonuçların alınması için analizi başlat ve sonuçları gör tuşlarına basmak yeterlidir. Şekil 6.8’de ve Şekil 6.9’da çubuk elektrot-disk düzlem ve çubuk elektrot-Rogowski düzlem FEMM 4.2 programı potansiyel dağılımı görülmektedir. Programda problem oluştururken eksenel simetrik tipi problem seçtiğimiz için dikey eksene göre şekilleri yarım olarak çizdik, dolayısıyla sonuç ekran görüntülerini de aynı şekilde görmekteyiz.

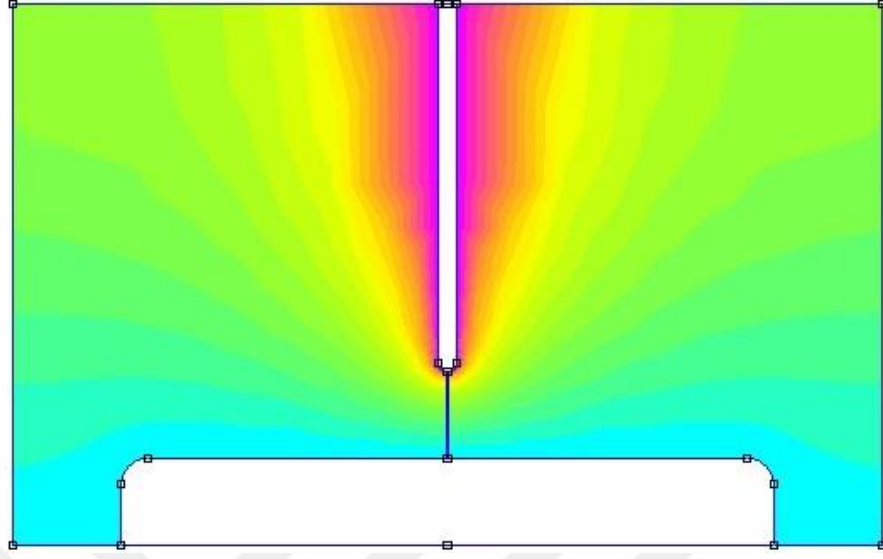


Şekil 6.8 : FEMM 4.2 programında çubuk elektrot-disk düzlem potansiyel dağılımı.

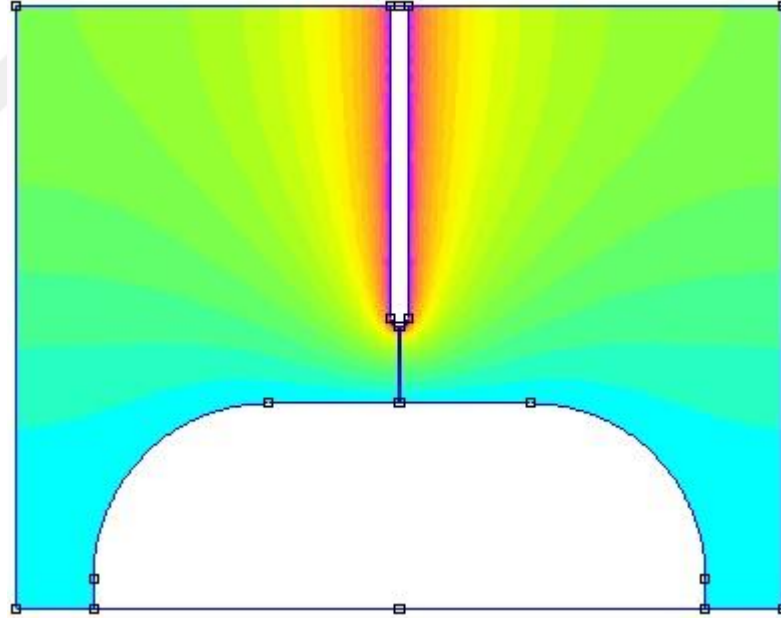


Şekil 6.9 : FEMM 4.2 programında çubuk elektrot-Rogowski düzlem gerilim dağılımı.

Aynalama yöntemini kullanarak şekilleri bütün hale getirebiliriz. Şekil 6.10'da ve Şekil 6.11'de aynalama yöntemiyle tamamlanmış halleri görünmektedir.

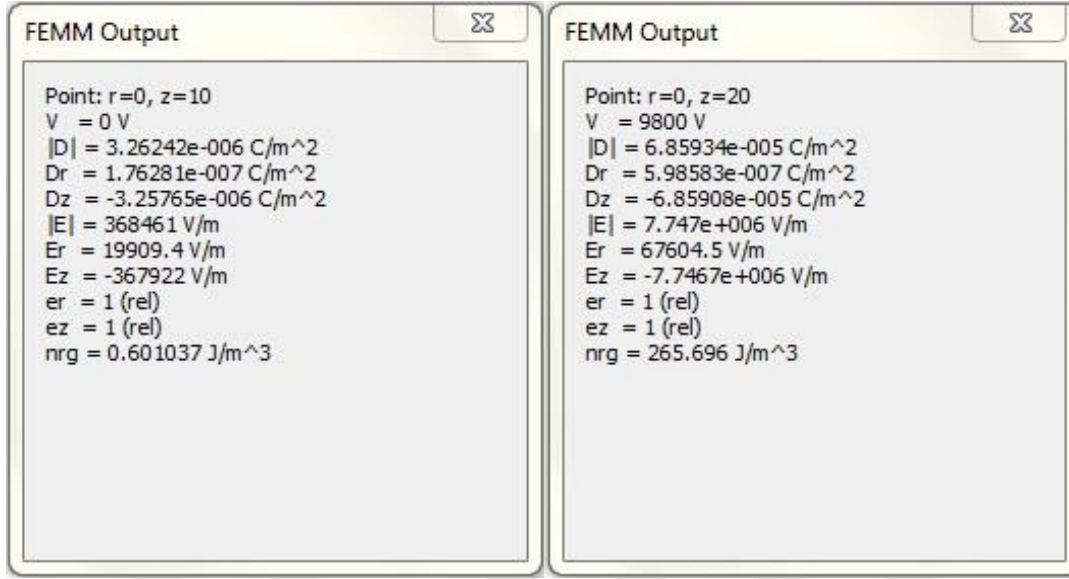


Şekil 6.10 : Aynalama yöntemiyle tamamlanmış FEMM 4.2 programı çubuk elektrot-disk düzlem gerilim dağılımı.



Şekil 6.11 : Aynalama yöntemiyle tamamlanmış FEMM 4.2 programı çubuk elektrot-Rogowski düzlem gerilim dağılımı.

Şekil 6.12’de FEMM programında noktasal sonuç analizleri yer almaktadır.



Şekil 6.12 : FEMM 4.2 programı noktasal sonuç analizleri.

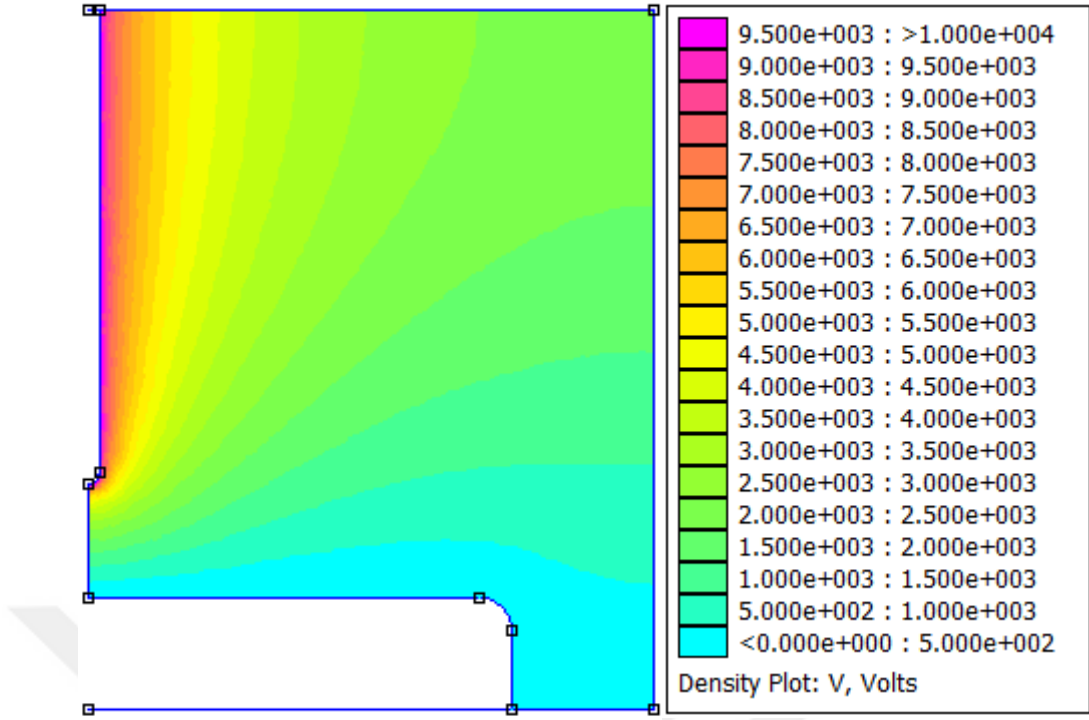
6.2 Elektrot Düzlem Sisteminin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi

Laboratuvar ortamında deneyleri yapılan elektrot düzlem sistemi, FEMM yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle basite indirgenmiş ve modellenmesi yapılarak incelenmiştir. Modellemenin amacı, laboratuvar ortamında elde edilen sonuçları, modelleme ile elde edilen sonuçlarla kıyaslayarak, sistem davranışı hakkında fikir sahibi olmaktır.

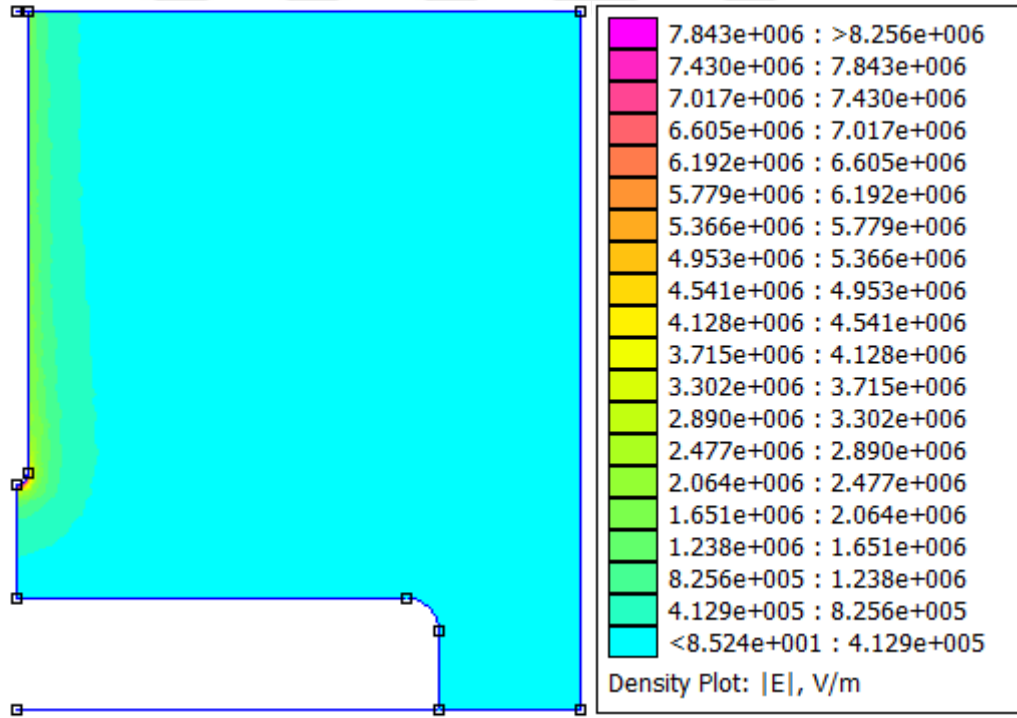
6.2.1 Disk düzlemde modellerin oluşturulması

1-2-3 mm yarıçaplı elektrotlar, disk düzlem ile 5 farklı açıklıkta olacak şekilde FEMM 4.2 programı kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Elektrot ile düzlem arasında hava dışında yalıtkan malzeme kullanılmamıştır ve elektrot sınır değeri 10 kV, toprak sınır değeri de 0 V olarak girilmiştir.

Şekil 6.13’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta potansiyel dağılımı, Şekil 6.14’de elektrik alan dağılımı görülmektedir.

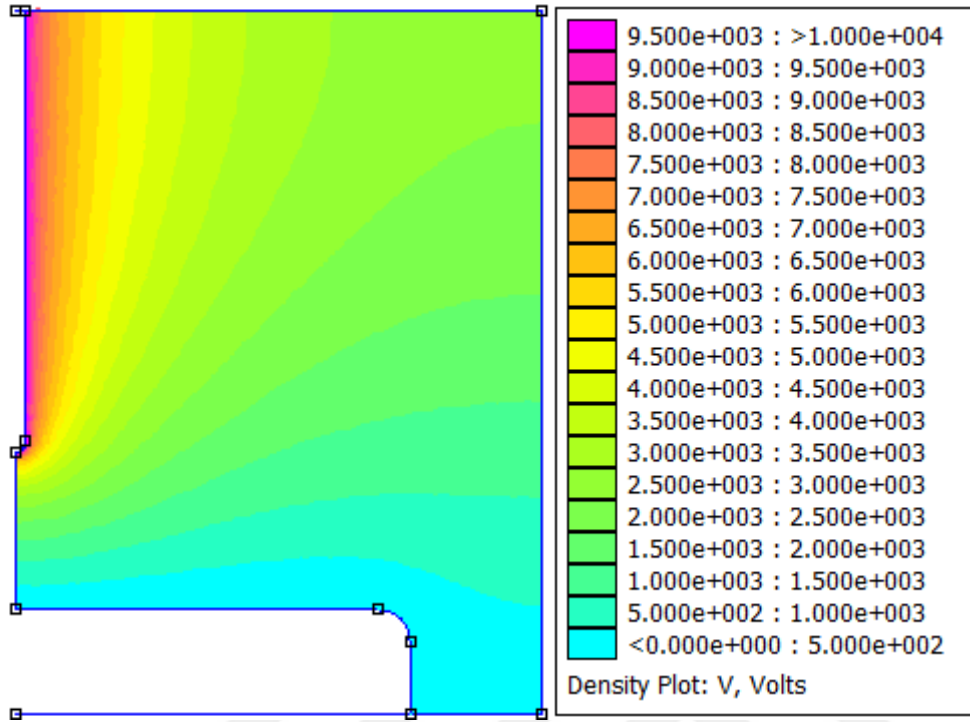


Şekil 6.13 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.

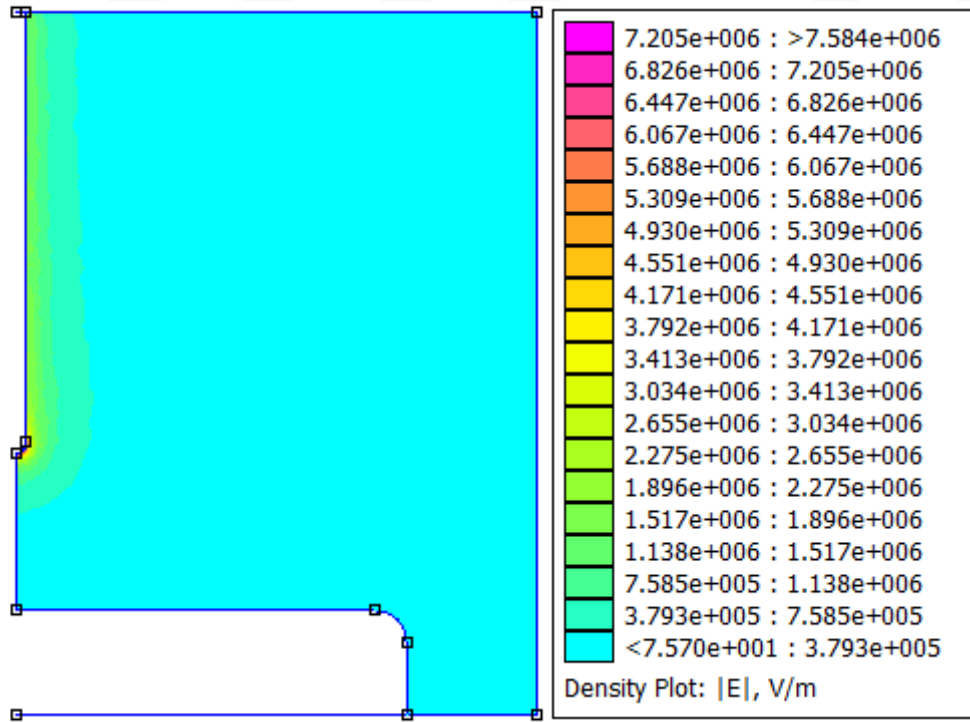


Şekil 6.14 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.

Şekil 6.15’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta potansiyel dağılımı, Şekil 6.16’da elektrik alan dağılımı görülmektedir.

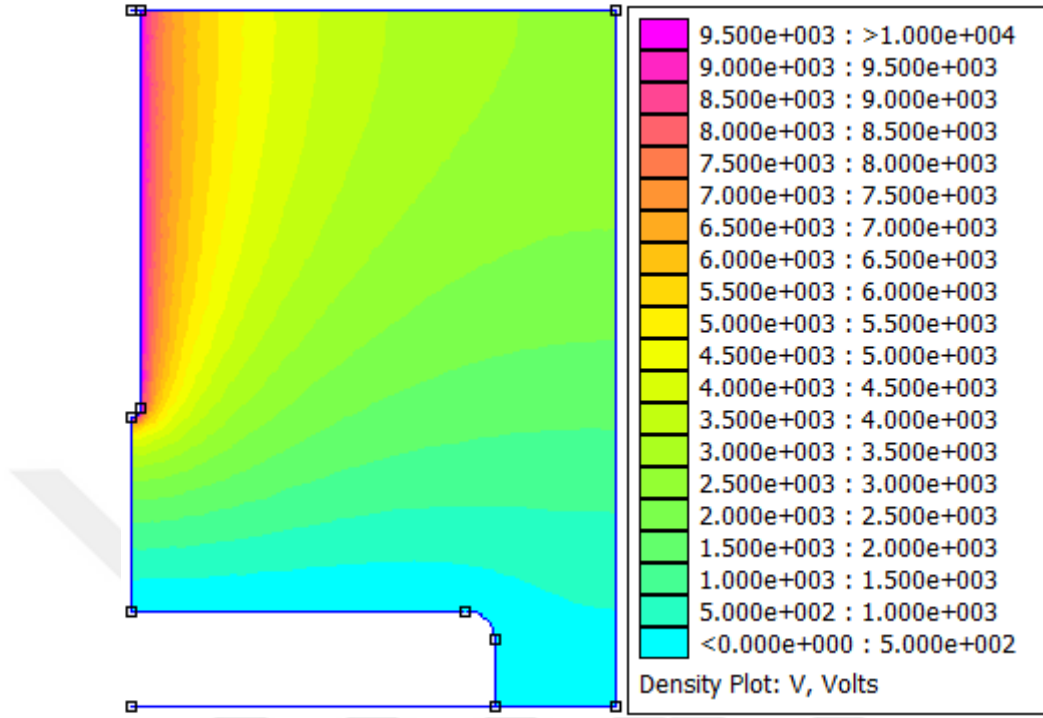


Şekil 6.15 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.

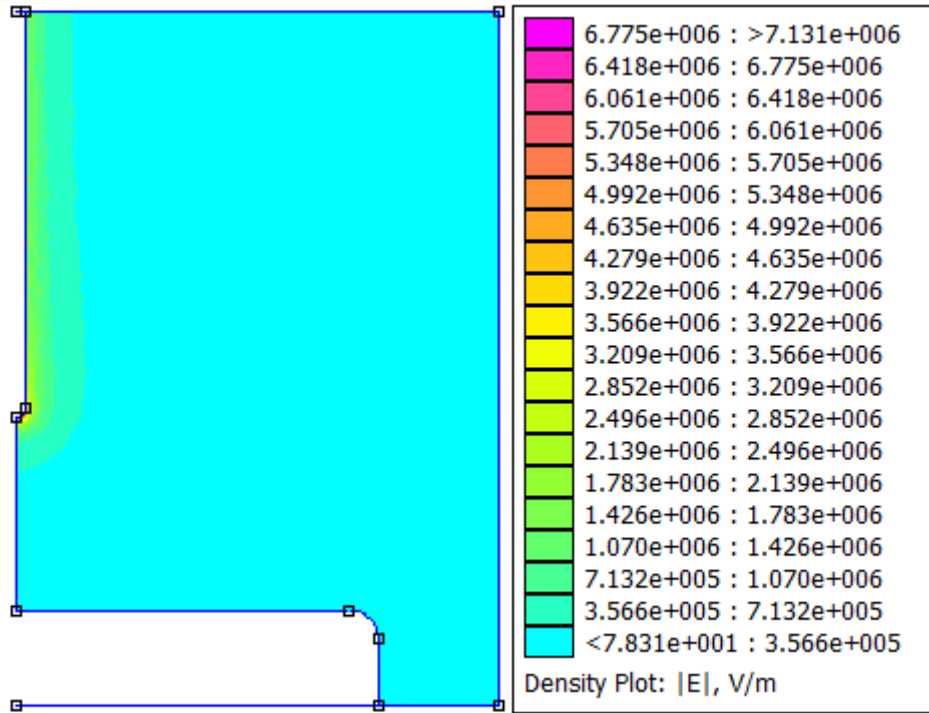


Şekil 6.16 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.

Şekil 6.17’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta potansiyel dağılımı, Şekil 6.18’de elektrik alan dağılımı görülmektedir.

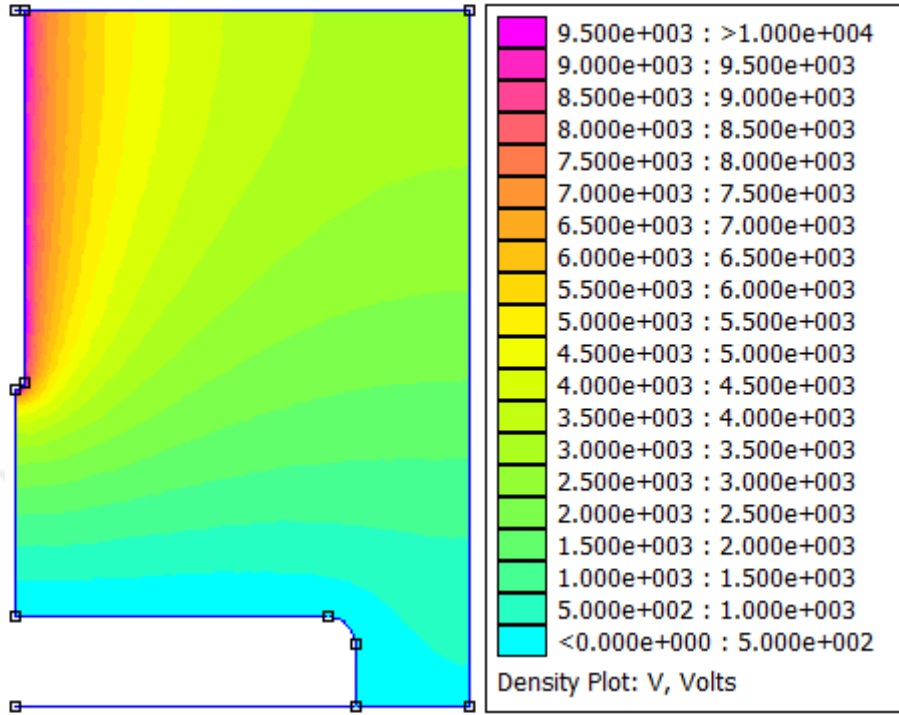


Şekil 6.17 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.

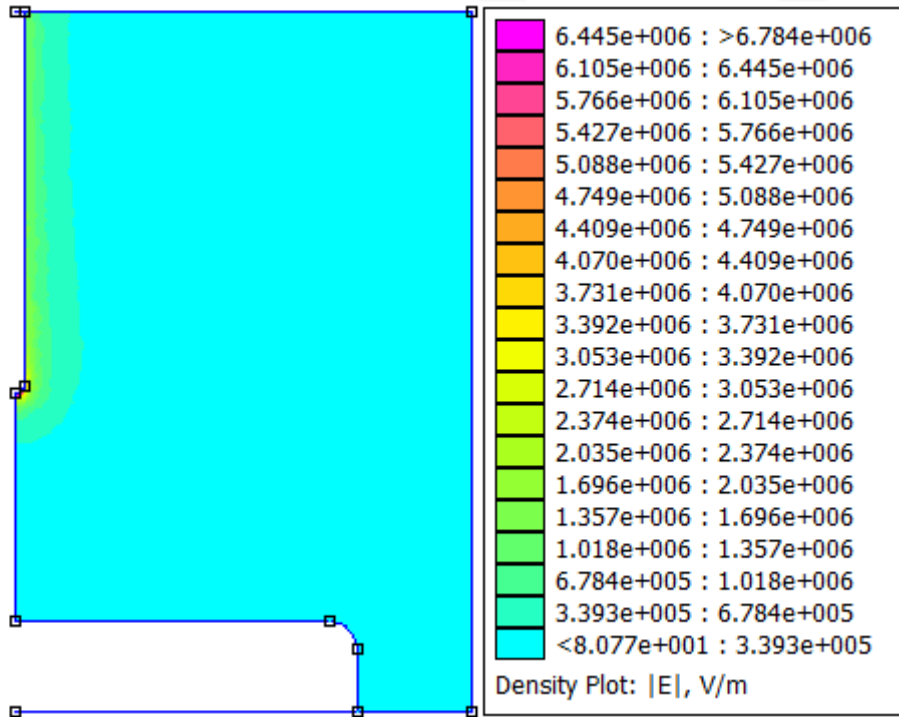


Şekil 6.18 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.

Şekil 6.19’da 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta potansiyel dağılımı, Şekil 6.20’de elektrik alan dağılımı görülmektedir.

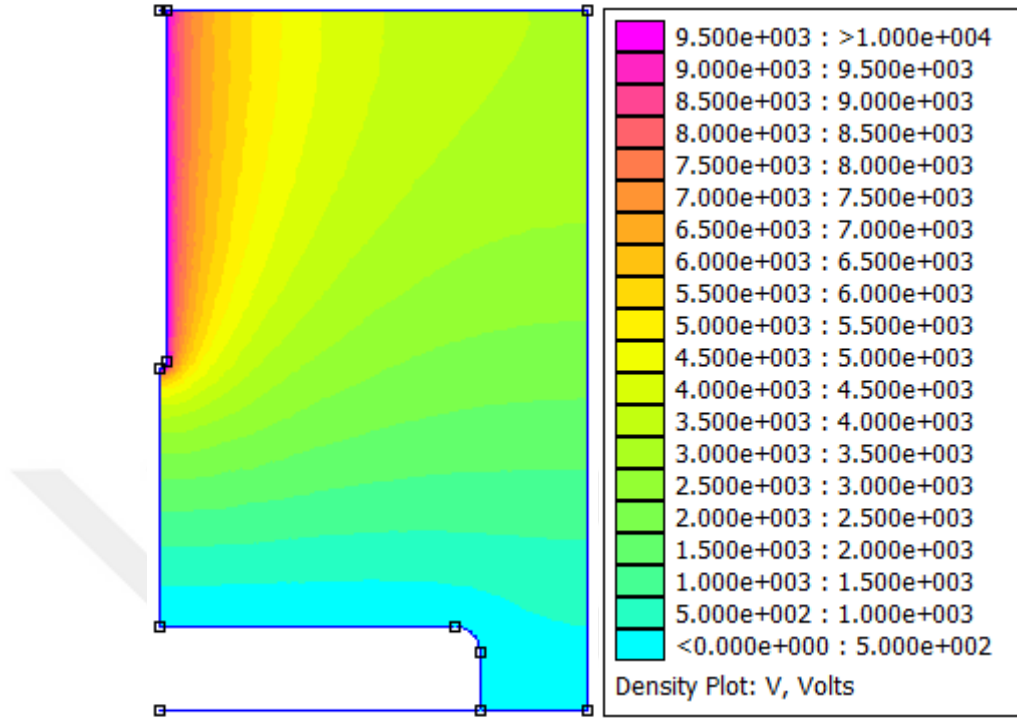


Şekil 6.19 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.

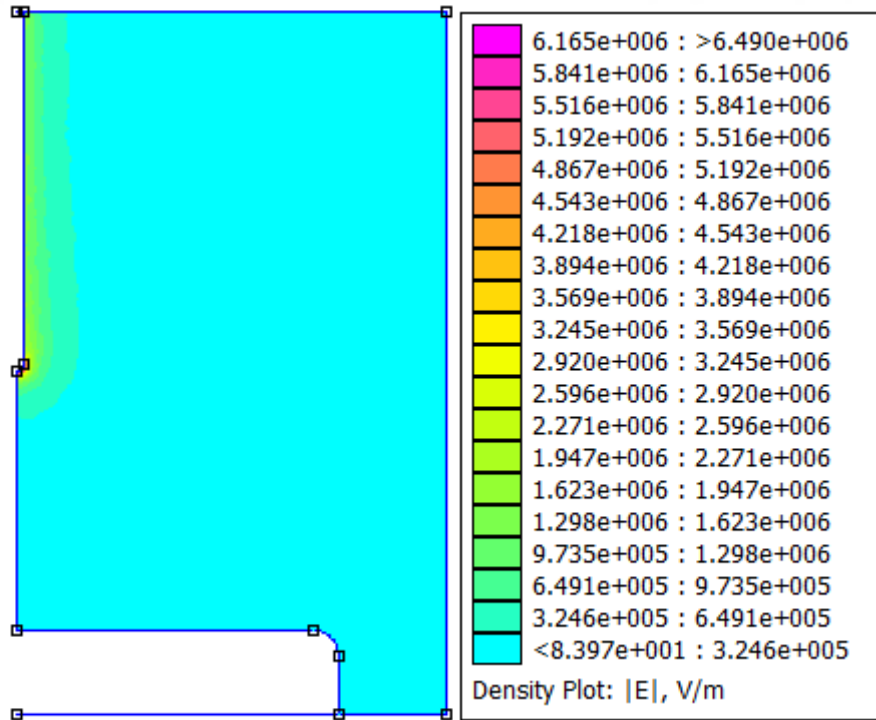


Şekil 6.20 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.

Şekil 6.21’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta potansiyel dağılımı, Şekil 6.22’de elektrik alan dağılımı görülmektedir.



Şekil 6.21 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



Şekil 6.22 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.

1,5 mm ve 2 mm yarıçaplı elektrot ile disk düzlem ile arasında 1-1,5-2-2,5-3 cm açıklıklarda yapılan modellemelere ait çizelge ve şekiller Ek F’de yer almaktadır.

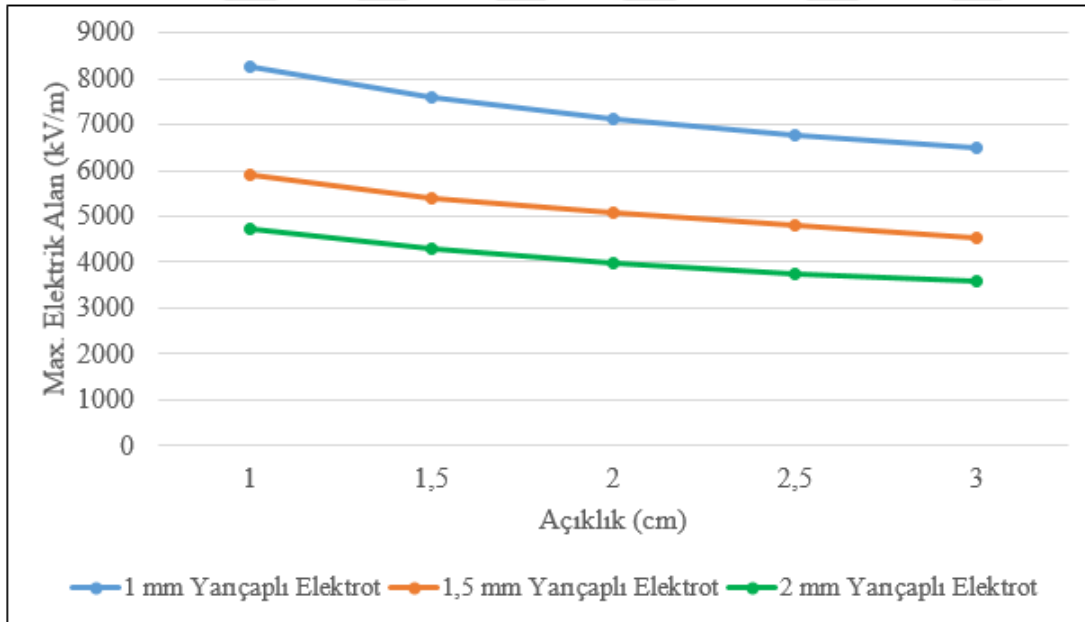
6.2.2 Disk düzlemde benzetim sonuçları

Çizelge 6.1’de çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda max. elektrik alanları görülmektedir.

Çizelge 6.1 : Çubuk elektrot ile disk düzlem farklı açıklıklarda max. elektrik alanları.

Açıklık (cm)	Max. Elektrik Alan (kV/m)		
	1 mm Yarıçaplı Elektrot	1,5 mm Yarıçaplı Elektrot	2 mm Yarıçaplı Elektrot
1	8255,658	5900,824	4736,906
1,5	7584,300	5377,078	4277,122
2	7131,108	5059,542	3983,683
2,5	6783,718	4801,857	3751,517
3	6489,821	4524,474	3570,170

Şekil 6.23’de çubuk elektrot ile düzlem farklı açıklıklarda max. elektrik alanlarına ilişkin grafik görülmektedir.



Şekil 6.23 : Çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda max. elektrik alanları.

İlgili çizelge ve grafik incelendiğinde, aynı yarıçaplı elektrotun düzlem ile arasındaki açıklık arttırıldığında max. elektrik alanının azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde,

elektrot ile düzlem arasındaki açıklık sabit kalmak koşuluyla elektrot yarıçapının artması da max. elektrik alanının azalmasına sebep olmaktadır.

Elektrik alanının değişmesi, atlama ve delinme gerilimlerinin belirlenmesi açısından son derece önemlidir. Elektrot ile düzlem arasındaki açıklık, en az olduğu durumda en büyük elektrik alanının elde edilmiş olması, elektrot ve düzlemin birbirine yaklaştıkça atlama ve delinme riskinin artmasına sebep olduğu gerçeğini göstermektedir. Elde edilen modelleme sonuçlarına göre, aynı açıklıkta elektrot yarıçapının küçülmesi de elektrik alanının artmasına dolayısıyla atlama ve delinme riskinin yükselmesine sebep olmaktadır.

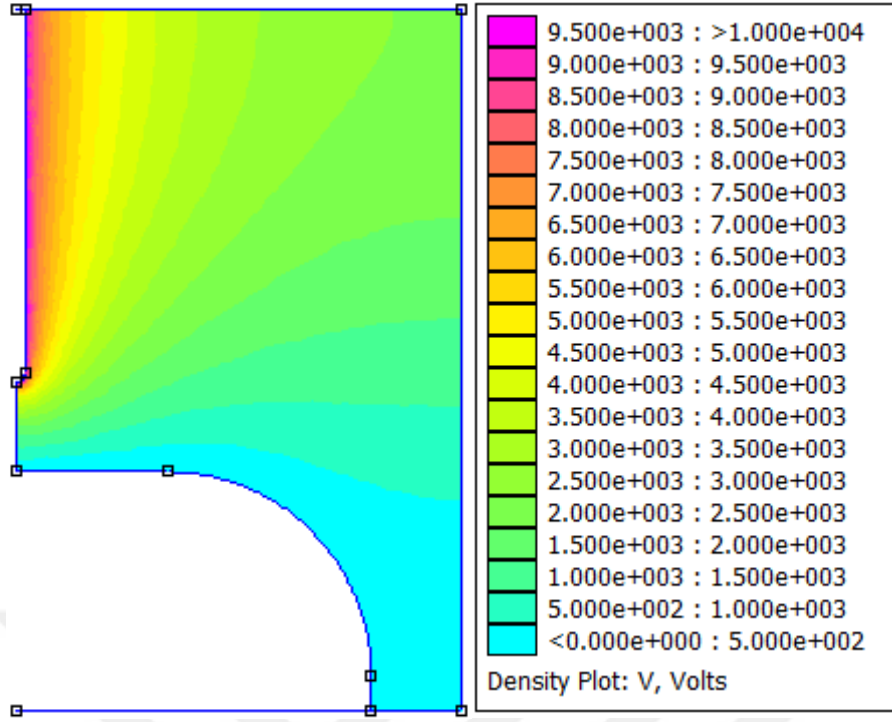
Sonuçlar, kısmi boşalma açısından değerlendirildiğinde, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen KB ölçüm sonuçlarının, FEMM programında elde edilen sonuçlarla paralel olduğu görülmektedir. Örneğin, sonuçları Çizelge 4.59’da görülen kısmi boşalma ölçümlerinde, KB başlangıç geriliminin, açıklık arttıkça veya aynı açıklıkta elektrot yarıçapı büyüdükçe yükseldiğini görmüştük. Dolayısıyla, aynı gerilim altında ve diğer fiziksel ve ortam koşullarını aynı olması durumunda, açıklığın azalması veya aynı açıklıkta elektrot yarıçapının küçülmesi, max. elektrik alanı arttırmaktadır ve dolayısıyla kısmi boşalma riskini de arttırmaktadır.

Yaptığımız modelleme, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen sonuçları desteklemektedir. Dolayısıyla, gerçekleştirilen bu çalışma, deneysel olarak yapılan atlama ve delinme gerilimi belirleme veya KB ölçüm deneylerinde öngörü elde edilmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, sistem davranışını anlama açısından da faydalı olabilir.

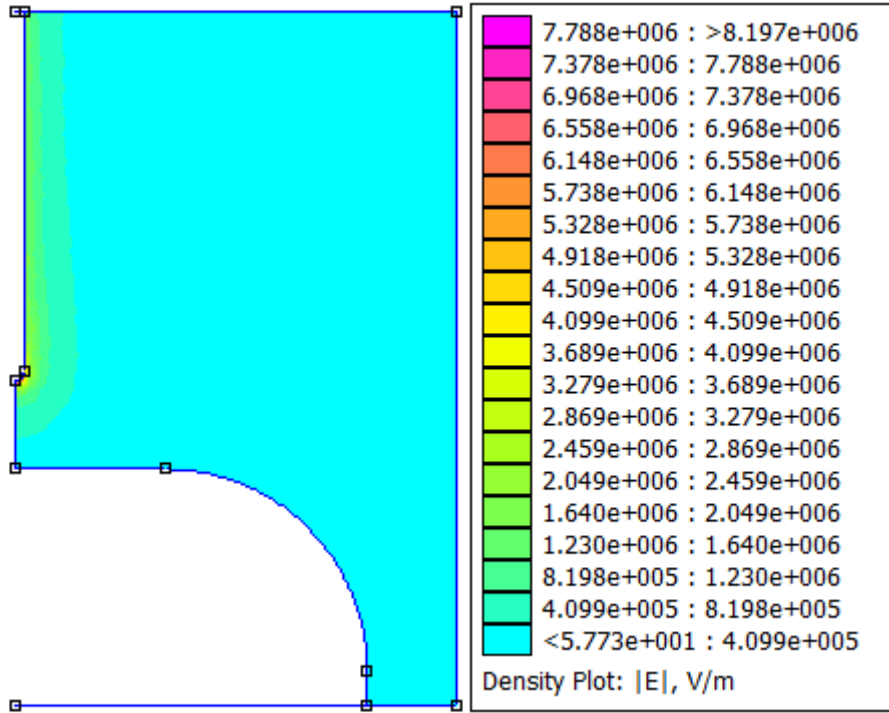
Sunulan çalışmada yapılanlara ek olarak, elektrot ile düzlem arasında farklı dielektrik malzeme kullanımı, elektrot ve/veya düzlem üzerinde pürüzlerin dikkate alınması gibi modeller de yapılabilir.

6.2.3 Rogowski düzlemde modellerin oluşturulması

Şekil 6.24’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta potansiyel dağılımı, Şekil 6.25’de elektrik alan dağılımı görülmektedir.

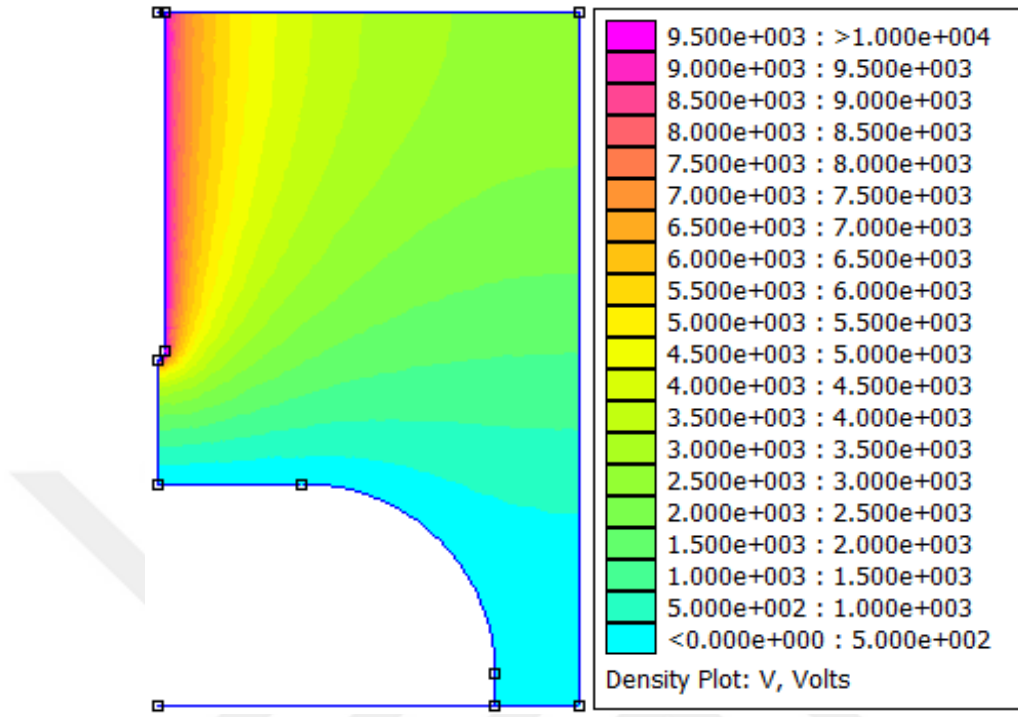


Şekil 6.24 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.

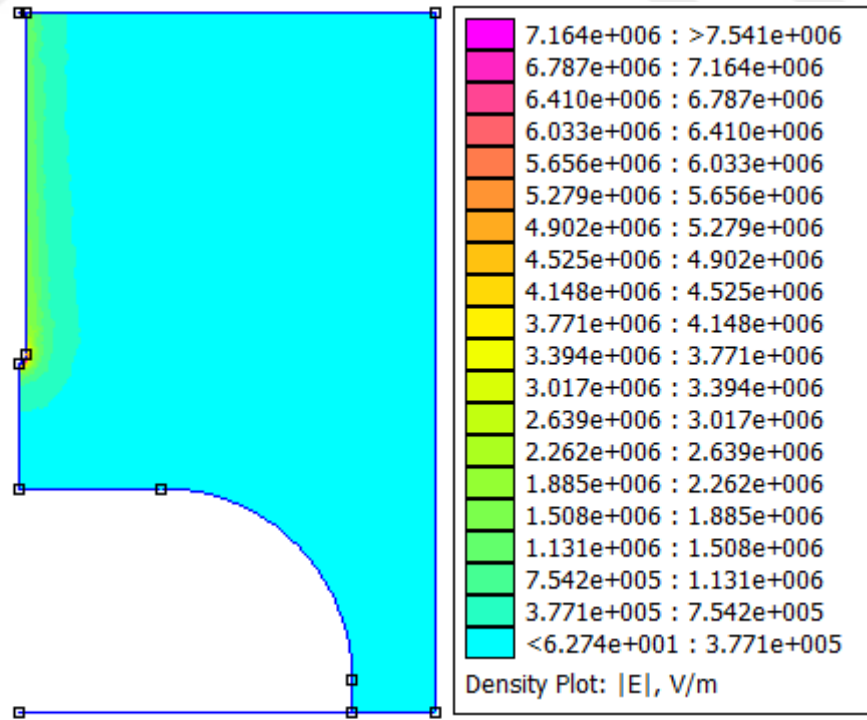


Şekil 6.25 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.

Şekil 6.26'da 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta potansiyel dağılımı, Şekil 6.27'de elektrik alan dağılımı görülmektedir.

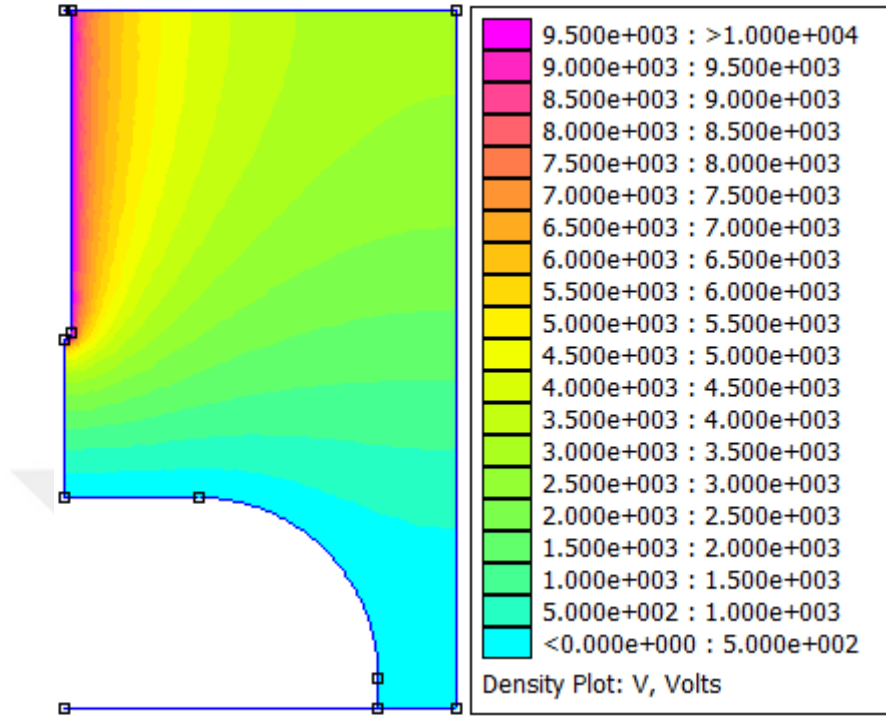


Şekil 6.26 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.

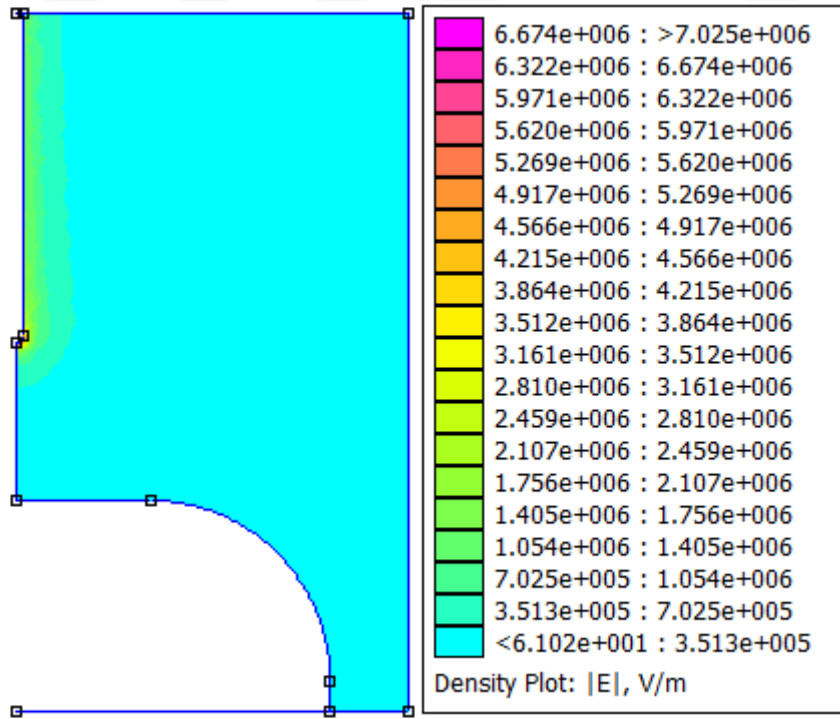


Şekil 6.27 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.

Şekil 6.28’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta potansiyel dağılımı, Şekil 6.29’da elektrik alan dağılımı görülmektedir.

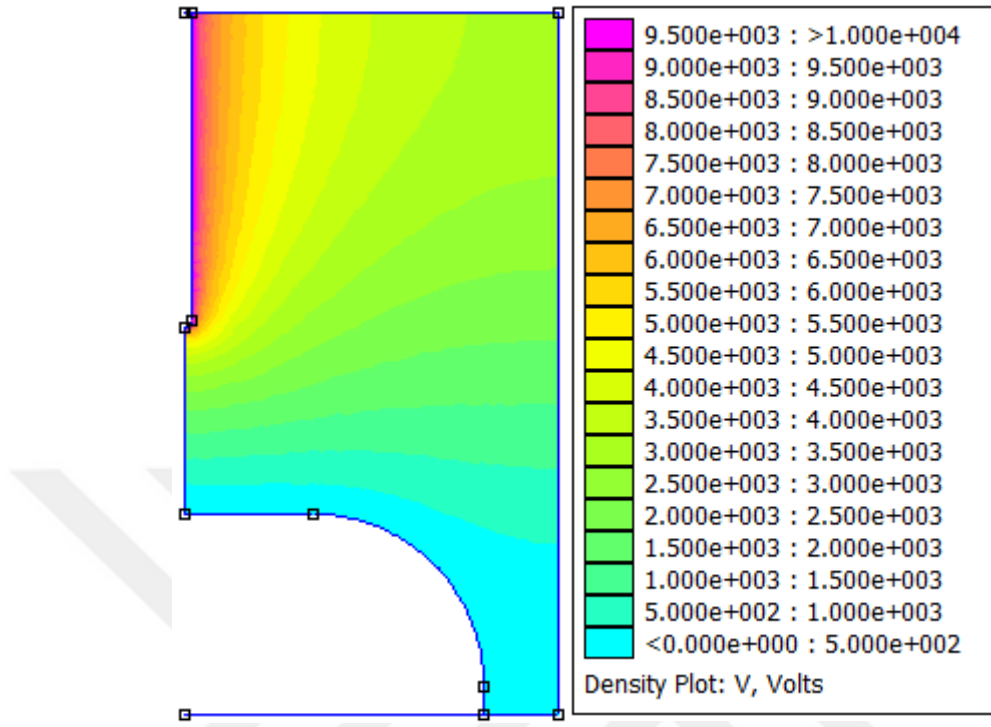


Şekil 6.28 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.

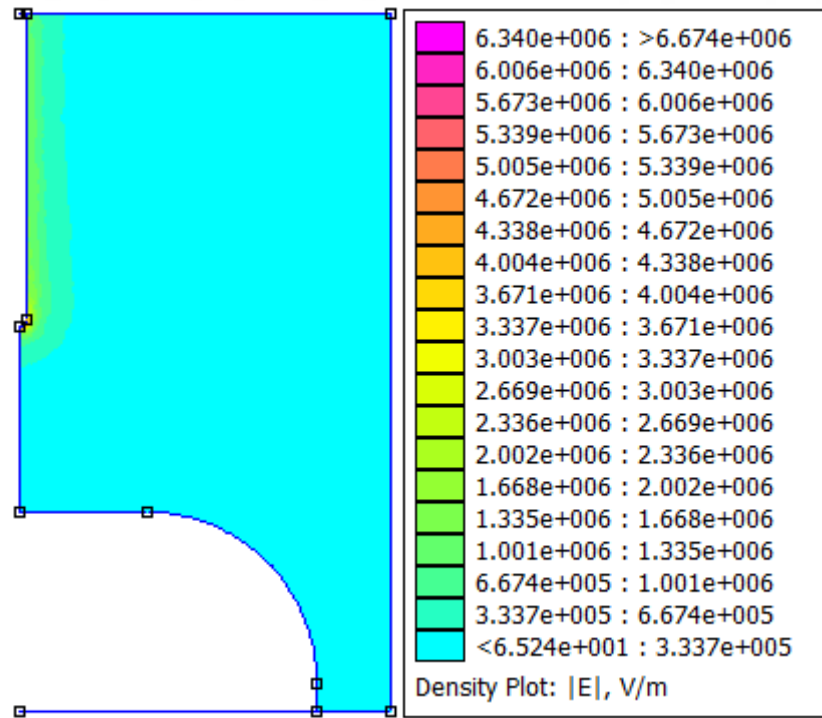


Şekil 6.29 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.

Şekil 6.30’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta potansiyel dağılımı, Şekil 6.31’de elektrik alan dağılımı görülmektedir.

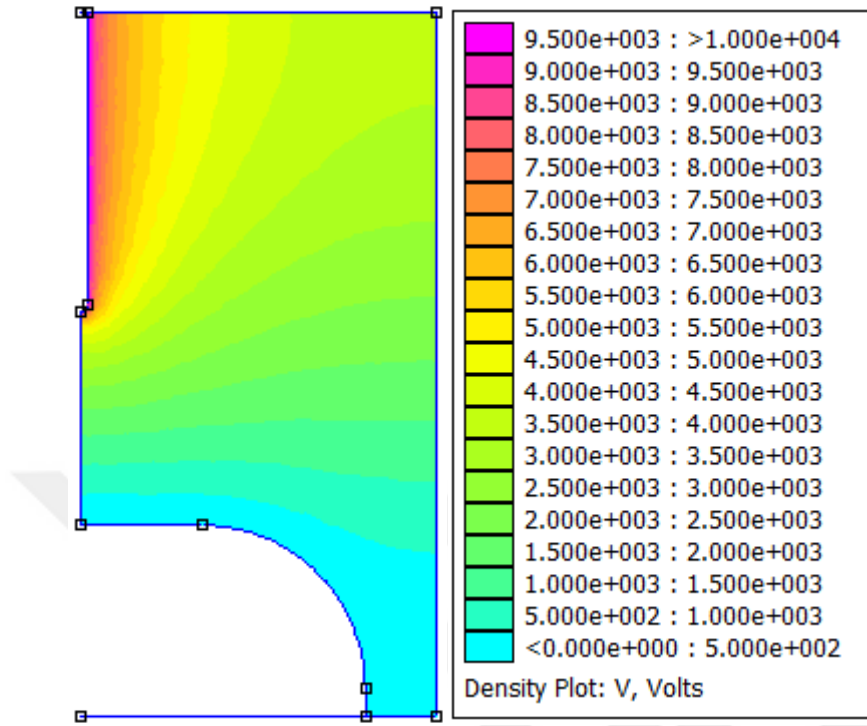


Şekil 6.30 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.

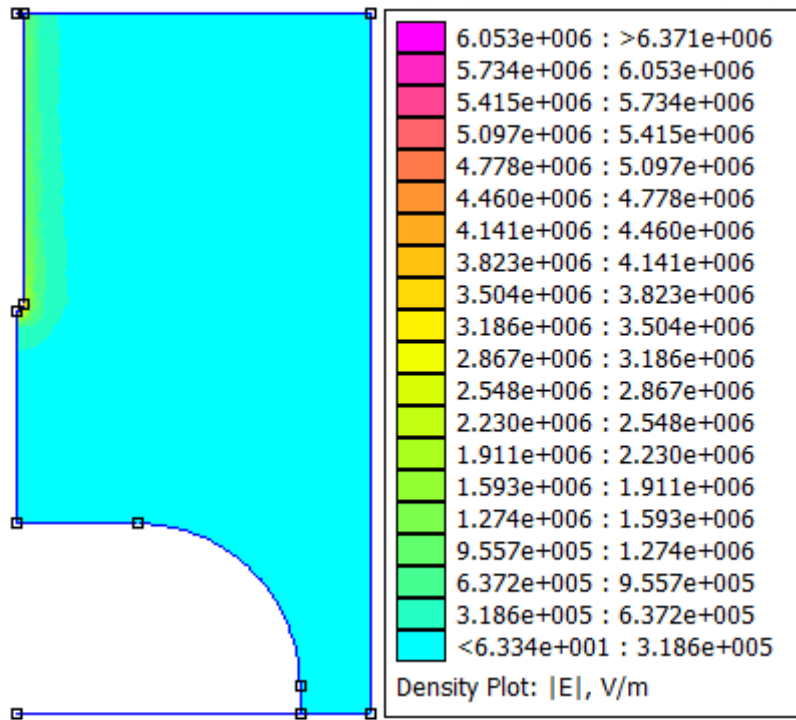


Şekil 6.31 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.

Şekil 6.32’de 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta potansiyel dağılımı, Şekil 6.33’de elektrik alan dağılımı görülmektedir.



Şekil 6.32 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



Şekil 6.33 : 1 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.

1,5 mm ve 2 mm yarıçaplı elektrot ile Rogowski düzlem ile arasında 1-1,5-2-2,5-3 cm açıklıklarda yapılan modellemelere ait çizelge ve şekiller Ek G’de yer almaktadır.

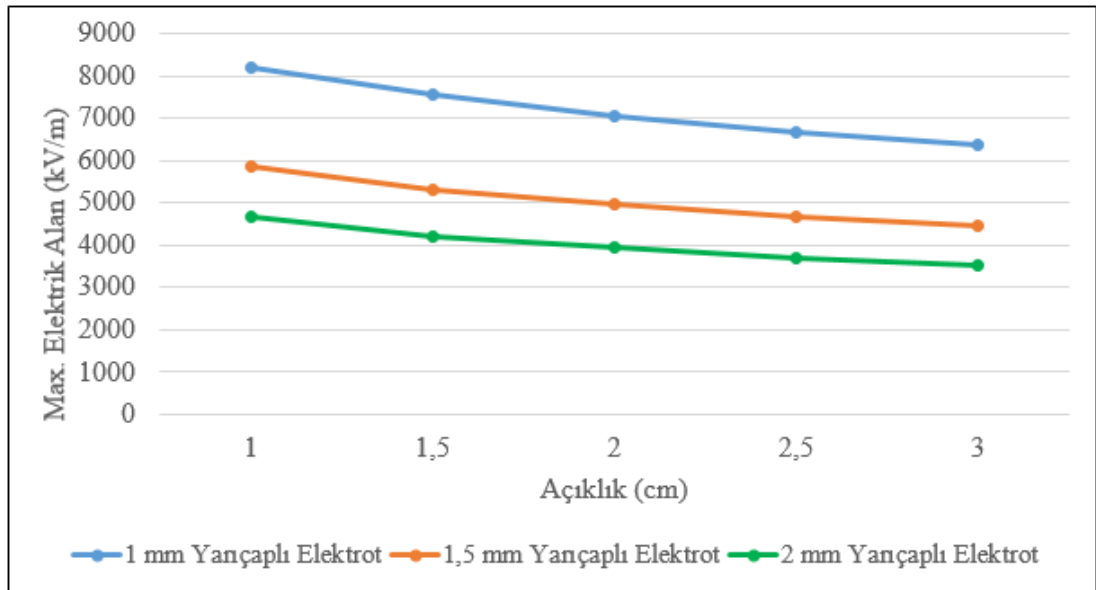
6.2.4 Rogowski düzlemde benzetim sonuçları

Çizelge 6.2’de çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda max. elektrik alanları görülmektedir.

Çizelge 6.2 : Çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda max. elektrik alanları.

Açıklık (cm)	Max. Elektrik Alan (kV/m)		
	1 mm Yarıçaplı Elektrot	1,5 mm Yarıçaplı Elektrot	2 mm Yarıçaplı Elektrot
1	8197,391	5869,291	4669,795
1,5	7541,251	5314,852	4204,318
2	7028,837	4974,867	3936,293
2,5	6673,652	4675,844	3702,232
3	6371,083	4440,661	3500,351

Şekil 6.34’de çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda max. elektrik alanlarına ilişkin grafik görülmektedir. Söz konusu grafik incelendiğinde aynı yarıçaplı elektrotun düzlem ile arasındaki açıklık arttırıldığında max. elektrik alanının azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde, elektrot ile düzlem arasındaki açıklık sabit kalmak koşuluyla elektrot yarıçapının artması da max. elektrik alanının azalmasına sebep olmaktadır.



Şekil 6.34 : Çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda max. elektrik alanları.

Çubuk elektrot ile disk düzlem sonuçlarına benzer olarak, Rogowski düzlem modelleme sonuçlarında da elektrot ile düzlem arasındaki açıklık en az olduğu durumda en büyük elektrik alanın elde edilmiş olması, elektrot ve düzlemin birbirine yaklaştıkça atlama ve delinme riskinin artmasına sebep olduğu gerçeğini göstermektedir. Elde edilen modelleme sonuçlarına göre, aynı açıklıkta elektrot yarıçapının küçülmesi de elektrik alanının artmasına dolayısıyla atlama ve delinme riskinin yükselmesine sebep olmaktadır.

Sonuçlar, kısmi boşalma açısından değerlendirildiğinde, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen KB ölçüm sonuçlarının, FEMM programında elde edilen sonuçlarla paralel olduğu görülmektedir. Örneğin, sonuçları Çizelge 4.60'da görülen kısmi boşalma ölçümlerinde, KB başlangıç geriliminin, açıklık arttıkça veya aynı açıklıkta elektrot yarıçapı büyüdükçe yükseldiğini görmüştük. Dolayısıyla, aynı gerilim altında ve diğer fiziksel şartlar ile ortam koşullarının aynı olması durumunda, açıklığın azalması veya aynı açıklıkta elektrot yarıçapının küçülmesi, max. elektrik alanı arttırmaktadır ve dolayısıyla kısmi boşalma riskini de arttırmaktadır.

Yaptığımız modelleme, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen sonuçları desteklemektedir. Dolayısıyla, gerçekleştirilen bu çalışma, deneysel olarak yapılan atlama ve delinme gerilimi belirleme veya KB ölçüm deneylerinde öngörü elde edilmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, sistem davranışını anlama açısından da faydalı olabilir.

6.2.5 FEMM 4.2 programında KB başlangıç gerilimlerinin hesaplanması

FEMM 4.2 programı kullanılarak, 1-2-3 mm yarıçaplı elektrotlar ile disk düzlem arasında 5 farklı açıklıkta olacak şekilde modeller oluşturmuştuk. Bu modellerde, tüm yarıçaplarda ve tüm açıklıklarda aynı gerilimi (10 kV) uyguladık ve sonuçları aldık. Bu çalışmadan sonra, KB başlangıç gerilimlerini FEMM 4.2 programında hesapladık. Havanın delinme gerilimine karşılık gelen elektrik alan şiddetinin tepe değeri 2980 kV/m olup, efektif değeri 2120 kV/m dir. Dolayısıyla, her açıklık ve elektrot yarıçapı için FEMM programında max. elektrik alan şiddetinin 2120 kV/m olduğu gerilim değeri, KB başlangıç gerilimidir.

Çizelge 6.3'de FEMM 4.2 programında hesaplanan çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri görülmektedir.

Çizelge 6.3 : FEMM 4.2 programında hesaplanan çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.

Açıklık (cm)	KB Başlangıç Gerilimi (kV)		
	1 mm Yarıçaplı Elektrot	1,5 mm Yarıçaplı Elektrot	2 mm Yarıçaplı Elektrot
1	2,57	3,59	4,48
1,5	2,80	3,94	4,96
2	2,97	4,19	5,32
2,5	3,13	4,41	5,65
3	3,27	4,69	5,94

Çizelge 6.4’de FEMM 4.2 programında hesaplanan çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri görülmektedir.

Çizelge 6.4 : FEMM 4.2 programında hesaplanan çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda KB başlangıç gerilimleri.

Açıklık (cm)	KB Başlangıç Gerilimi (kV)		
	1 mm Yarıçaplı Elektrot	1,5 mm Yarıçaplı Elektrot	2 mm Yarıçaplı Elektrot
1	2,59	3,61	4,54
1,5	2,81	3,99	5,04
2	3,02	4,26	5,39
2,5	3,18	4,53	5,73
3	3,33	4,77	6,06

Sonuçlar incelendiğinde, FEMM programında hesaplanan KB başlangıç gerilimleri, deneylerde ölçülen değerlere benzer olarak, açıklık arttıkça ve elektrot yarıçapı büyüdükçe yükselmektedir. Söz konusu durum disk düzlem veya Rogowski düzlem kullanıldığı durumlar için de geçerlidir. Ayrıca, aynı elektrot yarıçapı ve açıklık için Rogowski düzlemde KB başlangıç gerilimleri disk düzleme göre daha yüksek olmaktadır.

FEMM programında yapılan modellemenin sonuçları, düzlemler açısından karşılaştırıldığında, aynı yarıçaplı elektrotun aynı açıklıkta, Rogowski düzlemde max. elektrik alanları disk düzleme göre daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla, Rogowski düzlemde atlama delinme riski daha düşüktür. Bu sebeple, FEMM programı yardımıyla hesapladığımız KB başlangıç gerilimlerinde, Rogowski düzlemde hesaplanan değerlerin disk düzleme göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektriksel kısmi boşalmanın, yüksek gerilim sistemlerinin güvenliği açısından önemi anlaşıldıktan sonra KB üzerine çalışmalar artmış, birçok bilimsel yayın yayımlanmış, KB algılama ve ölçüm teknikleri ve bunlara bağlı teknolojiler geliştirilmiştir. Bu sebeple, bu çalışmada, deneysel olarak kısmi boşalma ölçümleri yapılarak kısmi boşalma karakteristiği belirlenmiş ve bilgisayar yazılımı üzerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, modellemeler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

KB karakteristiğinin belirlenmesi için çubuk elektrot-düzlem sistemi seçilmiştir. Yüksek gerilim uygulamalarında ve elektriksel yalıtkanların atlama-delinme gerilimi değerlerinin belirlenmesinde çok çeşitli geometriye sahip elektrot sistemleri kullanılmaktadır. Çubuk elektrot-düzlem sistemi de bu amaç için sıklıkla kullanılan düzeneklerden biridir. Yalıtkan maddelerde kısmi boşalma ve delinme deneyleri bu düzenekle yapılmaktadır. Elektrot olarak 1-1,5-2 mm yarıçaplı olmak üzere 3 farklı elektrot kullanılmıştır. Düzlem olarak ise disk ve Rogowski düzlem kullanılmıştır. Deneyler, 5 farklı açıklıkta yapılarak olabildiğince fazla veri elde edilmiştir.

Deneylerde, ilk olarak atlama gerilimleri belirlenmiştir. Atlama gerilimlerinin açıklık arttıkça yükseldiği ve aynı açıklıkta elektrot yarıçapı büyüdükçe de yükseldiği görülmüştür. Disk ve Rogowski düzlem için de söz konusu durum geçerlidir.

KB ölçümü deneyleri sırasında, KB karakteristiğini etkileyen etkenlerden elektrot yarıçapı, düzlem özelliği, elektrot-düzlem arası açıklık incelenmiştir. Elektrot yarıçapının artması, KB başlangıç geriliminin yükselmesine sebep olmuştur. Rogowski düzlemde alınan sonuçlar ile disk düzlemde alınan sonuçlar kıyaslandığında, Rogowski düzlemde KB başlangıç gerilimleri disk düzleme göre daha yüksek olmuştur. Elektrot-düzlem arası açıklığın artması, KB başlangıç geriliminin yükselmesine sebep olmuştur.

Elektrot-disk düzlem deneyleri ayrıca alçak basınçta da gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ortamında, elektrot ile disk düzlem deneyleri alçak basınçta da

gerçekleştirilerek alçak basıncın kısmi boşalma etkisi incelenmiştir. Bu deneyler dört farklı alçak basınçta diğer bir deyişle dört farklı alçak basınç altında yapılmıştır. Sonucunda, alçak basınç altında kısmi boşalma başlangıç gerilimlerinin normal duruma göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Basınç düştükçe kısmi boşalma başlangıç gerilimleri daha düşük olmaktadır.

Deneylerin tamamlanmasından sonra, söz konusu deney sistemi, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak FEMM bilgisayar yazılımı üzerinden modellenmiştir. Modelleme sonucunda, çubuk elektrot ile düzlem arasındaki açıklık en az olduğu durumda en büyük elektrik alanın elde edilmiş olması, elektrot ve düzlemin birbirine yaklaştıkça atlama ve delinme riskinin artmasına sebep olduğu görülmüştür. Elde edilen modelleme sonuçlarına göre, aynı açıklıkta elektrot yarıçapının küçülmesi de elektrik alanın artmasına dolayısıyla atlama ve delinme riskinin yükselmesine sebep olmaktadır. Bu durum, hem çubuk elektrot-disk düzlem hem de çubuk elektrot-Rogowski düzlem sonuçları için de geçerlidir.

FEMM programıyla hesaplanan KB başlangıç gerilimleri karşılaştırıldığında, deneylerde ölçülen değerlere benzer olarak; elektrot yarıçapının artması veya elektrot-düzlem arası açıklığın artması KB başlangıç geriliminin yükselmesine sebep olmaktadır. Ayrıca, Rogowski düzlem kullanıldığında disk düzleme göre değerler daha yüksektir.

Modelleme sonunda elde edilen sonuçlar, laboratuvar ortamında elde edilen sonuçlar ile genel olarak örtüşmektedir. Bunun önemli sebeplerinden birisi, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak çözüm yapan FEMM programının, incelenecek sistemin geometrisinin oluşturulması, malzeme özelliklerinin ve sınır koşullarının girilmesi, ağ yapısının oluşturulmasına olanak sağlayan bir program olduğu için son derece gerçekçi sonuçlar veren bir program olmasıdır.

Sonuç olarak, gerek laboratuvar ortamında gerekse de modelleme sonunda bilgisayar yazılımı ile elde edilen veriler, birbirleriyle ve literatür araştırması sırasında incelenen çeşitli çalışmalarla genel olarak örtüşmektedir. Böylelikle, yapılan bu çalışma ile yüksek gerilim sistemlerinde kısmi boşalma üzerine çeşitli yorumlar yapılabilir. Sistem davranışını anlama açısından son derece faydalı olacak olan bu çalışma, yalıtım sistemlerinin üretilmesi veya yüksek gerilim sistemlerinin kurulmasında tasarım açısından yardımcı olabilir. Ayrıca bu çalışma, daha farklı

durumlar veya koşullar yaratarak geliştirilebilir. İhmal edilen veya öngörölemeyen pürüzler dahil edilerek daha etkin sonuçlara ulaşılabilir. Farklı elektrot sistemlerinin kullanılması, farklı gaz basınçları altında deneylerin yapılması, farklı dielektrik malzemeler kullanılması gibi durumlar için çalışma geliştirilebilir ve kısmi boşalma karakteristiği hakkında daha fazla bilgi toplanabilir.





KAYNAKLAR

- Bartnikas, R.** (2002). Partial Discharge Their Mechanism, Detection and Measurement, *IEEE Trans. Electrical Insulation*, Vol. 9, pp. 763-808.
- Chari, K. V. M., Bedrosian, G., D'Angelo, J., Konrad, A.** (1993). Finite Element Applications in Electrical Engineering, *IEEE Transactions on Magnetism*, Vol. 29, No. 2, pp. 1306-1314.
- Gutleisch, F., Niemeyer, L.** (1995). Measurement and Simulation of PD in Epoxy Voids, *IEEE Transacation on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 2, No. 5, pp. 729-743.
- Hutton, V. D.** (2004). Fundamentals of Finite Element Analysis, *Mc Graw Hill*, Boston, pp. 45-114.
- Illias, H.A., Chen, G., Lewin, P. L.** (2009). Modelling of Partial Discharge Activity in Different Spherical Cavity Sizes and Locations within a Dielectric Insulation Material, *International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials*, pp. 485-488.
- Illias, H.A., Yuan, T. S., Abu Bakar, A. H., Mokhlis, H., Chen, G., Lewin, P. L.** (2012). Partial Discharge Patterns in High Voltage Insulation, *IEEE International Conference on Power and Energy*, Malaysia.
- Kalenderli, Ö.** (2015). *Elektrik Mühendisliğinde Sonlu Elemanlar Yöntemi*, Ders Notları, İTÜ, İstanbul.
- Kamarol, M., Ohtsuka, S., Saitoh, H., Sakaki, M., Hikita, M.** (2007). Diagnostic Technique of Insulation Performance in Vacuum Interrupter Based on Partial Discharge, *Proceedings of International Symposium on EcoTopia Science*.
- Karaman, İ.** (2015). *PD Kalibratör Yapımı* [PowerPoint slides]. Retrieved from http://www.ume.tubitak.gov.tr/sites/images/ume/sunu-07-pd_sunum_karaman.pdf
- Karmakar, S., Roy, N. K., Kumbhakar, P.** (2009). Partial Discharge Measurement of Transformer with ICT Facilities, *Third International Conference on Power Systems*, Kharagpur, India, December 27 -29.
- Knutson, R. S., Abdalla, D. M., Pixton, M. R.** (1991). PC Based Electrostatic Field Calculation Techniques, *12th Annual Ideas in Science and Electronics Exposition/Symposium*.
- Kolev, N., Darjanov, P., Gadjeva, E., Darjanova, D.** (1997). An Approach to Develop a Partial Discharge Investigation, *Proc. of the IEEE Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Windings Conference*, pp. 507-510, Chicago.

- Kolev, N., Darjanov, P., Gadjeva, E., Darjanova, D.** (1998). Partial Discharge Phenomena Simulation Using General Purpose Analysis Program, *Proc. of 6th IEEE International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics-ICSD 98*, pp. 149-152, June 22-25, Vasteras, Sweden.
- Kuffel, E., Zaengl, S., Kuffel J.** (2005). High Voltage Engineering: Fundamentals, *Published by Eleslever*, ISBN 0-7506-3634-3, Second Edition.
- Lakdawala, V., Noel, M. M., Basappa, P., Jambula, A.** (2008). Optimization of Complex Electrode for Use in Electrical Measurements, *IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, Vancouver, Canada.
- Lindell, E., Bengtsson, T., Blennow, J., Gubanski, S. M.** (2008). Measurement of Partial Discharges at Rapidly Changing Voltages, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 15, No. 3, pp. 823-831.
- Niemeyer, L.** (1995). A Generalized Approach to Partial Discharge Modeling, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 2, No. 4, pp. 510-528.
- Pedersen, A., Crichton, G. C., McAllister, I. W.** (1991). The Theory and Measurement of Partial Discharge Transients, *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, Vol. 26, No. 3, pp. 487-497.
- Ren, C. Y., Cheng, Y. H., Yan, P., Sun, Y. H., Shao, T.** (2004). Simulation of Partial Discharges in Single and Double Voids Using SIMULINK, *Journal of Xi'an Jiatong University*, Vol. 38, No. 10, pp. 120-122.
- Shaozhen, Q. and Birlasekaran, S.** (2006). The Study of PD Propagation Phenomenon in Power Network, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 21, No. 3, pp.1083-1091.
- Sun, J. H., Youn, Y. W., Hwang, D. H., Yi, S. H., Kang, D. S.** (2012). A Method to Monitor Vacuum Degree Using Capacitive Partial Discharge Coupler, *Journal of Electrical Engineering & Technology*, Vol. 7, No. 6, pp.959-964.
- Şimşek, E.** (2014). Elektriksel Kısmi Deşarj Olayı, *Prysmiangroup.com*. Retrieved Eylül 01, 2014, from http://tr.prysmiangroup.com/tr/business_markets/Teknik-makaleler/elektriksel-kismi-desarj-olayi/
- Tanaka, T.** (1986). Internal Partial Discharge and Material Degradation, *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, Vol. EI-21, No. 6, pp. 899-905.
- Van Brunt, R. J.** (1994). Physics and Chemistry of Partial Discharges and Corona, *IEEE Trans. on Dielectric and Electrical Insulation*, Vol. 1, No. 5, pp. 761-784.

EKLER

EK A : Çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda KB sonuçları.

EK B : Çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda KB sonuçları.

EK C : 551 mmHg alçak basınçta, çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda KB sonuçları.

EK Ç : 441 mmHg alçak basınçta, çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda KB sonuçları.

EK D : 331 mmHg alçak basınçta, çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda KB sonuçları.

EK E : 220 mmHg alçak basınçta, çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda KB sonuçları.

EK F : Çubuk elektrot ile disk düzlem arasında farklı açıklıklarda, FEMM 4.2 programında gerilim ve elektrik alan dağılımları.

EK G : Çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında farklı açıklıklarda, FEMM 4.2 programında gerilim ve elektrik alan dağılımları.

EK A

Çizelge A.1 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,95	65,00
2.	7,95	65,60
3.	7,68	64,60
Ort.	7,86	65,07

Çizelge A.2 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	8,74	42,20
2.	8,70	42,20
3.	8,72	42,20
Ort.	8,72	42,20

Çizelge A.3 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	9,56	44,60
2.	9,24	42,40
3.	9,20	42,40
Ort.	9,33	43,13

Çizelge A.4 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	10,65	80,90
2.	10,30	80,90
3.	10,22	80,90
Ort.	10,39	80,90

Çizelge A.5 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	11,23	35,50
2.	10,31	34,00
3.	11,57	35,50
Ort.	11,04	35,00

Çizelge A.6 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	10,84	65,70
2.	9,30	63,90
3.	9,50	63,95
Ort.	9,88	64,52

Çizelge A.7 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	12,10	21,20
2.	11,50	21,20
3.	11,58	21,20
Ort.	11,73	21,20

Çizelge A.8 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	12,82	35,00
2.	12,70	35,00
3.	12,79	35,00
Ort.	12,77	35,00

Çizelge A.9 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	13,97	80,90
2.	12,78	80,90
3.	13,29	80,90
Ort.	13,35	80,90

EK B

Çizelge B.1 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	8,82	80,90
2.	8,80	80,90
3.	8,90	80,90
Ort.	8,84	80,90

Çizelge B.2 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	9,68	80,90
2.	9,40	80,90
3.	9,18	80,90
Ort.	9,42	80,90

Çizelge B.3 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	10,00	74,60
2.	10,77	74,80
3.	10,78	74,80
Ort.	10,52	74,73

Çizelge B.4 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	10,65	73,50
2.	11,74	74,80
3.	11,30	74,80
Ort.	11,23	74,37

Çizelge B.5 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	8,83	43,90
2.	9,98	44,60
3.	10,97	44,90
Ort.	9,93	44,47

Çizelge B.6 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	10,69	53,70
2.	12,40	54,50
3.	12,63	54,50
Ort.	11,91	54,23

Çizelge B.7 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	12,85	80,90
2.	12,88	80,90
3.	12,80	80,90
Ort.	12,84	80,90

Çizelge B.8 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	13,33	9,24
2.	13,63	9,24
3.	13,40	9,24
Ort.	13,45	9,24

EK C

Çizelge C.1 : 551 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,55	25,70
2.	7,50	25,70
3.	7,62	25,70
Ort.	7,56	25,70

Çizelge C.2 : 551 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	8,28	81,90
2.	8,30	81,90
3.	8,33	81,90
Ort.	8,30	81,90

Çizelge C.3 : 551 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	8,50	52,90
2.	8,66	52,90
3.	8,49	52,90
Ort.	8,55	52,90

Çizelge C.4 : 551 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	8,78	20,80
2.	8,80	20,80
3.	8,85	20,80
Ort.	8,81	20,80

Çizelge C.5 : 551 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	10,50	81,90
2.	10,40	81,90
3.	10,46	81,90
Ort.	10,45	81,90

Çizelge C.6 : 551 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	11,28	81,90
2.	11,31	81,90
3.	11,34	81,90
Ort.	11,31	81,90

Çizelge C.7 : 551 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	11,78	81,90
2.	11,84	81,90
3.	11,89	81,90
Ort.	11,84	81,90

EK Ç

Çizelge Ç.1 : 441 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,25	81,90
2.	7,28	81,90
3.	7,27	81,90
Ort.	7,27	81,90

Çizelge Ç.2 : 441 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,71	77,80
2.	7,77	77,80
3.	7,69	77,80
Ort.	7,72	77,80

Çizelge Ç.3 : 441 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,86	27,00
2.	7,90	27,00
3.	7,79	27,00
Ort.	7,85	27,00

Çizelge Ç.4 : 441 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	8,36	50,50
2.	8,41	50,50
3.	8,45	50,50
Ort.	8,41	50,50

Çizelge Ç.5 : 441 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	9,44	81,90
2.	8,60	81,90
3.	8,45	81,90
Ort.	8,83	81,90

Çizelge Ç.6 : 441 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	8,24	40,10
2.	9,89	40,10
3.	9,86	40,10
Ort.	9,33	40,10

Çizelge Ç.7 : 441 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	10,49	81,90
2.	10,33	81,90
3.	10,40	81,90
Ort.	10,41	81,90

EK D

Çizelge D.1 : 331 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	5,29	81,90
2.	5,32	81,90
3.	5,34	81,90
Ort.	5,32	81,90

Çizelge D.2 : 331 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	5,66	81,90
2.	5,80	81,90
3.	5,69	81,90
Ort.	5,72	81,90

Çizelge D.3 : 331 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	6,02	81,90
2.	6,10	81,90
3.	6,06	81,90
Ort.	6,06	81,90

Çizelge D.4 : 331 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	6,34	81,90
2.	6,40	81,90
3.	6,37	81,90
Ort.	6,37	81,90

Çizelge D.5 : 331 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,10	81,90
2.	7,05	81,90
3.	7,09	81,90
Ort.	7,08	81,90

Çizelge D.6 : 331 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	7,66	81,90
2.	7,70	81,90
3.	7,72	81,90
Ort.	7,69	81,90

Çizelge D.7 : 331 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	8,35	73,80
2.	8,34	73,80
3.	8,38	73,80
Ort.	8,36	73,80

EK E

Çizelge E.1 : 220 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	4,59	81,90
2.	4,34	81,90
3.	4,42	81,90
Ort.	4,45	81,90

Çizelge E.2 : 220 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	4,40	81,90
2.	4,82	81,90
3.	4,66	81,90
Ort.	4,63	81,90

Çizelge E.3 : 220 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	4,82	76,20
2.	4,88	76,20
3.	4,80	76,20
Ort.	4,83	76,20

Çizelge E.4 : 220 mmHg alçak basınçta 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	5,54	81,90
2.	5,50	81,90
3.	5,61	81,90
Ort.	5,55	81,90

Çizelge E.5 : 220 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	5,65	81,90
2.	5,30	81,90
3.	5,49	81,90
Ort.	5,48	81,90

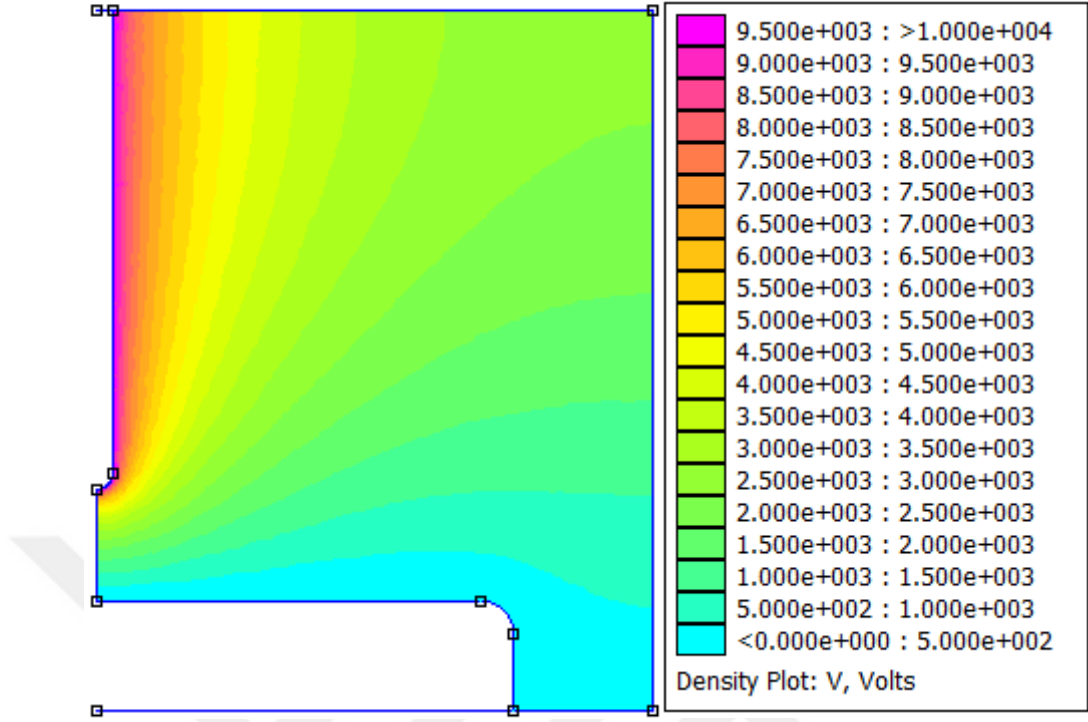
Çizelge E.6 : 220 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	5,49	73,70
2.	5,92	73,70
3.	5,82	73,70
Ort.	5,74	73,70

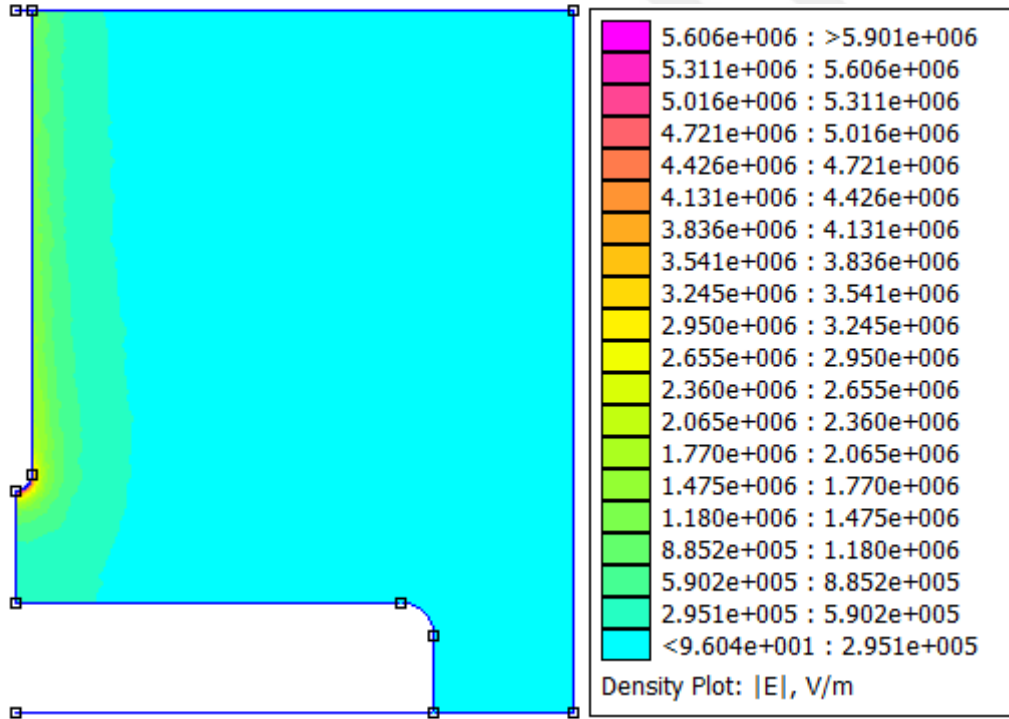
Çizelge E.7 : 220 mmHg alçak basınçta 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklık için 3 farklı ölçüme ait KB sonuçları.

Ölçüm	KB Başlangıç Gerilimi (kV)	KB Genliği (pC)
1.	6,22	81,90
2.	6,30	81,90
3.	6,29	81,90
Ort.	6,27	81,90

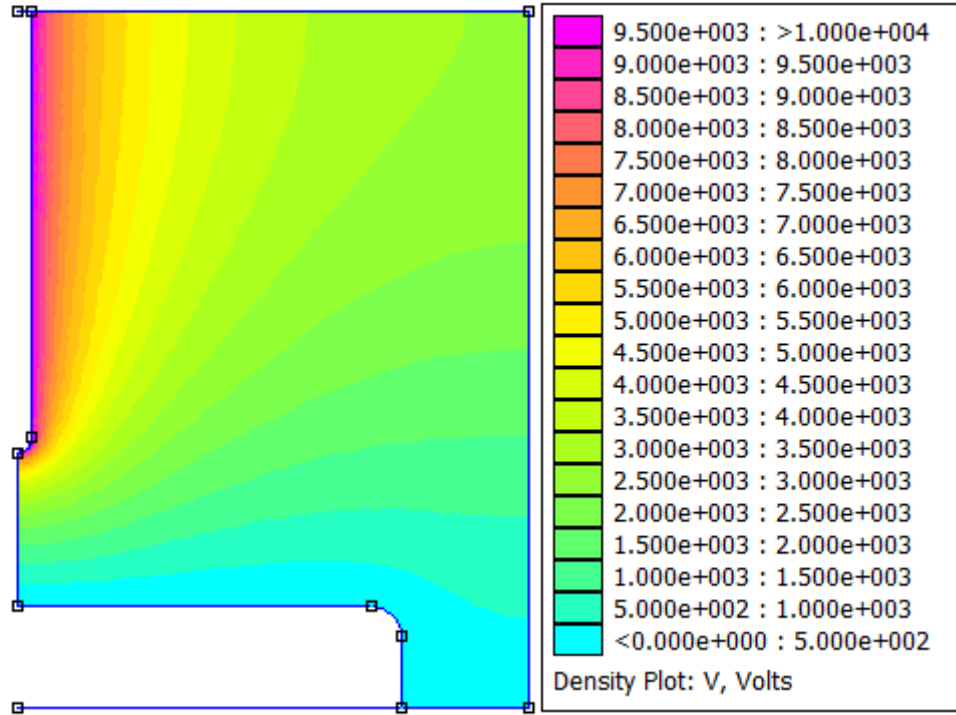
EK F



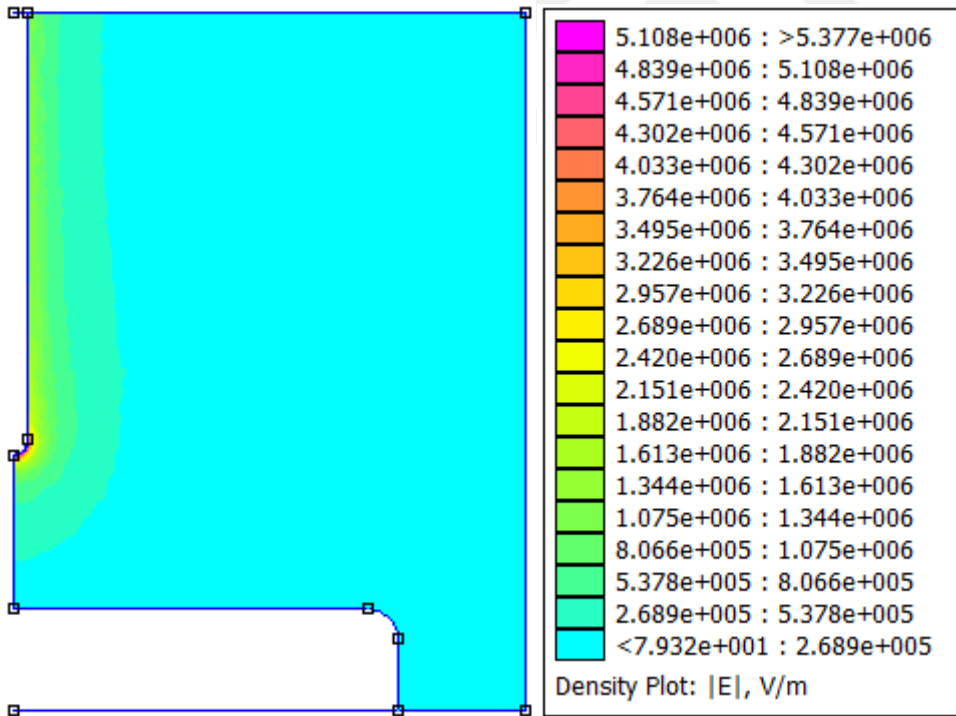
Şekil F.1 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



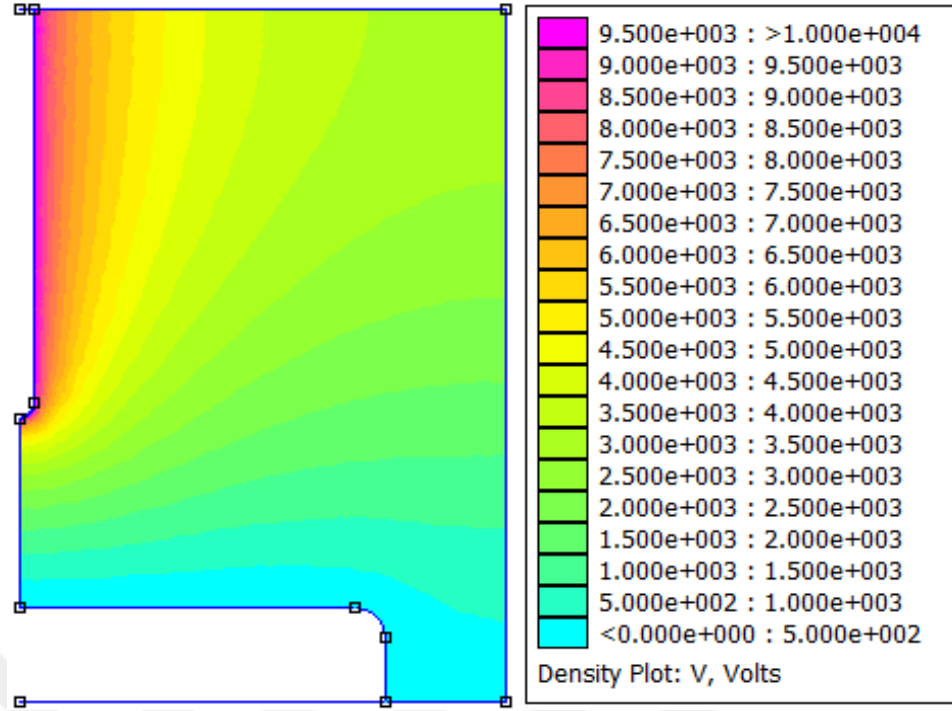
Şekil F.2 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



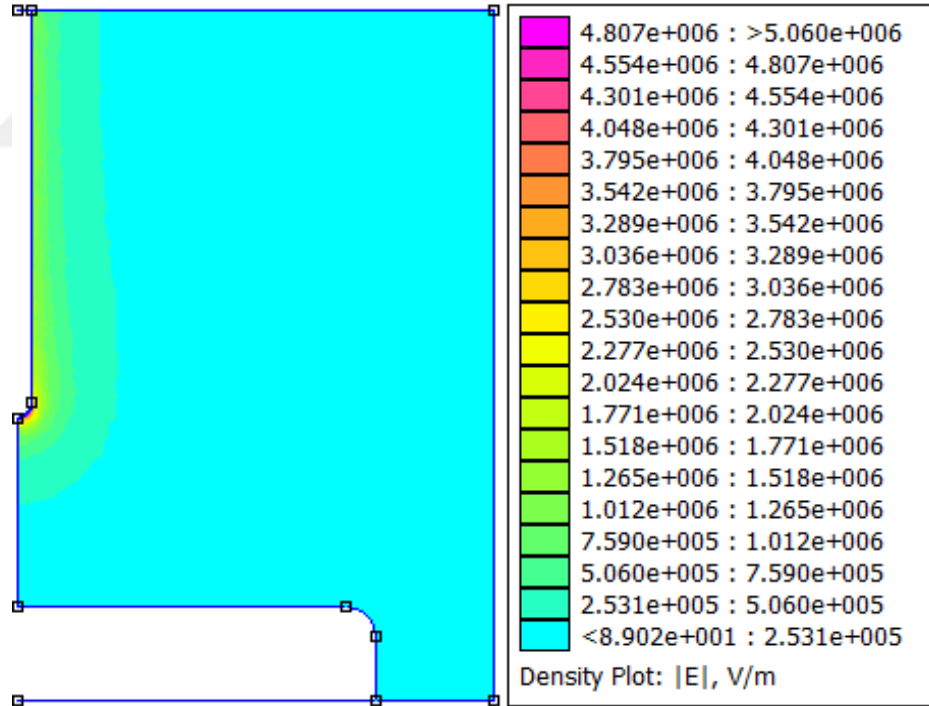
Şekil F.3 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



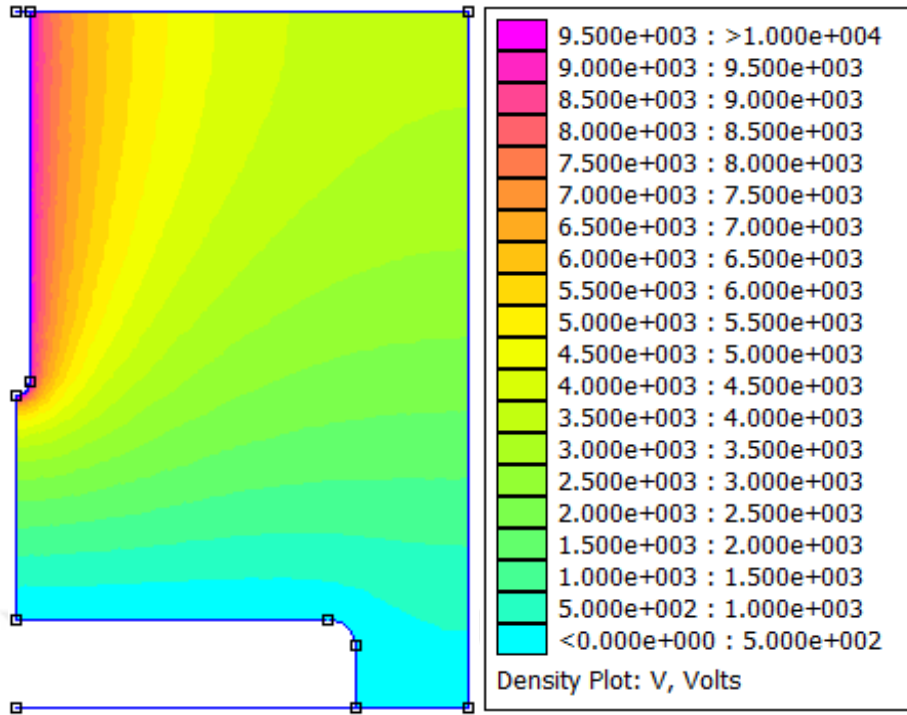
Şekil F.4 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



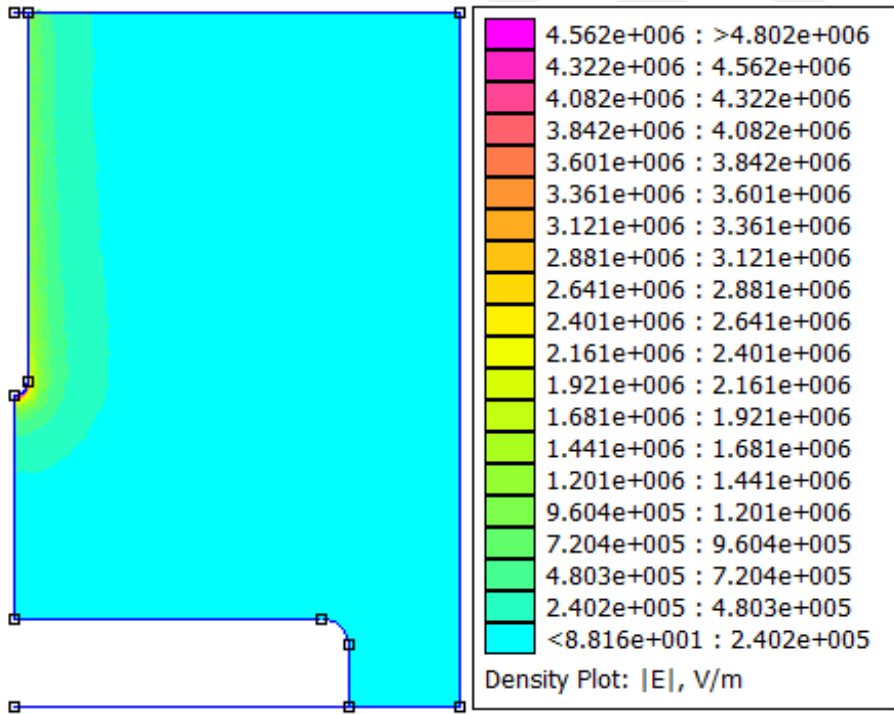
Şekil F.5 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



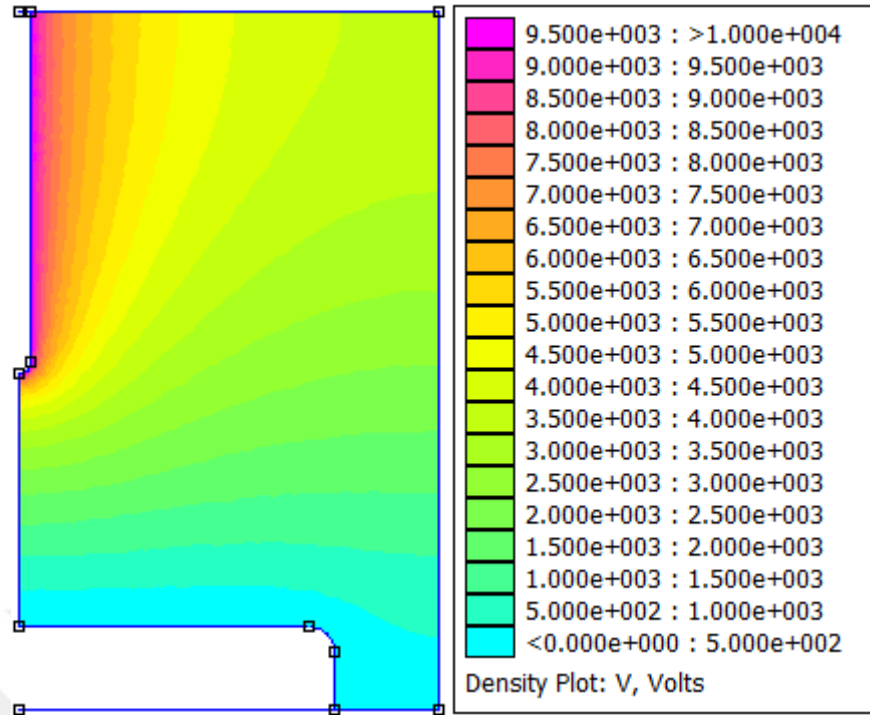
Şekil F.6 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



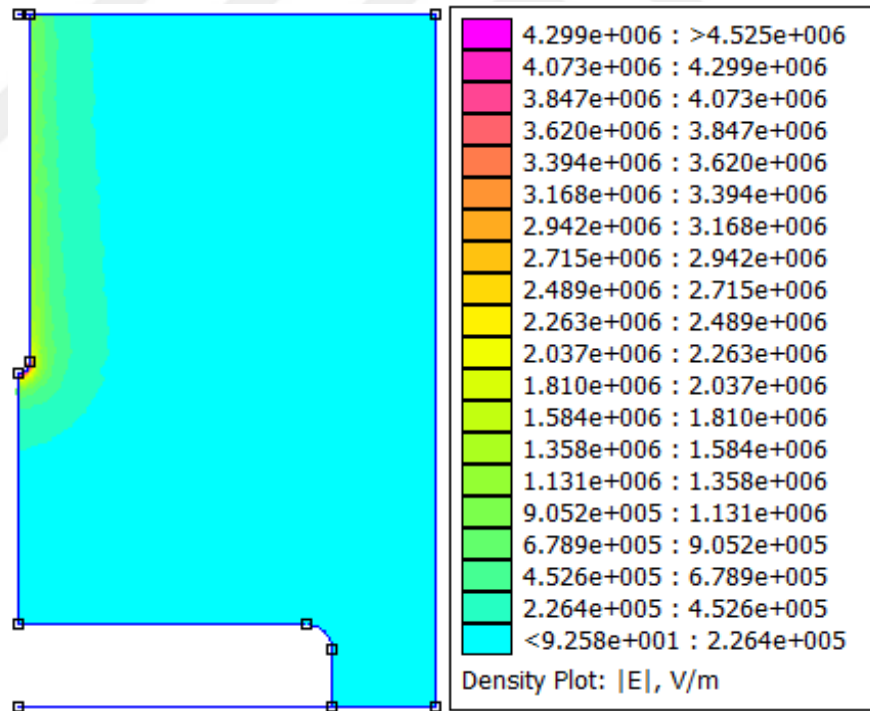
Şekil F.7 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



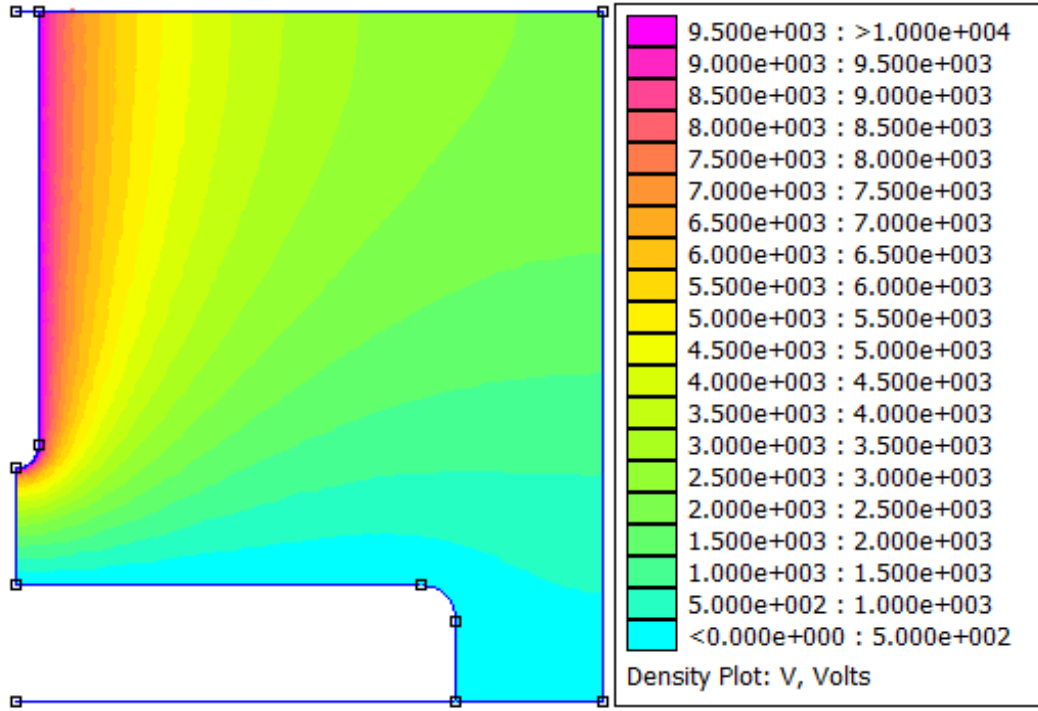
Şekil F.8 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



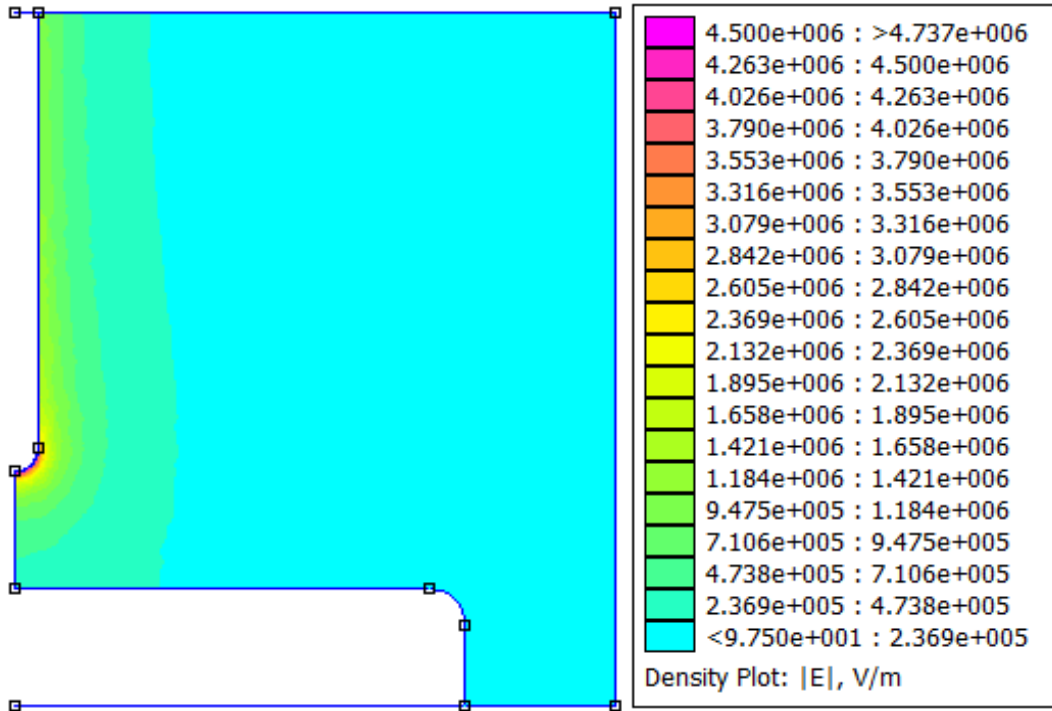
Şekil F.9 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



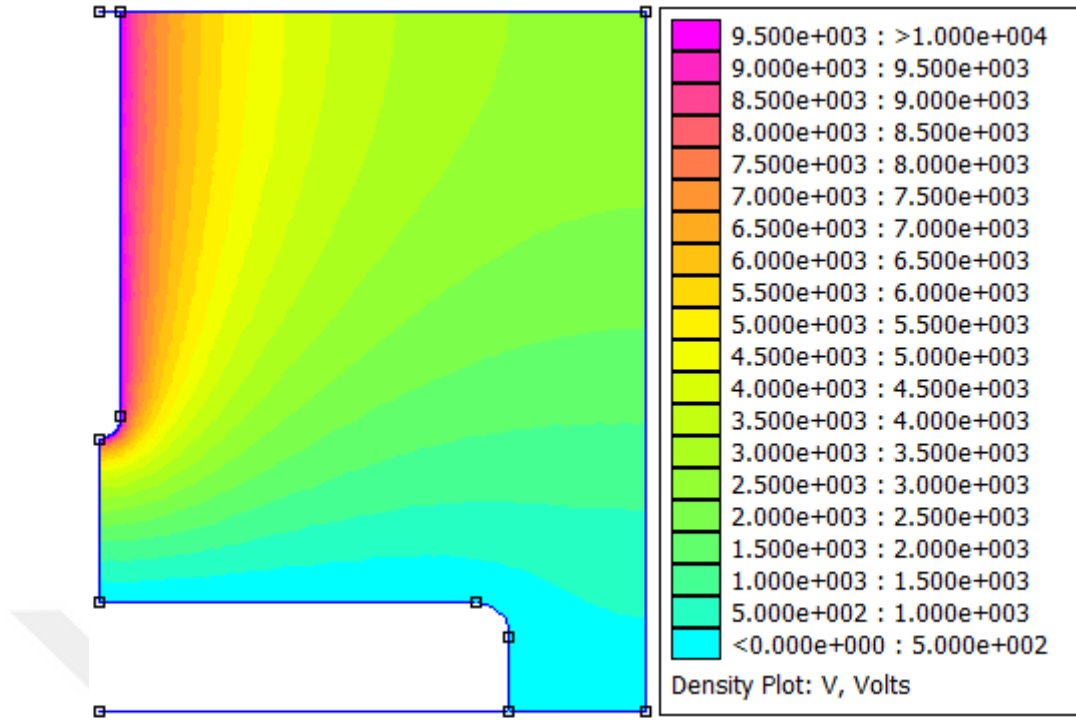
Şekil F.10 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



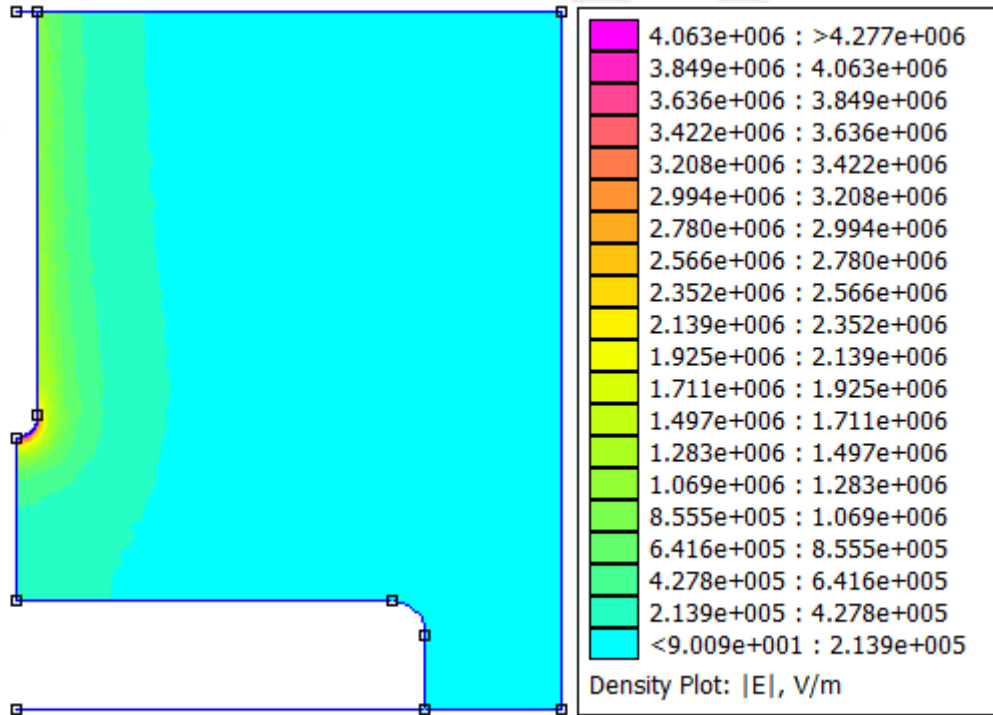
Şekil F.11 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



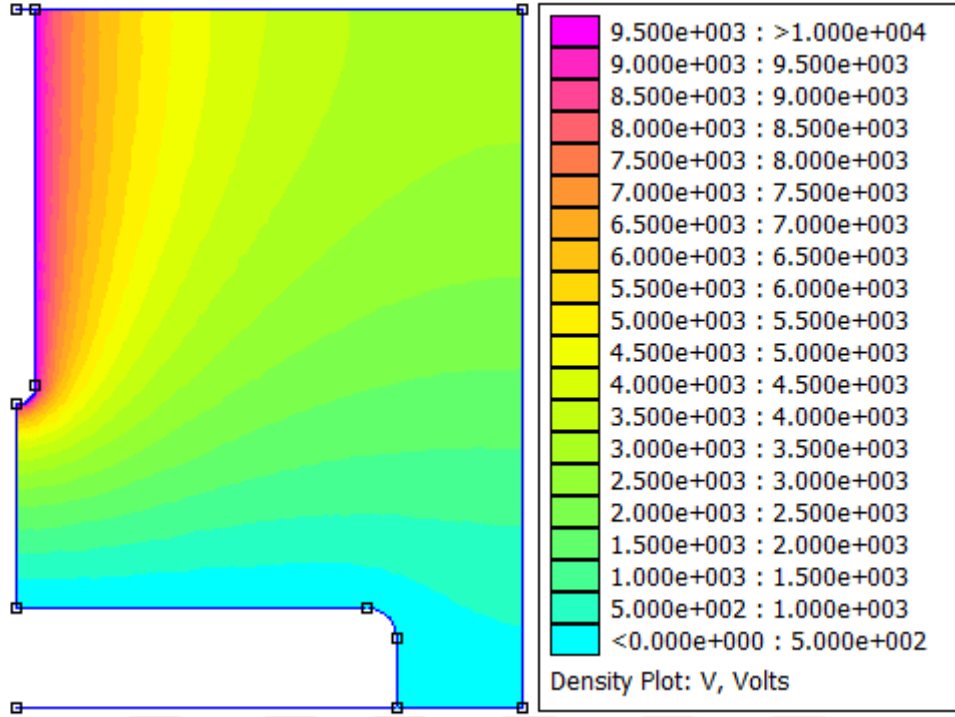
Şekil F.12 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



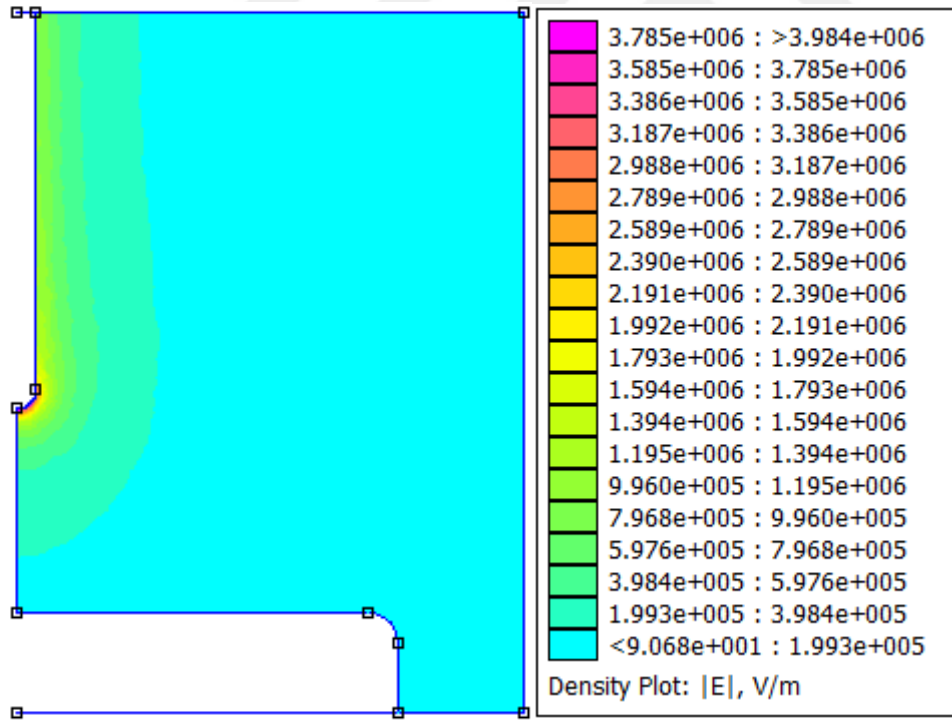
Şekil F.13 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



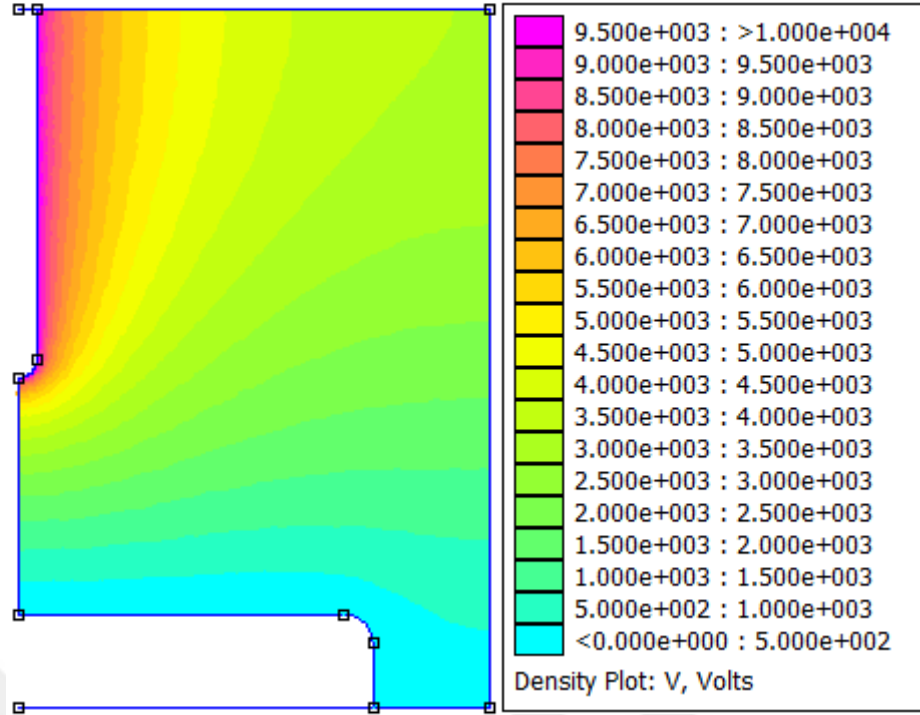
Şekil F.14 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



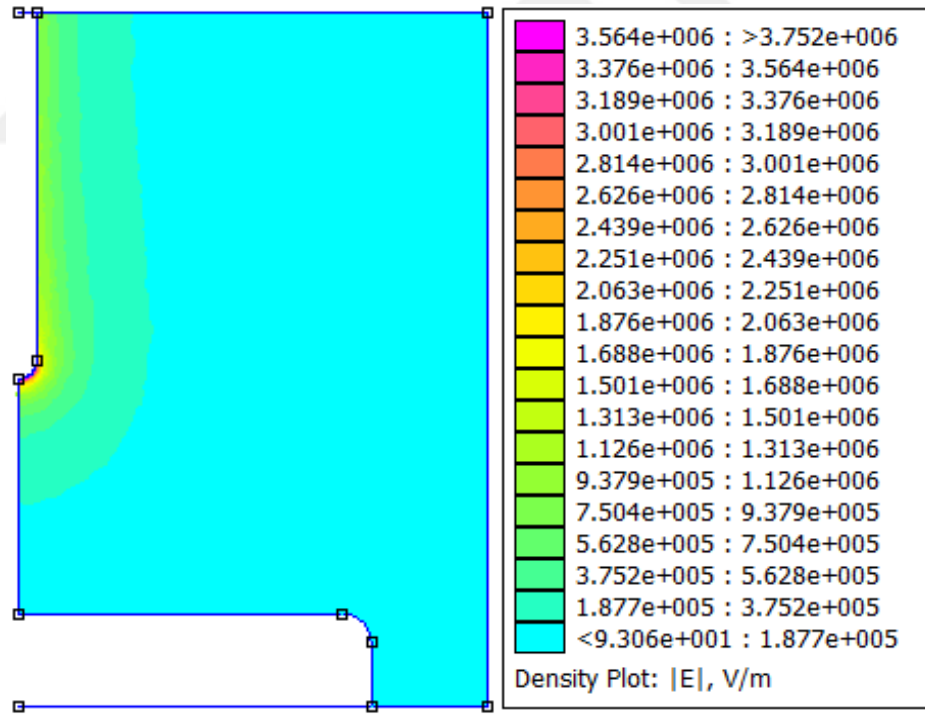
Şekil F.15 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



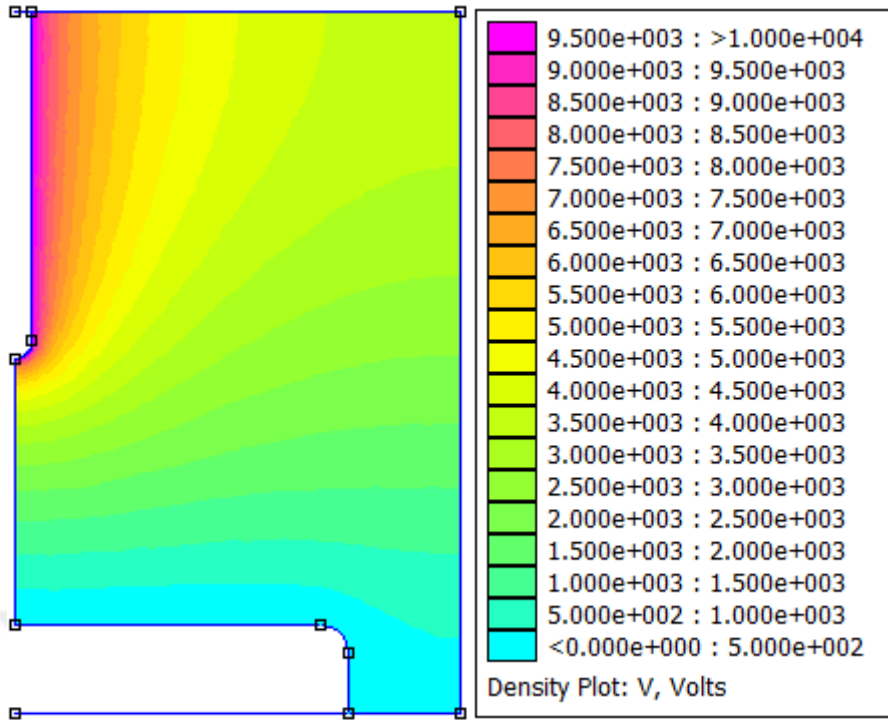
Şekil F.16 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



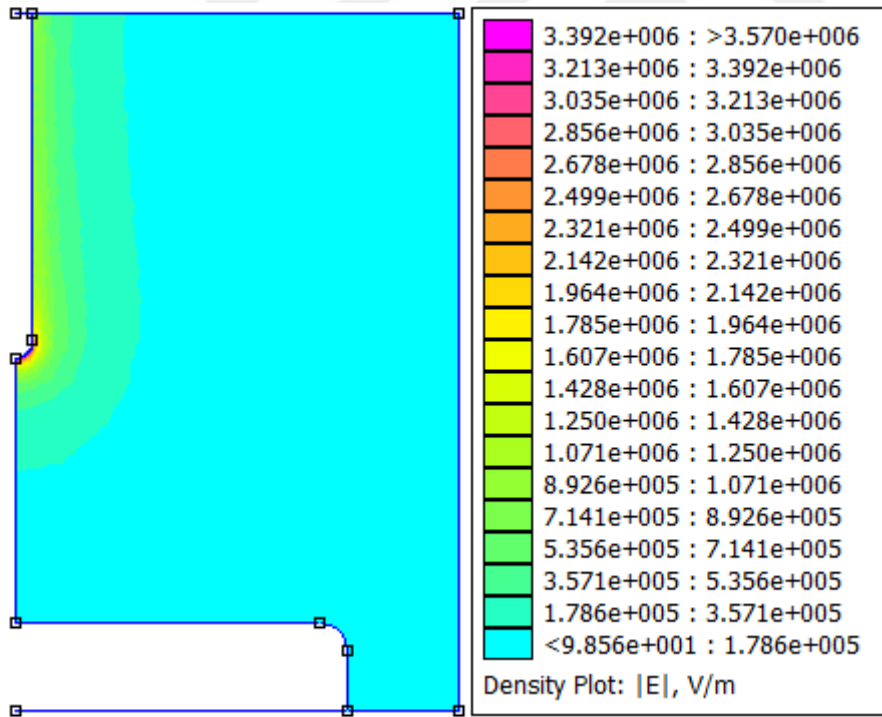
Şekil F.17 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



Şekil F.18 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.

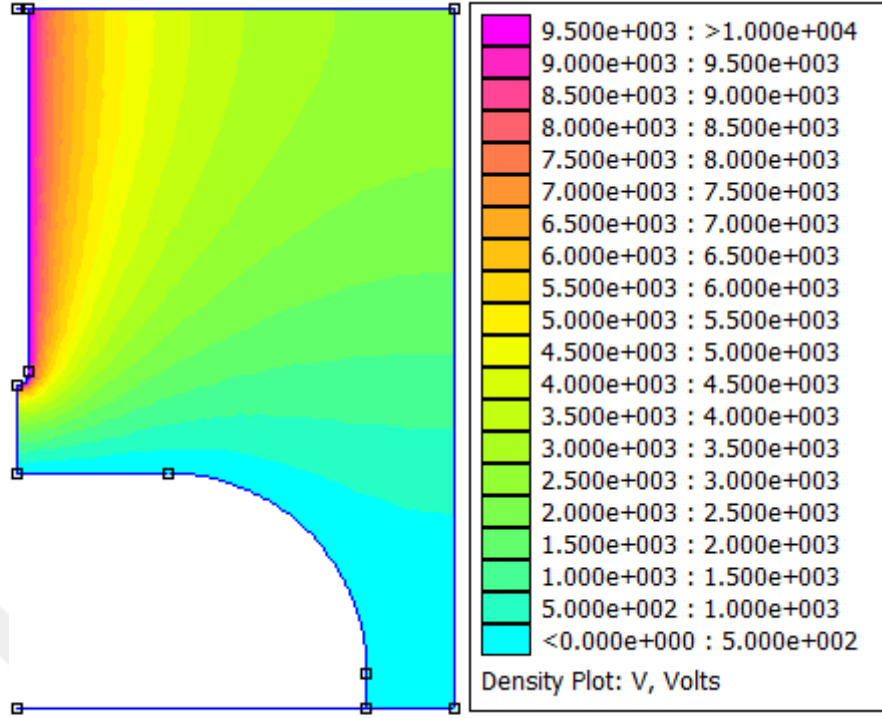


Şekil F.19 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.

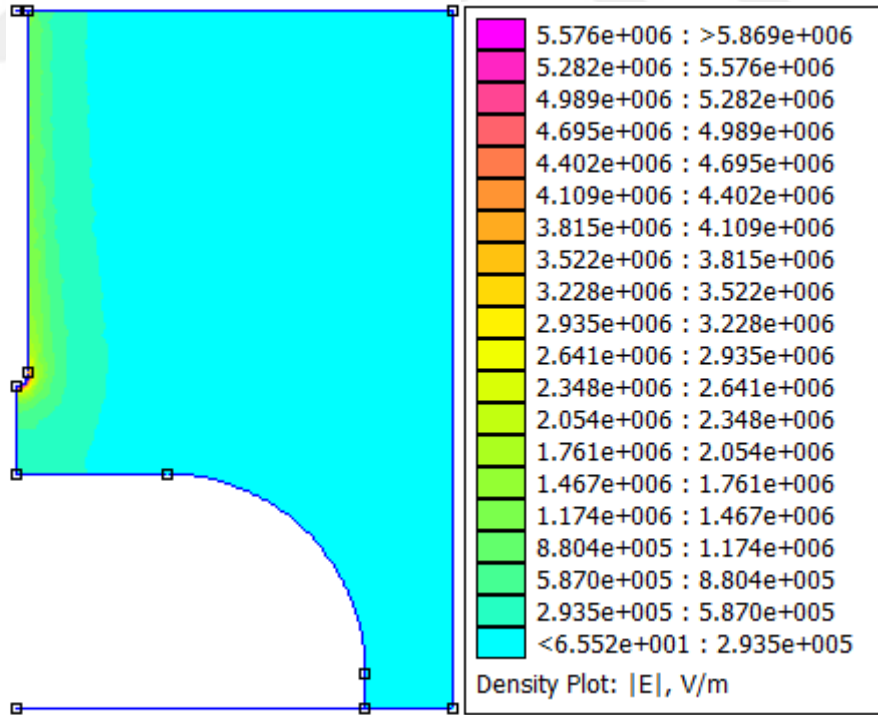


Şekil F.20 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile disk düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.

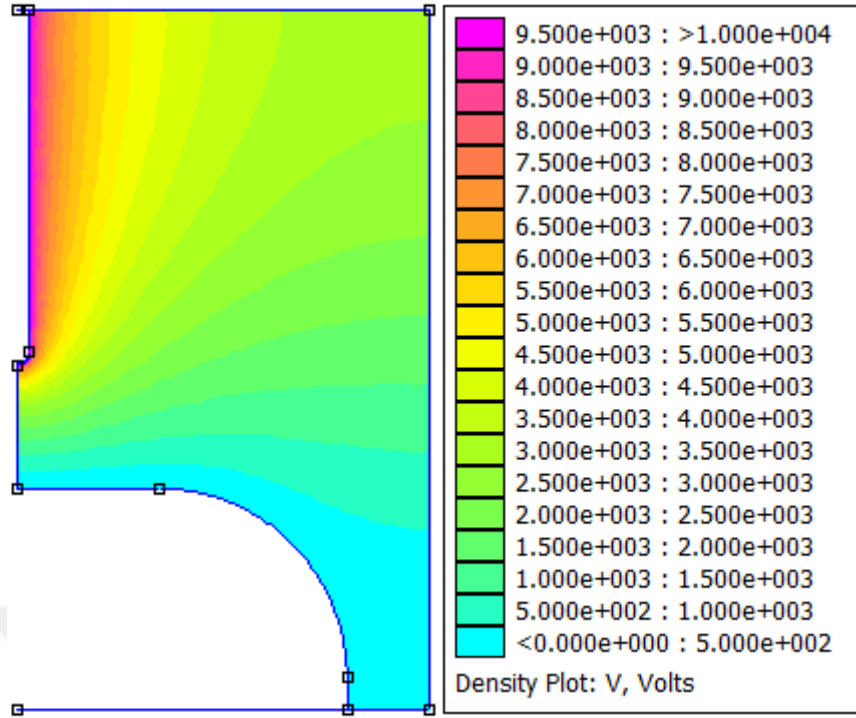
EK G



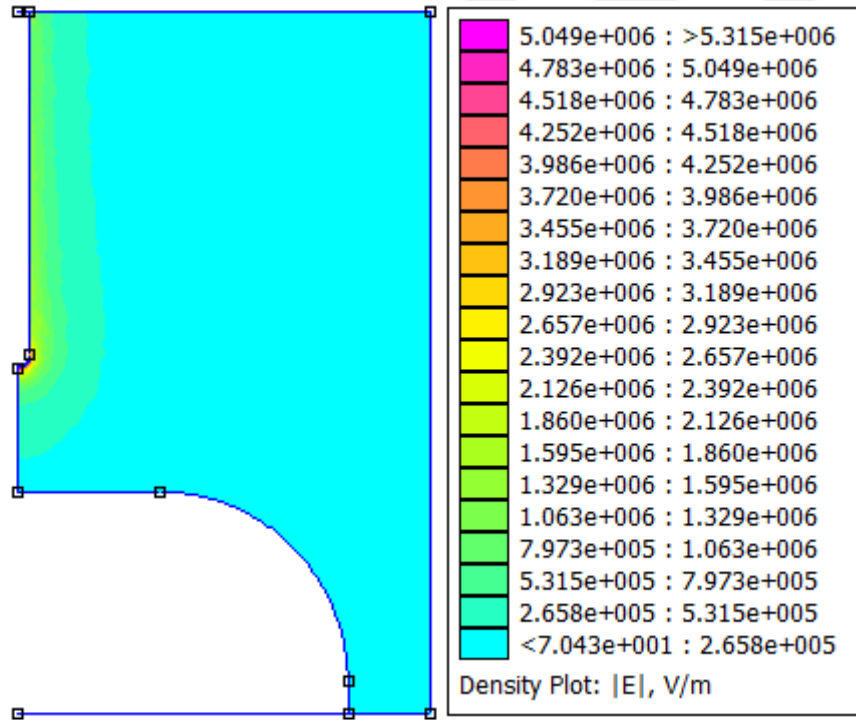
Şekil G.1 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



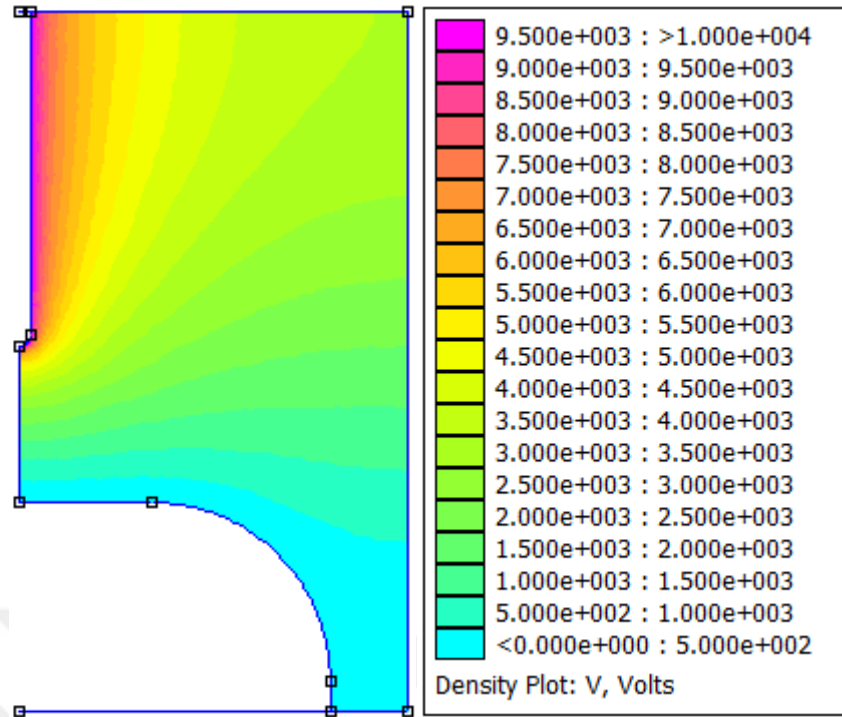
Şekil G.2 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



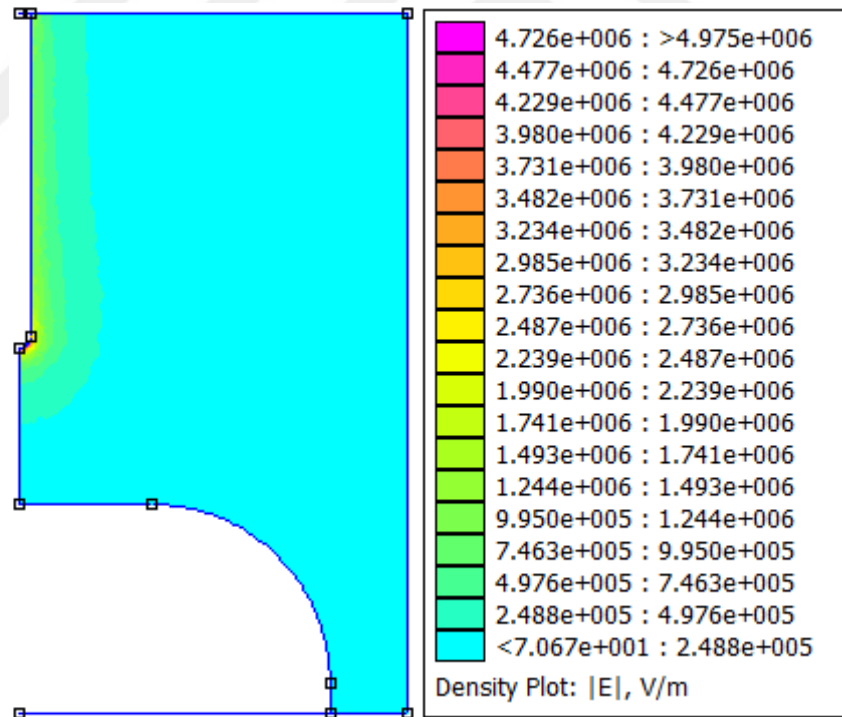
Şekil G.3 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



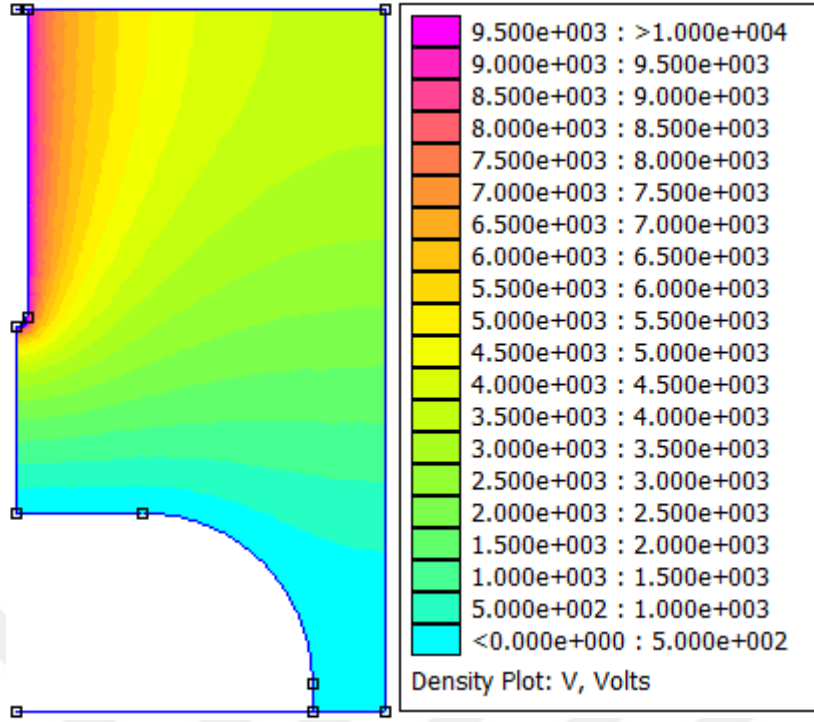
Şekil G.4 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



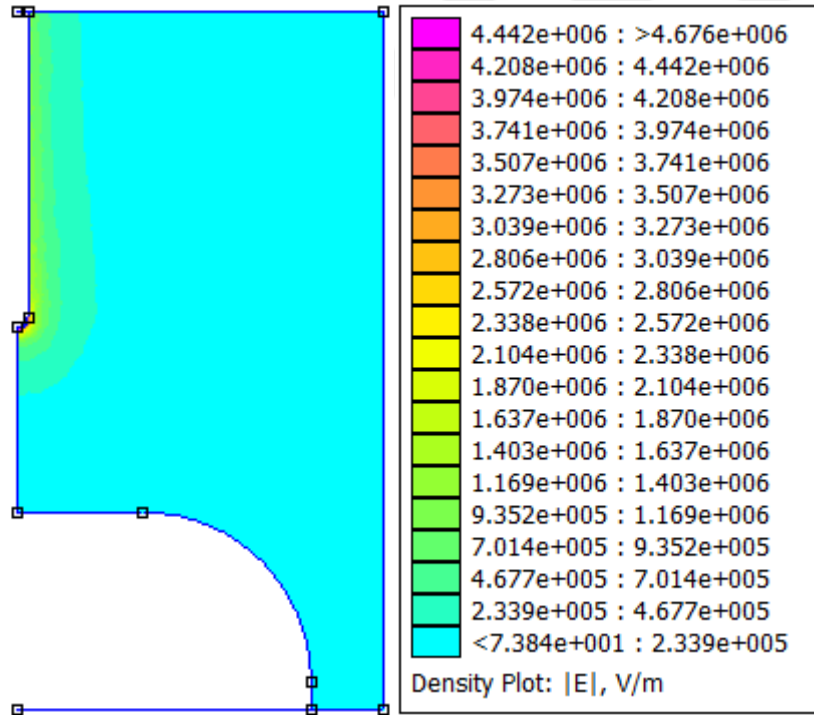
Şekil G.5 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



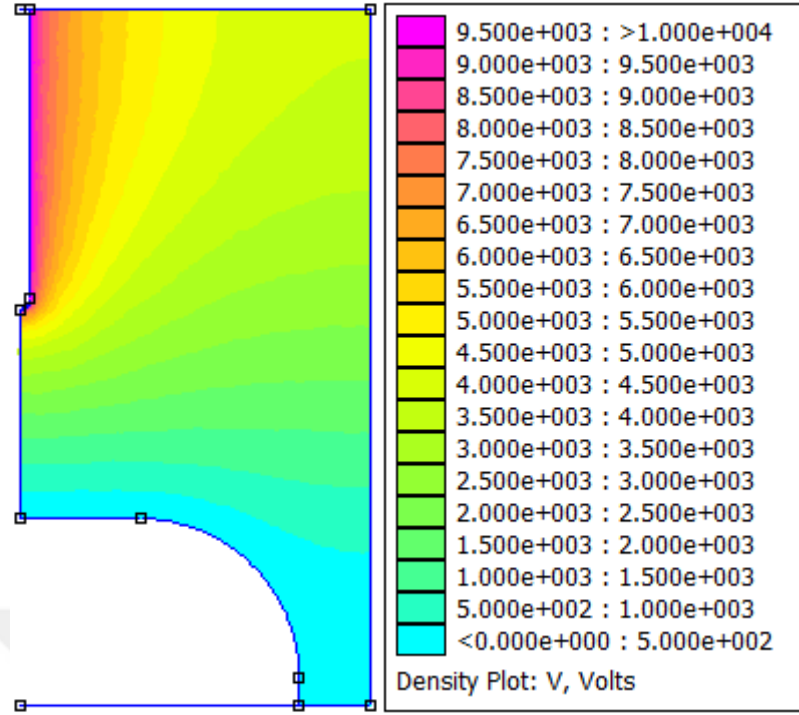
Şekil G.6 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



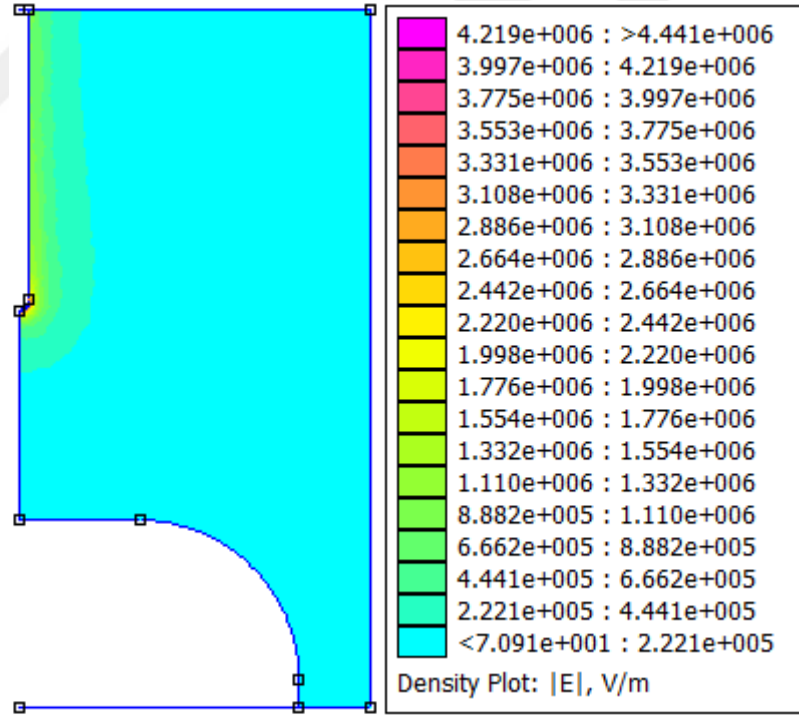
Şekil G.7 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



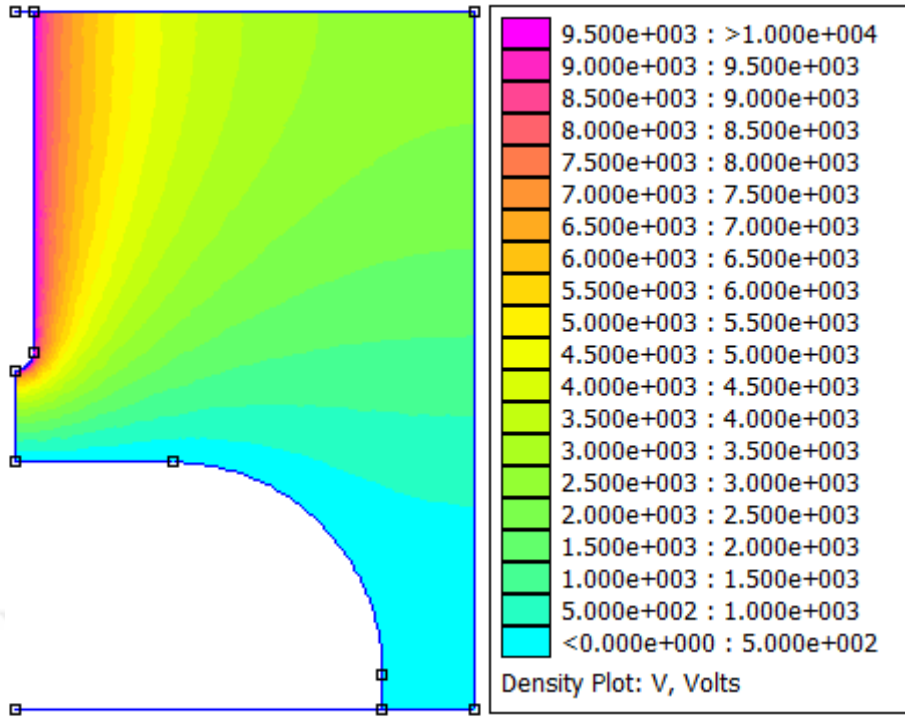
Şekil G.8 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



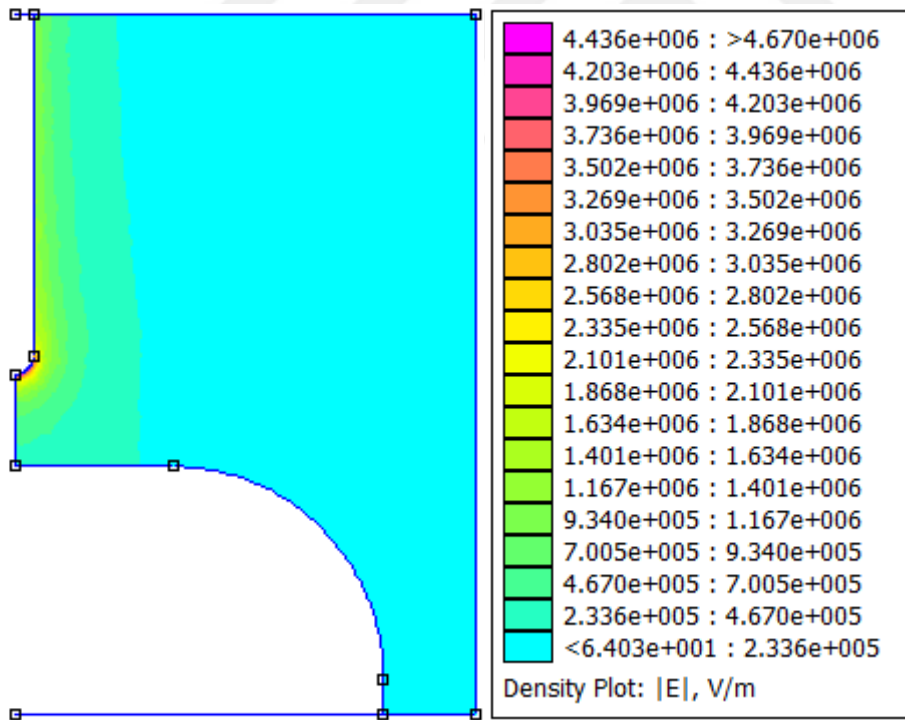
Şekil G.9 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



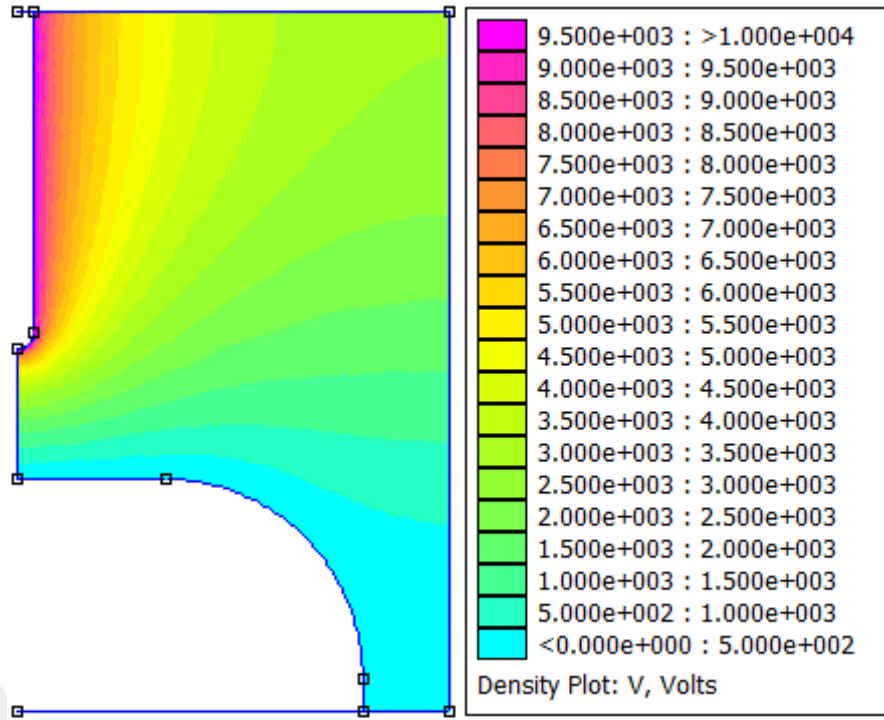
Şekil G.10 : 1,5 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



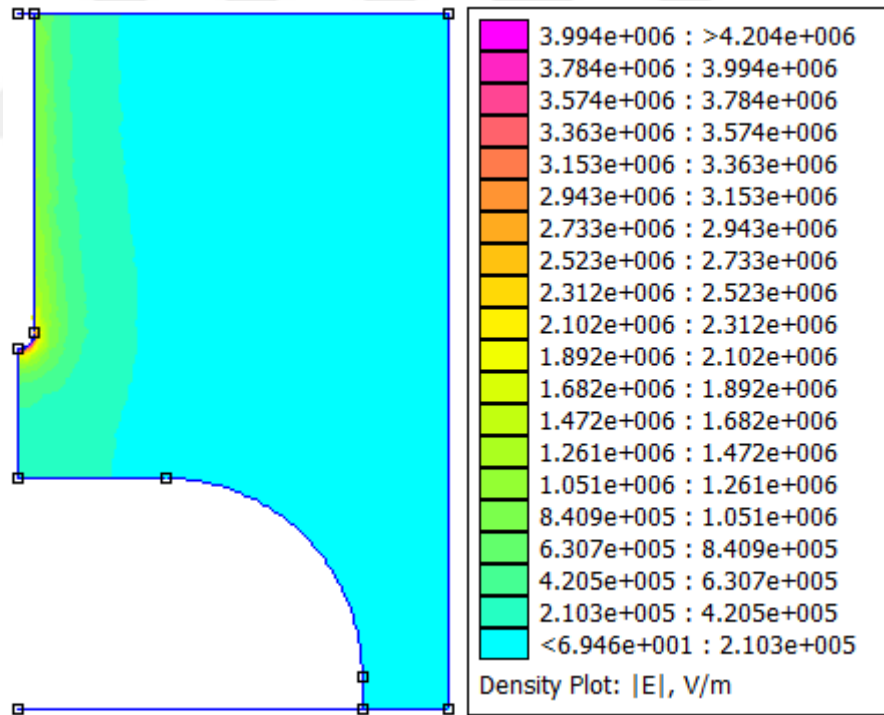
Şekil G.11 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



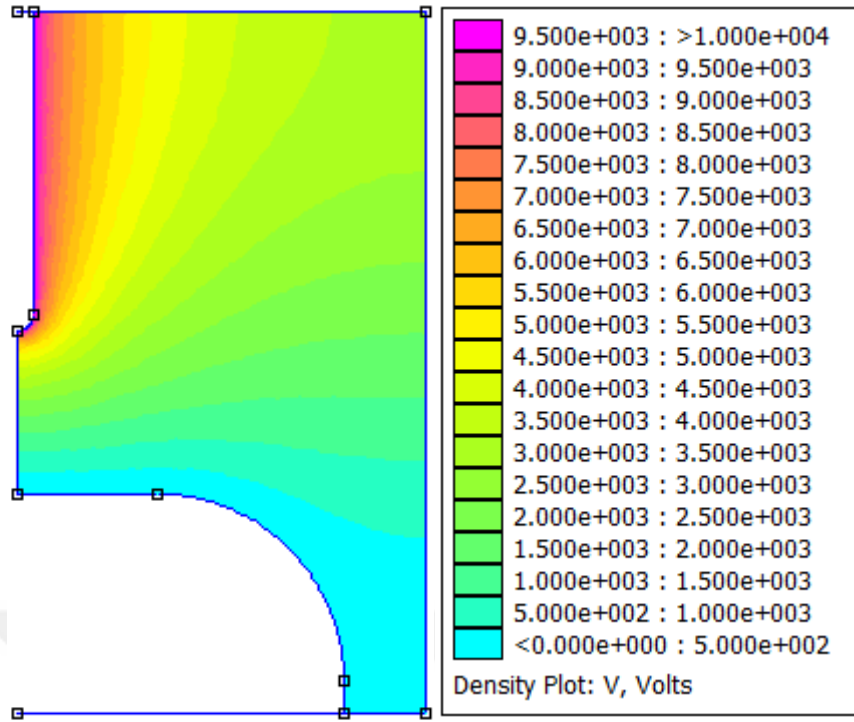
Şekil G.12 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



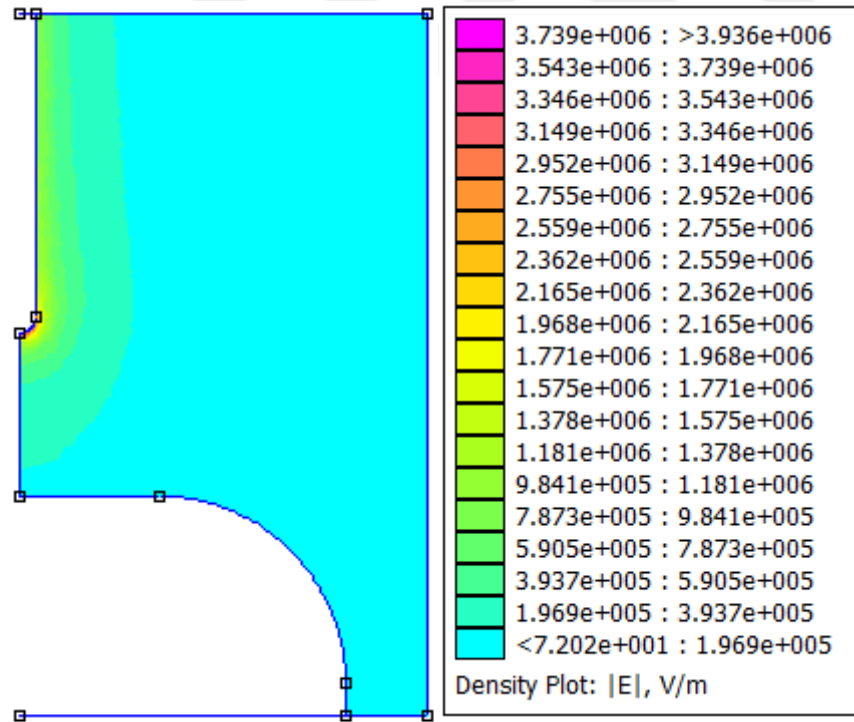
Şekil G.13 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



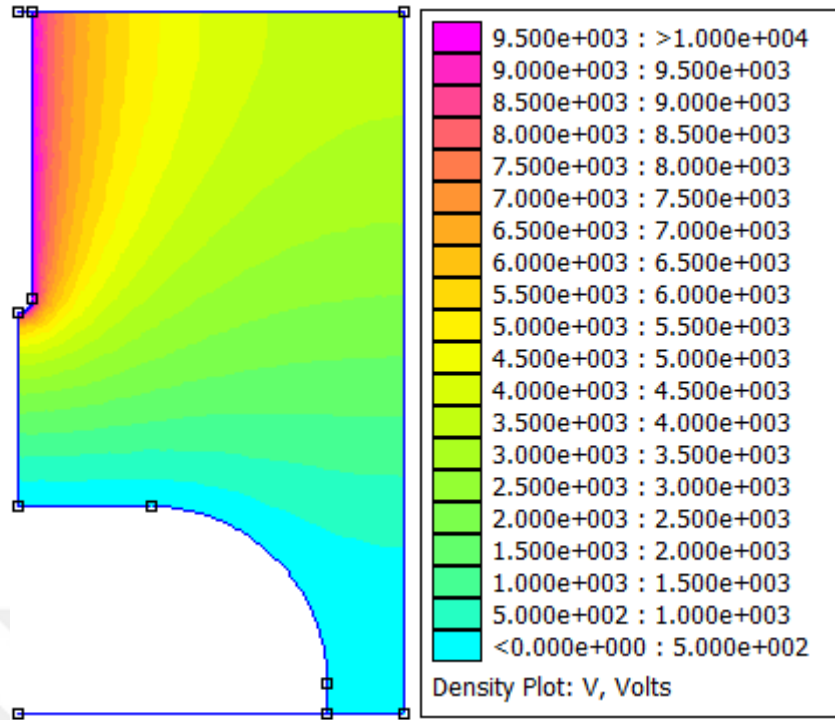
Şekil G.14 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 1,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



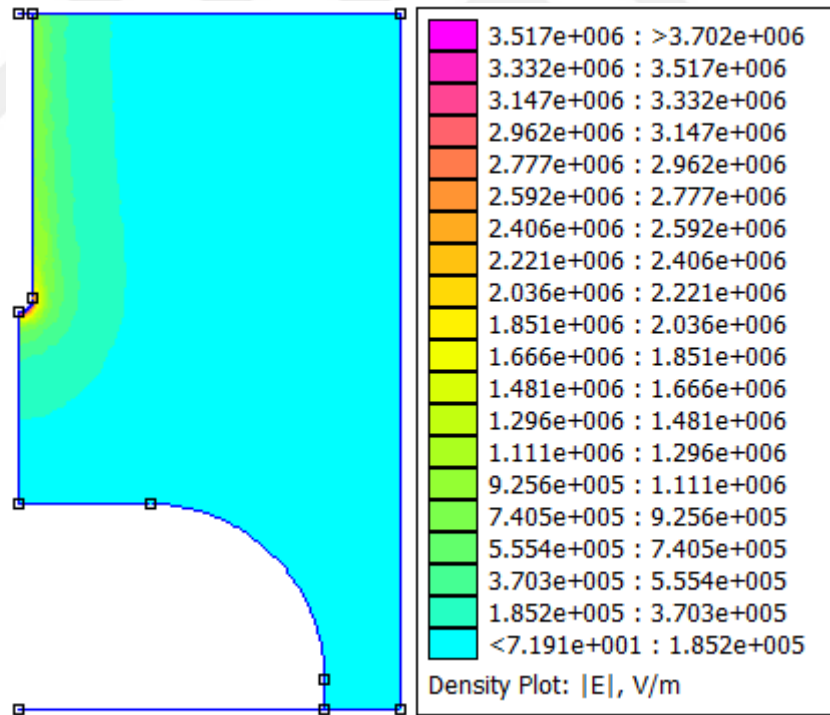
Şekil G.15 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



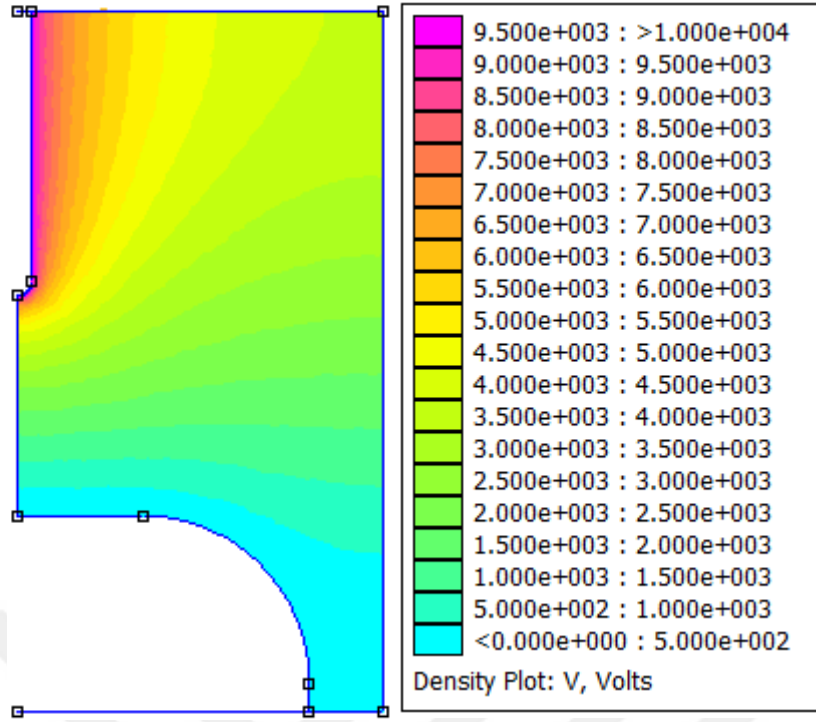
Şekil G.16 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



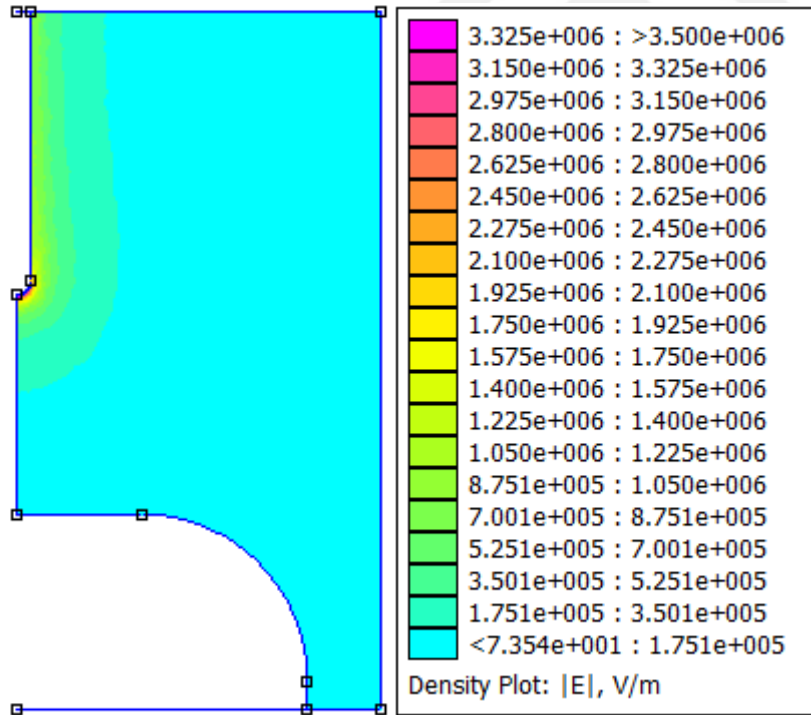
Şekil G.17 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



Şekil G.18 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 2,5 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.



Şekil G.19 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında potansiyel dağılımı.



Şekil G.20 : 2 mm yarıçaplı çubuk elektrot ile Rogowski düzlem arasında 3 cm açıklıkta FEMM 4.2 programında elektrik alan dağılımı.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Tuncer DÖNMEZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 27.01.1984 / Kırcaali
E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Çift Lisans** : 2009, Yıldız Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Siyaset Bilimi ve Uluslararası İlişkiler.
- **Lisans** : 2008, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği.