

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜZGÜN OLMAYAN ALANDA PARAVANALARIN
HAVANIN DELİNME DAYANIMINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Alper KARA

Anabilim Dalı: Elektrik Mühendisliği

Programı: Elektrik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Kevork MARDİKYAN

HAZİRAN 2005

**DÜZGÜN OLMAYAN ALANDA PARAVANALARIN
HAVANIN DELİNME DAYANIMINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Alper KARA
(504031002)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 2 Haziran 2005

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Kevork MARDİKYAN (İ.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Özcan KALENDERLİ (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Celal KOCATEPE (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2005

ÖNSÖZ

Böyle bir konuda çalışma yapmam için beni harekete geçiren, çalışma sırasında yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, tez danışmanlığımı yapan değerli hocam Prof. Dr. Kevork MARDİKYAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmanın özellikle bilgisayar ile olan kısımlarında çok değerli yardımlarını gördüğüm Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ'ye, tezin hazırlanmasında, yazılmasında ve şekillendirilmesinde büyük emeği geçen Dr. Emel ÖNAL'a ve deneysel çalışmalar sırasında destek ve yardımlarını gördüğüm tüm laboratuvar görevlilerine teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve emeği geçen tüm arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Haziran, 2005

Müh. Alper KARA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. DÜZGÜN OLMAYAN ALANDA GAZLARDA BOŞALMA TEORİLERİ	5
2.1. Giriş	5
2.2. İyonizasyon Türleri	5
2.2.1. Çarpma Sureti İle İyonizasyon	6
2.2.2. Foto İyonizasyon	7
2.2.3. Termik İyonizasyon	8
2.2.4. Yüzeysel İyonizasyon	8
2.3. Townsend Delinme Teorisi	9
2.4. Kanal Delinme Teorisi	11
2.5. Düzgün Olmayan Alanlarda Boşalma Olayları	17
3. DENEYLERDE KULLANILAN AYGITLAR VE ÖZELLİKLERİ	23
3.1. Deneylerde Kullanılan Düzenler	23
3.1.1. Elektrot Sistemi	23
3.1.2. Paravanalar ve Özellikleri	24
3.2. Yüksek Gerilimlerin Elde Edilmesi ve Ölçülmesi	26
3.2.1. Yüksek Alternatif Gerilimin Elde Edilmesi ve Ölçülmesi	26
3.2.2. Yüksek Doğru Gerilimin Elde Edilmesi ve Ölçülmesi	27
3.3. Deney Yöntemi	29
4. DENEY SONUÇLARI	31
4.1. Alternatif Gerilim	31
4.1.1. Paravanaların Düzlem Elektrodun Üzerine Yerleştirildiği Durum	31
4.1.2. Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum	34
4.1.3. Aynı Malzemeden Hazırlanan Farklı Şekillerdeki Paravanaların Karşılaştırılması	36
4.1.4. Farklı Malzemelerden Hazırlanan Aynı Boyutlardaki Paravanaların Karşılaştırılması	37
4.2. Doğru Gerilim	38
4.2.1. Pozitif Doğru Gerilim	38
4.2.1.1. Paravanaların Düzlem Elektrodun Üzerine Yerleştirildiği Durum	38
4.2.1.2. Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum	41

4.2.2. Negatif Doğru Gerilim	44
4.2.2.1. Paravanaların Düzlem Elektrodun Üzerine Yerleştirildiği Durum	44
4.2.2.2. Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum	47
5. BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU	49
5.1.150 mm Çapındaki Kauçuk Paravananın Düzlem Elektrodun Üzerine Yerleştirildiği Durumun Simülasyonu	50
5.2. 75 mm Çapındaki PVC Paravananın Havada Asılı Olduğu Durumun Simülasyonu	60
6. DENEY SONUÇLARININ YORUMLANMASI	70
6.1. Alternatif Gerilim Deneylerine İlişkin Yorumlar	70
6.2. Doğru Gerilim Deneylerine İlişkin Yorumlar	72
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	78
EK-A	80
EK-B	116
ÖZGEÇMİŞ	122

KISALTMALAR

SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
FEMM	: Finite Element Method Magnetics
PVC	: Polivinilklorür
AG	: Alternatif Gerilim
DG	: Doğru Gerilim
YG	: Yüksek Gerilim
TS	: Türkiye Standartları
EN	: European Norm
IEC	: International Electrotechnical Commission
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo B.1. Alternatif Gerilimde Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerinde Bulunduğu Duruma Ait Deney Verileri.....	116
Tablo B.2. Alternatif Gerilimde Paravanaların Havada Asılı Olduğu Duruma Ait Deney Verileri	117
Tablo B.3. Pozitif Doğru Gerilimde Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerinde Bulunduğu Duruma Ait Deney Verileri	118
Tablo B.4. Pozitif Doğru Gerilimde Paravanaların Havada Asılı Olduğu Duruma Ait Deney Verileri	119
Tablo B.5. Negatif Doğru Gerilimde Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerinde Bulunduğu Duruma Ait Deney Verileri	120
Tablo B.6. Negatif Doğru Gerilimde Paravanaların Havada Asılı Olduğu Duruma Ait Deney Verileri	121

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Kanal mekanizmasında iletken katot kanalın gelişiminin şematik olarak gösterilişi.....	12
Şekil 2.2 : Anot kanalın gelişimi.....	13
Şekil 2.3 : Negatif çubuk-pozitif düzlem elektrot sisteminde deşarjın oluşumu..	14
Şekil 2.4 : Pozitif çubuk-negatif düzlem elektrot sisteminde deşarjın oluşumu...	15
Şekil 2.5 : Ekranlanmış (+) kutuplu çubuk elektrot.....	16
Şekil 2.6 : Düzgün elektrik alanında doğru ve alternatif gerilimde $U_d = f(a)$ eğrileri.....	17
Şekil 2.7 : Düzgün olmayan elektrik alanında ve doğru gerilim halinde $U_d = f(a)$ eğrileri.....	19
Şekil 2.8 : Düzgün olmayan elektrik alanında ve alternatif gerilimde $U_d = f(a)$ eğrileri.....	20
Şekil 2.9 : Farklı nem derecelerinde çubuk - çubuk elektrot sistemine ait 50 Hz alternatif gerilimdeki $U_d = f(a)$ eğrileri.....	21
Şekil 3.1 : Deneylerde kullanılan çubuk – düzlem elektrot sistemi.....	23
Şekil 3.2 : Alternatif gerilim deney montajı.....	27
Şekil 3.3 : Doğru gerilim deney montajı.....	28
Şekil 3.4 : Greinacher gerilim katlama devresi.....	28
Şekil 4.1 : Alternatif gerilimde kauçuk paravanaların düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	31
Şekil 4.2 : Alternatif gerilimde beyaz renkli PVC paravanaların düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	32
Şekil 4.3 : Alternatif gerilimde şeffaf olan PVC paravanaların düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	32
Şekil 4.4 : Alternatif gerilimde kauçuk paravanaların havada asılı olduğu durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	34
Şekil 4.5 : Alternatif gerilimde beyaz renkli PVC paravanaların havada asılı olduğu durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	34
Şekil 4.6 : Alternatif gerilimde şeffaf olan PVC paravanaların havada asılı olduğu durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	35
Şekil 4.7 : Alternatif gerilimde aynı malzemeden yapılan farklı şekillerdeki paravanaların düzlem elektrot üzerine yerleştirildikleri durum için havanın delinme gerilimi değerleri	36
Şekil 4.8 : Alternatif gerilimde farklı malzemelerden yapılan aynı boyutlardaki paravanaların düzlem elektrot üzerine yerleştirildikleri durum için havanın delinme gerilimi değerleri	37

Şekil 4.9	: Pozitif doğru gerilimde kauçuk paravanaların düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durum için havanın delinme gerilimi değerleri.	38
Şekil 4.10	: Pozitif doğru gerilimde beyaz renkli PVC paravanaların düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	39
Şekil 4.11	: Pozitif doğru gerilimde şeffaf olan PVC paravanaların düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	39
Şekil 4.12	: Pozitif doğru gerilimde kauçuk paravanaların havada asılı olduğu durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	41
Şekil 4.13	: Pozitif doğru gerilimde beyaz renkli PVC paravanaların havada asılı olduğu durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	41
Şekil 4.14	: Pozitif doğru gerilimde beyaz renkli PVC paravanaların havada asılı olduğu durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	42
Şekil 4.15	: Negatif doğru gerilimde kauçuk paravanaların düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durum için havanın delinme gerilimi değerleri.	44
Şekil 4.16	: Negatif doğru gerilimde beyaz renkli PVC paravanaların düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	44
Şekil 4.17	: Negatif doğru gerilimde şeffaf olan PVC paravanaların düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	45
Şekil 4.18	: Negatif doğru gerilimde kauçuk paravanaların havada asılı olduğu durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	47
Şekil 4.19	: Negatif doğru gerilimde beyaz renkli PVC paravanaların havada asılı olduğu durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	47
Şekil 4.20	: Negatif doğru gerilimde şeffaf olan PVC paravanaların havada asılı olduğu durum için havanın delinme gerilimi değerleri.....	48
Şekil 5.1	: Çubuk-düzlem elektrot sisteminde kauçuk paravananın düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durumun FEMM programıyla tanımlanması.....	50
Şekil 5.2	: Çubuk-düzlem elektrot sisteminde kauçuk paravananın düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durum için oluşturulan SEY ağı	51
Şekil 5.3	: Çubuk-düzlem elektrot sisteminde paravananın düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durum için elde edilen potansiyel dağılımı	53
Şekil 5.4	: Çubuk elektrodun ucundaki potansiyel dağılımı.....	54
Şekil 5.5	: Çubuk-düzlem elektrot sisteminde paravananın düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durum için eşpotansiyel çizgilerin gösterilmesi	55
Şekil 5.6	: İki elektrot arasındaki potansiyelin açıklığa bağlı olarak dağılımı.....	57
Şekil 5.7	: İki elektrot arasındaki elektrik alan şiddetinin açıklığa bağlı olarak değişimi.....	57
Şekil 5.8	: Paravananın yarı yüzeyindeki potansiyel dağılımı.....	58
Şekil 5.9	: Paravananın yarı yüzeyindeki elektrik alan dağılımı.....	58
Şekil 5.10	: Çubuk-düzlem elektrot sisteminde PVC paravananın havada asılı olduğu durumun FEMM programıyla tanımlanması.....	60
Şekil 5.11	: Çubuk-düzlem elektrot sisteminde PVC paravananın havada asılı olduğu durum için oluşturulan SEY ağı.....	61
Şekil 5.12	: Çubuk-düzlem elektrot sisteminde PVC paravananın havada asılı olduğu durum için elde edilen potansiyel dağılımı.....	63

Şekil 5.13 : Çubuk elektrodun ucundaki potansiyel dağılımı.....	64
Şekil 5.14 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde PVC paravanoanın havada asılı olduğu durum için eşpotansiyel çizgilerin gösterilmesi.....	65
Şekil 5.15 : İki elektrot arasındaki potansiyelin açıklığa bağlı olarak dağılımı.....	67
Şekil 5.16 : İki elektrot arasındaki elektrik alan şiddetinin açıklığa bağlı olarak değişimi.....	67
Şekil 5.17 : Paravanoanın yarı yüzeyindeki potansiyel dağılımı.....	68
Şekil 5.18 : Paravanoanın yarı yüzeyindeki elektrik alan dağılımı.....	68
Şekil A.1 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 10 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 37.5 mm çapındaki kauçuk paravana.....	80
Şekil A.2 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 20 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 37.5 mm çapındaki kauçuk paravana.....	81
Şekil A.3 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 30 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 37.5 mm çapındaki kauçuk paravana.....	82
Şekil A.4 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 40 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 37.5 mm çapındaki kauçuk paravana.....	83
Şekil A.5 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 50 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 37.5 mm çapındaki kauçuk paravana.....	84
Şekil A.6 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 10 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 75 mm çapındaki PVC paravana.....	85
Şekil A.7 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 20 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 75 mm çapındaki PVC paravana.....	86
Şekil A.8 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 30 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 75 mm çapındaki PVC paravana.....	87
Şekil A.9 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 40 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 75 mm çapındaki PVC paravana.....	88
Şekil A.10 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 50 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 75 mm çapındaki PVC paravana.....	89
Şekil A.11 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 10 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 150 mm çapındaki kauçuk paravana.....	90
Şekil A.12 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 20 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 150 mm çapındaki kauçuk paravana.....	91
Şekil A.13 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 30 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 150 mm çapındaki kauçuk paravana.....	92
Şekil A.14 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 40 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 150 mm çapındaki kauçuk paravana.....	93
Şekil A.15 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 50 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 150 mm çapındaki kauçuk paravana.....	94
Şekil A.16 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 10 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 195 mm çapındaki PVC paravana.....	95
Şekil A.17 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 20 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 195 mm çapındaki PVC paravana.....	96
Şekil A.18 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 30 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 195 mm çapındaki PVC paravana.....	97
Şekil A.19 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 40 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 195 mm çapındaki PVC paravana.....	98
Şekil A.20 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde 50 mm açıklıkta düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 195 mm çapındaki PVC paravana.....	99

Şekil A.21 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 10 mm uzaklığa yerleştirilen 37.5 mm çapındaki kauçuk paravana.....	100
Şekil A.22 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 20 mm uzaklığa yerleştirilen 37.5 mm çapındaki kauçuk paravana.....	101
Şekil A.23 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 30 mm uzaklığa yerleştirilen 37.5 mm çapındaki kauçuk paravana.....	102
Şekil A.24 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 40 mm uzaklığa yerleştirilen 37.5 mm çapındaki kauçuk paravana.....	103
Şekil A.25 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 10 mm uzaklığa yerleştirilen 75 mm çapındaki PVC paravana.....	104
Şekil A.26 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 20 mm uzaklığa yerleştirilen 75 mm çapındaki PVC paravana.....	105
Şekil A.27 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 30 mm uzaklığa yerleştirilen 75 mm çapındaki PVC paravana.....	106
Şekil A.28 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 40 mm uzaklığa yerleştirilen 75 mm çapındaki PVC paravana.....	107
Şekil A.29 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 10 mm uzaklığa yerleştirilen 150 mm çapındaki kauçuk paravana.....	108
Şekil A.30 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 20 mm uzaklığa yerleştirilen 150 mm çapındaki kauçuk paravana.....	109
Şekil A.31 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 30 mm uzaklığa yerleştirilen 150 mm çapındaki kauçuk paravana.....	110
Şekil A.32 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 40 mm uzaklığa yerleştirilen 150 mm çapındaki kauçuk paravana.....	111
Şekil A.33 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 10 mm uzaklığa yerleştirilen 195 mm çapındaki PVC paravana.....	112
Şekil A.34 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 20 mm uzaklığa yerleştirilen 195 mm çapındaki PVC paravana.....	113
Şekil A.35 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 30 mm uzaklığa yerleştirilen 195 mm çapındaki PVC paravana.....	114
Şekil A.36 : Çubuk-düzlem elektrot sisteminde düzlem elektrottan 40 mm uzaklığa yerleştirilen 195 mm çapındaki PVC paravana.....	115

SEMBOL LİSTESİ

a	: Elektrot açıklığı
α	: Elektronun iyonlaştırma katsayısı
C	: Kapasite
D	: Difüzyon katsayısı
E	: Elektrik alan şiddeti
E_{ort}	: Ortalama elektrik alan şiddeti
E_{max}	: Maksimum alan şiddeti
E_r	: Uzay yükünden kaynaklanan radyal alan
ϵ	: Gazın dielektrik katsayısı
ϵ_0	: Boşluğun dielektrik katsayısı
ϵ_r	: Bağlı dielektrik katsayısı
e	: Tabii logaritma tabanı
f	: Frekans
I	: Elektrik akımı
K	: Elektron devirgenliği
m	: Kütle
λ	: Ortalama serbest yol
n_x	: Katottan x uzaklığındaki elektron sayısı
n₀	: Başlangıç elektron sayısı
ϕ	: Çap
Ω	: Ohm
p	: Gaz basıncı
q	: Elektrik yükü
R	: Direnç
r	: Yarıçap
t	: Zaman
U_d	: Delinme gerilimi
U	: Gerilim
U_a	: Çıkış gerilimi
U₀	: Korona başlangıç gerilimi
U_{ef}	: Efikas (etkin) gerilim
x	: Çıgın kattettiği yol
V	: Potansiyel
v_{ef}	: Efikas (etkin) hız
W	: Enerji
W_i	: İyonizasyon enerjisi
W_a	: Çıkış enerjisi

DÜZGÜN OLMAYAN ALANDA PARAVANALARIN HAVANIN DELİNME DAYANIMINA ETKİSİ

ÖZET

Gazlarla birlikte, katı ve sıvı yalıtkan malzemelerin özellikleri yüksek gerilim teknolojisi açısından büyük önem taşır. Bütün gelişmelere rağmen, bu ortamlarda gözlenen fiziksel olaylar teorik yollarla tamamen açıklanamadığından, deneyler bu alandaki bilimsel araştırmaların esasını oluşturur. Tezde yapılan çalışma ile yalıtkan paravanaların, deney ortamı olan havada, elektrotlardan birinin üzerinde veya havada asılı olduğu durumlardaki delinme gerilimi değerleri ölçülerek grafikler halinde detaylı olarak verilmiştir.

Deneylerde, yüksek gerilim ile ilgili araştırmalarda, düzgün olmayan alanda yalıtım davranışını incelemek ve belirlemek için yaygın olarak kullanılan temel elektrot sistemlerinden birisi olan çubuk-düzlem elektrot düzeni ile çalışılmıştır. Deneylerde çubuk elektroda sırasıyla, alternatif, pozitif ve negatif doğru gerilimler uygulanarak, düzlem elektrot topraklanmıştır.

Elektrotlar arasına yerleştirilen paravanaların havanın delinme dayanımı üzerindeki etkisini tam olarak görebilmek ve farklı malzemeler için de karşılaştırma yapabilmek amacıyla, biri kauçuk, diğer ikisi ise PVC (polivinil klorür) malzemeden imal edilmiş olan 3 farklı tipte paravana kullanılmıştır.

Paravanaların sadece hava aralığındaki etkisi incelenmiş olup, paravanalar daha çokdeşarj yolundaki iyonların hareketini güçleştirmek suretiyle elektrik alanının deformasyonu açısından kullanılmıştır. Tezde genel olarak, yapılan deneyler ile söz konusu paravanaların aynı koşullarda davranışlarını gözlemlemek, karşılaştırmak ve değerlendirmek amaçlanmıştır.

Deneyisel çalışmalara ek olarak, özellikle elektrik mühendisliği dalında sıkça kullanılan, manyetik ve elektrostatik problemlerin çok kısa sürede ve büyük bir doğrulukla çözümüne imkan tanıyan FEMM (Finite Element Method Magnetics) adlı analiz programı yardımıyla bilgisayar ortamında da çalışılmıştır. SEY (Sonlu Elemanlar Yöntemi) ile çözüm yapan bu paket program sayesinde, sistemin potansiyel ve elektrik alan dağılımları detaylı olarak incelenmiştir.

Deney ortamının bilgisayarla simülasyonu, deneyler sonucunda ortaya çıkan sonuçların ve grafiklerin yorumlanmasında büyük bir kolaylık sağlamıştır. Özellikle yüksek gerilim ile ilgili deney yapmanın zorluklarından dolayı, bu çalışma, teori ve pratiğin karşılaştırılması bakımından da iyi bir fırsat olmuştur.

Sonuç olarak, paravanaların gerilim uygulanan çubuk elektroda yaklaştırıldıklarında havanın delinme gerilimini büyük ölçüde arttırdıkları, boyutu küçük olan paravanaların ancak, elektrot açıklığı azaldığında etkili olmaya başladıkları görülmüştür. Ayrıca, doğru gerilim ile yapılan deneylerde negatif kutbiyetteki

delinme gerilimi değerlerinin pozitif gerilimlere oranla daha yüksek olduğu görülmüştür.

Tezin ilgili bölümlerinde verilen grafik ve şekillere ek olarak, bilgisayar ortamında yapılan çalışmaların bütün ayrıntıları Ek-A kısmında, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen tüm veriler ise Ek-B kısmında verilmiştir.

THE EFFECT OF INSULATING BARRIERS ON THE BREAKDOWN VOLTAGE OF AIR IN INHOMOGENEOUS FIELD

SUMMARY

The insulation specifications of gaseous, liquid and solid insulating materials are very important in high voltage technology. Beyond the developments, some physical conditions can not be described by the theoretical facts so; experiments are still the basis of the researches. In this study, the effect of insulating barriers on the breakdown voltage of air in inhomogeneous fields is observed. The graphs that are formed from the experimental results were given and discussed on.

A versatile, modular test setup was designed and used for the experiments. The hemispherically capped rod-plane gap has been extensively used for studies on the breakdown characteristics of air. Tests were conducted in order to measure the 50 Hz AC, positive and negative DC breakdown voltage of small air gaps (up to 50 mm) formed by energized rod and grounded plane electrodes with an insulating barrier between them. The diameter of the rod used for the experiments was 2 mm and the diameter of the plane was 75 mm.

To observe the material effect on the breakdown voltage, three different types of insulating barriers was used which are made of rubber and PVC (polyvinyl chlorur). Only the effect of the barriers in air gaps is observed and they are mostly used for decreasing the movement ability of the ion particles in the field. No publication in the open literature describing experiments with cylindrical barriers in such an electrode system has been found.

The project took place in the High Voltage Laboratory of İstanbul Technical University (İTÜ). Floor area of the HV Laboratory is 18 x 10 m.sq. and the ceiling-to-floor clearance is 8 m. It has an adjacent upper level observation room and the main hall is completely shielded electromagnetically.

In addition, the experiments are simulated with FEMM 4.0 (Finite Element Method Magnetics) analysis program in computer. This useful computer program has the ability to solve the electrostatics and magnetics problems very quickly with high precision.

As a result, the maximum flashover voltages were observed when the barriers were positioned at the nearest point to the rod electrode. Also, it is observed that the small sized barriers become effective in very small air gaps. The test results at negative polarity of the rod were higher than the results of positive polarity tests.

1. GİRİŞ

Hava veya diğer gazlar bütün izolasyon problemlerinde az veya çok ölçüde izolasyona katkıda bulunduklarından dolayı, yüksek gerilimlerde gazların delinme dayanımının bilinmesi çok önemlidir. Yüksek gerilim aygıtlarının izolasyon bakımından boyutlandırılması ancak, bunun sonucu olarak mümkün olabilir.

Genel olarak dış etkilerden korunmuş nötr bir gaz boşluk gibi elektriği iletmez. Gazdan bir akımın geçmesi, ancak, gazın içinde elemanter elektrik parçacıkları (elektronlar veya iyonlar) varsa mümkündür. Normal şartlarda havada devamlı olarak az sayıda her iki işaretli iyonlar mevcuttur (1 cm^2 havada yaklaşık 500 iyon çifti); bu yüzden hava ideal bir izolator değildir. Eğer bir hava aralığında küçük bir potansiyel farkı meydana gelirse, hava aralığından çok küçük bir akım geçer. Eğer uygulanan gerilim yavaş yavaş arttırılırsa, belirli bir gerilim değerinde ani bir akım yükselmesi olur ve böylece hava veya gaz yalıtkanlık özelliklerini kaybeder. Hava veya gazın yalıtkan durumdan iletken duruma geçmesine deşarj veya boşalma olayı denir.

Atmosfer basıncı ve daha yüksek basınçlar için bir deşarjın oluşumu, ince bir kanalla karakterize olur. Gazın delinmesi, elektrotlar arasında birdenbire meydana gelen yüksek iletkenli bir kanalın sonucudur. Delinme sırasında gazın ulaştığı yüksek iletkenlik, gaz içinde gazın nötr molekül veya atomlarından meydana gelmesi gereken çok sayıda iyon ve elektronların varlığının bir göstergesidir. Delinmenin sebebi, ancak, gaz içindeki elektrik alanının etkisiyle oluşan kuvvetli bir iyonizasyon olabilir [1,2].

Genel olarak yüksek gerilim aygıtlarının çoğunda alanın düzgün olmadığı, hatta yer yer düzgünsüzlük derecesi yüksek olan alan dağılımlarına bile rastlanabildiği bir gerçektir. Bu tezde yer alan deneylerde kullanılan elektrot sistemi, yüksek gerilim ile ilgili araştırmalarda, düzgün olmayan alanda yalıtım davranışını incelemek ve belirlemek için yaygın olarak kullanılan temel elektrot sistemlerinden birisi olan çubuk-düzlem elektrot sistemidir. Bu tür sistemlere uygulanan gerilim yükseltildiğinde boşalma olayı, daima, alan şiddetinin, elektrotlar arasındaki ortamın

(havanın) boşalma başlangıç alan şiddetine eşit veya büyük olduğu bölgede (sivri uç ve civarındaki bölgede) başlar ve eğrilik yarıçapı küçük olan elektrodun kutbiyetine bağlı olarak gelişir. Bu şekilde, sivri uç gibi küçük eğrilik yarıçaplı elektrotlarda görülen, tam olmayan fakat kendi kendini besleyen boşalmalara korona boşalması adı verilir. Korona boşalması, sivri uç ve civarında, küçük bir bölgede olan bir kısmi boşalmadır. Ancak, elektrotlara uygulanan gerilim yükseltilmeye devam edilirse, elektrotlar arasında yine kendi kendini besleyen, delinme adını verdiğimiz tam bir boşalma olayı meydana gelir.

Düzgün olmayan alanda korona ve delinme olayları çok yönlü ve geniş olarak araştırılan olaylar olup, bu konuda zengin literatür kaynakları bulunmaktadır [11-14]. Literatürde verilen bilgiler, genelde, düzgün olmayan alanda boşalma olayını (korona ve delinme olaylarını) incelemek ve açıklamak bakımından iyi bir örnek olan, tezle ilgili yapılan deneylerde de kullanılan, küçük eğrilik yarıçaplı çubuk-düzlem ve buna ek olarak sivri uç-düzlem elektrot sistemleri üzerinedir.

Havada ve yağ içinde (geçit izolatörleri, transformatörler) izolasyon yollarının delinme gerilimini yükseltmek amacıyla genellikle yalıtkan paravanalar kullanılır. Paravanalar yalıtkan bir malzemeden ince levhalar şeklinde imal edilirler ve elektrotlar arasında eşpotansiyel yüzeylerden biri boyunca yerleştirilirler. Paravanaların kendi delinme gerilimlerinin, sistemin delinme gerilimi üzerinde tek başına büyük bir önemi yoktur. Uygulanan gerilim delinme gerilimine yaklaştığı zaman paravananın elektriksel dayanımı önemli bir rol oynamaya başlar. Kullanılan paravanalarda yer yer delinmeler olabilir. Bu sebeple meydana gelen delikler yüzünden ön deşarj kanalları oluşur ve tam bir deşarj görülebilir. Paravanaların mevcut delikleri veya yapısından kaynaklanan diğer kusurları delinme dayanımı üzerindeki etkisini azaltır ve hatta tamamen yok eder.

Yapılan literatür taramalarında elektrotlar arasına yerleştirilen yalıtkan paravanaların delinme gerilimine etkisi ile ilgili benzer çalışmalar incelenerek, aşağıda özetlenen durumlar ve sonuçlarla karşılaşılmıştır.

K. F. Woloschtschenko, eşeksenli (koaksiyel) silindirselsel bir elektrot düzeninin, elektrotlar arasına silindirik bir paravana yerleştirmek suretiyle alan dağılımını, kendi geliştirdiği bir dielektrik sonda ile ölçmüştür. Woloschtschenko, alan şiddeti dağılımının, bir özgül paravana yük yoğunluğu σ [C/cm²] kabulü ile

hesaplanabileceğini göstermiştir. Hesap sonuçlarının deney sonuçlarına çok iyi uyduğu görülmüştür [2].

D. Kind, düzgün olmayan alanda, sivri uç-düzlem elektrot düzeniyle yaptığı deneylerle polaritenin delinme gerilimine etkisini incelemiştir. Deneyler sonucunda, negatif sivri uç durumunda delinme gerilimi değerlerinin elektrotlar arasındaki açıklıkla doğru orantılı olarak arttığını, pozitif sivri uçta ise delinme geriliminin, negatif sivri uç doğrusunun alt kısmında kalacak şekilde, elektrot açılığıyla birlikte eğimi gittikçe azalan bir eğri şeklinde arttığını gözlemlemiştir. Ayrıca Kind, paravananın konumunun delinme gerilimine etkisini de inceleyerek, paravananın üstteki elektroda yaklaştırılmasıyla birlikte delinme geriliminin arttığını da görmüştür [8].

I. Fofana, A. Béroual ve A. Boubakeur sivri uç-düzlem elektrot sistemiyle pozitif darbe geriliminde, 1.5 m gibi büyük elektrot açıklıklarında yalıtkan paravanaların delinme gerilimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmadaki asıl amaçları paravanaların delinme gerilimi üzerindeki etkisini en üst düzeye çıkaracak olan paravana konumunu belirleyebilmektir. Deneysel çalışmalar ile sayısal hesaplamaların büyük bir uyum halinde olduğunu görmüşlerdir [11].

Stephen A. Sebo, J. Kahler, S. Hutchins ve diğerleri yaptıkları çalışmada, yalıtkan paravanaların 60 Hz'lik alternatif gerilim altında çubuk-çubuk elektrot sistemlerindeki etkisini incelemişlerdir. Deneylerde, 5-20 cm elektrot açıklıklarında çalışılmış ve sonuçta, sayısal hesaplamalara uygun olarak, paravanaların çubuk-çubuk elektrot sisteminin orta noktasına yerleştirildiğinde en az etkiyi gösterdiğini gözlemlemişlerdir [12].

Tezde yapılacak olan çalışmada, çubuk-düzlem elektrot sisteminde, elektrotlara önce endüstriyel frekanslı (50 Hz) alternatif gerilim, daha sonra da kutbiyetin etkisini görebilmek için pozitif ve negatif doğru gerilimler uygulanacaktır.

Deneylerde paravanaların havanın delinme dayanımı üzerindeki etkisini tam olarak görebilmek ve karşılaştırma yapabilmek amacıyla biri kauçuk, diğer ikisi ise PVC malzemeden imal edilmiş olan 3 farklı tipteki paravanalar kullanılacaktır. Kalınlıkları 3 mm olan farklı çaplardaki silindirik şeklindeki paravanalar önce farklı elektrot açıklıkları için düzlem elektrot üzerinde ve daha sonra ise sabit elektrot açıklığında yalıtkan bir ağ yardımıyla havada farklı konumlarda sabitlenerek

ölçümler yapılacaktır. Ayrıca, delinme gerilimi üzerinde geometri ve yüzey alanı etkisini de görebilmek için aynı ölçümler kare şeklindeki numuneler ile de tekrarlanacaktır. Deneyler, elektrot açıklıkları 10 ila 50 mm gibi, yüksek gerilimle ilgili benzer araştırmalar göz önüne alındığında, küçük sayılabilecek elektrot açıklıklarında yapılması planlanmıştır.

Tezde yapılacak olan çalışmada, çubuk-düzlem elektrot sisteminde elektrotlar arasına yerleştirilen farklı tip ve boyutlardaki yalıtkan paravanaların havanın delinme dayanımı üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada göz önüne alınan ve kullanılan paravanalar, bu alanda üzerinde ekonomik ve teknik özelliklerini, elektriksel davranışlarını belirlemeye yönelik araştırmaların yaygın olarak yapıldığı malzemelerden imal edilmişlerdir.

Deneylerde, paravanaların sadece hava aralığındaki etkisi incelenecek olup, paravanalar daha çok deşarj yolundaki iyonların hareketini güçleştirmek suretiyle elektrik alanının deformasyonu açısından kullanılacaktır. Tezde genel olarak, yapılan deneyler ve buna ek olarak bilgisayar ortamındaki çalışmalar ile söz konusu paravanaların aynı koşullarda davranışlarını gözlemlemek, karşılaştırmak ve değerlendirmek amaçlanmıştır.

2. DÜZGÜN OLMAYAN ALANDA GAZLARDA BOŞALMA TEORİLERİ

2.1. Giriş

Düzgün olmayan alanda gazlarda boşalma olayları konusuna girmeden önce, konu ile ilgili temel boşalma teorilerine bir göz atmak yararlı olacaktır. Boşalma teorileri adım adım kurulmuş ve delinme geriliminin elektrot şekline ve açıklığına bağlılığını belirlemek amacı ile yapılan deneylerle geliştirilmiştir. Ayrıca katot ışınli osilograflar yardımı ile çok kısa süreli boşalmalar da incelenerek gazların elektriksel dayanımı hakkında çok önemli pratik bilgiler elde edilmiştir.

Bir elektrik sisteminin delinme gerilimi, elektrot açıklığından başka elektrik alanının şekline (düzgün alan, düzgün olmayan alan, simetrik alan ve simetrik olmayan alan), gerilimin etki süresine, elektrik alanı büyük olan elektrodun kutbiyetine ve hava koşullarına (sıcaklık, basınç, nem gibi) bağlıdır.

Düzgün olmayan alanlı ve elektrotları simetrik sistemlerde elektrot şekilleri önemli bir rol oynamamaktadır. Elektrotları simetrik olmayan sistem için de en iyi örnek deneylerde kullanılan çubuk-düzlem elektrot sistemidir.

2.2. İyonizasyon Türleri

Boşalma olayları gaz içerisindeki kuvvetli bir elektrik alanı etkisiyle meydana gelen iyonizasyonun sonucudur. Atom modeli hatırlanacak olursa merkezde bir çekirdek ve etrafında yörüngelerden oluşmuş kabuklar ile her bir yörünge üzerinde de elektronlar bulunmaktadır. Bir elektronu çekirdeğe bağlayan bağ enerjisini yenecek kadar bir enerji verilecek olursa, elektron atomu terk etmektedir. Burada, elektron kazanan veya kaybeden atoma “iyon”, bu ayrılma olayına ise “iyonizasyon” denir.

İyonizasyonu meydana getirmek için gerekli enerji elektrodalara uygulanan gerilimin oluşturduğu elektrik alanından sağlanır ki bu olayı gerçekleştiren gerilim seviyesine “iyonizasyon gerilimi” denir.

İyonizasyonun oluşması;

1. Yüklü parçacıkların çarpışmasıyla,
2. Işık enerjisiyle (foto iyonizasyon),
3. Isı enerjisiyle (termik iyonizasyon),
4. Şiddetli bir elektrik alanı

ile gerçekleşebilir.

İyonizasyon olayı beraberinde iki olayı daha getirir. Bunlar; yayılma (difüzyon) ve tekrar birleşme (rekombinasyon) olaylarıdır. İyonizasyon sonucunda açığa çıkan yüklü parçacıklar alanın etkisiyle hareket edip yayılma eğilimindedirler. Yüklü parçacıkların bu yayılma olayına “difüzyon” denir. Yayılma esnasında iyonların başka bir atomla birleşerek yok olması olayı ise “rekombinasyon” olarak adlandırılır. İşte bundan dolayı, parçacıkların bu özelliklerine “iyonizasyona zıt olaylar” denmektedir.

2.2.1. Çarpma Suretiyle İyonizasyon

Çarpma suretiyle iyonizasyon, gazların delinmesinde en önemli olaydır. Eğer v_{ef} efikas (etkin) hızı ile hareket eden m kütleli herhangi bir parçacık (elektron, iyon veya nötr molekül) bir atom veya moleküle çarparsa, bu çarpma sonucunda atom veya molekül iyonize olabilir; yani bir atomdan bir elektron ve pozitif yüklü bir iyon meydana gelebilir. Bunun için parçacığın kinetik enerjisi söz konusu gazın iyonizasyon enerjisinden daha büyük olmalıdır.

$$\frac{1}{2} m \cdot v_{ef}^2 \geq W_i \quad (2.1)$$

Buna göre, örneğin iyonizasyon enerjisi 10,4 eV olan civa buharının, ancak, kinetik enerjisi 10,4 eV olan bir parçacıkla çarpışması halinde iyonize olması gerekmektedir. Fakat yapılan deneyler, civa buharının birinci metastabil enerji seviyesine denk gelen 4,67 eV’luk bir kinetik enerjiye sahip parçacıkların çarpışması halinde de iyonize olabildiğini göstermiştir.

Bu şekilde bir iyonizasyon aşağıdaki olaylarla mümkündür:

- 1) Kinetik enerjisi W_i ’den küçük olan parçacık, atomu uyarılmış duruma sokabilir. Uyarılmış atoma çarpan ikinci, üçüncü v.b. parçacıklar atomu kademeli olarak iyonize edebilirler (kademeli iyonizasyon).

2) Bir elektron uyarılmış bir atoma çarptığı zaman, uyarılmış atom temel duruma geçebilir ve bu sırada açığa çıkan enerji elektron tarafından alınabilir. Böylece elektronun kinetik enerjisi söz konusu gazın iyonizasyon enerjisi seviyesine yükselmiş olur.

3) Uyarılmış iki atom birbirleriyle çarpıştığı zaman, atomlardan birinin potansiyel enerjisi diğerine geçebilir ve enerjisi artan diğer atom iyonize olabilir.

2.2.2. Foto İyonizasyon

Elektrikli parçacıkların oluşumu için ikinci önemli kaynak foto iyonizasyondur, yani kısa dalgalı bir ışımının etkisiyle iyonizasyondur. Frekansı f olan bir ışıma ile bir gazın iyonize olabilmesi için,

$$h.f \geq W_i \quad (2.2)$$

olmalıdır. Burada $h = 6,625.10^{-34}$ Js, Planck'ın tesir kuantumunu gösterir. İstenirse f yerine λ cinsinden $f = c/\lambda$ değeri konursa yukarıdaki denklem,

$$\lambda \leq \frac{c.h}{W_i} \quad (2.3)$$

şekline girer. Burada λ , gazı iyonize edecek olan ışımının dalga boyudur.

Çarpma suretiyle iyonizasyonda olduğu gibi, burada da gazın iyonizasyon enerjisinden daha küçük foton enerjileri halinde iyonizasyon mümkündür. Bu durum şu durumlardan ileri gelebilir:

1) Çarpma suretiyle iyonizasyonda olduğu gibi, burada da gaz molekülünün önce ışık kuantumları tarafından uyarılması ve bundan sonra da diğer ışık kuantumları tarafından iyonize olması şeklinde kademeli bir iyonizasyon mümkündür.

2) Uyarılmış bir atomla uyarılmamış bir atom, iyonizasyon enerjisi atomunkinden daha küçük olan molekül oluşturabilirler.

3) Eğer gaz içinde toz parçacıkları varsa, elektronlar gazın moleküllerinden veya atomlarından değil de, toz parçacıklarının yüzeyinden koparlar. Bunun için, çıkış enerjisi adı verilen daha küçük bir enerjiye ihtiyaç vardır.

2.2.3. Termik İyonizasyon

Bir gazın termik iyonizasyonu denildiğinde, gazın ısı durumu ile ilgili olan bütün iyonizasyon olayları anlaşılır. Eğer gazın sıcaklığı yükseltirse, gazdaki atom veya moleküllerin iyonizasyonu mümkündür. Sıcaklık seviyesi yüksek olan gazlarda aşağıdaki iyonizasyon ihtimalleri mevcuttur:

- 1) Sıcaklıkla birlikte hızı, dolayısıyla kinetik enerjisi artan parçacıklar çarpma suretiyle iyonizasyon meydana getirebilirler.
- 2) Kızgın gazdaki ısı ışımasının sonucunda foto iyonizasyon görülebilir.
- 3) Yukarıdaki her iki olayla meydana gelen serbest elektronlar çarpma suretiyle iyonizasyon meydana getirebilirler.

2.2.4. Yüzeysel İyonizasyon

Bir madenin yüzeyinden elektron koparılması olayına yüzeysel iyonizasyon denir. Madenden elektron koparabilmek için “çıkış enerjisi” veya “çıkış işi” adı verilen belirli bir enerjiye ihtiyaç vardır.

Genel olarak çıkış enerjisi, iyonizasyon enerjisinden daha küçüktür. Bunun sebebi, bir elektron maden yüzeyini terk ettiğinde buna ait elektrik yükünün madenin içerisinde kalmasıdır. Örneğin, elektron maden yüzeyinden x kadar uzaklaşmışsa, pozitif yükün de maden yüzeyinden uzaklığı x olur. Dolayısıyla, yükler arasındaki çekme kuvveti, pozitif yükün maden yüzeyinde bulunması halinden dört defa daha küçüktür. Çekme kuvvetine ve pozitif yükün elektrik alanına karşılık gelen bir potansiyel alanı bulunabilir. Bu potansiyeli yenmek için maden yüzeyini terk eden elektronun, çıkış enerjisine eşdeğer bir kinetik enerjiye sahip olması gerekir. Elektronun maden yüzeyini terk etmesi gereken gerilime U_a çıkış gerilimi ve W_a kinetik enerjisine de çıkış enerjisi denir.

$$W_a = q \cdot U_a = q \cdot (V_o - V_\infty) \quad (2.4)$$

Burada V_o maden yüzeyinin potansiyelini, V_∞ ise sonsuzluktaki bir noktanın potansiyelini gösterir.

Bu enerji madene çeşitli şekillerde verilebilir:

- 1) Madeni ısıtmak suretiyle ki bu, elektron hızının yükselmesine karşılık gelir. Eğer elektronun kinetik enerjisi çıkış enerjisinden daha büyükse, bu takdirde elektron, potansiyel değerini aşabilir (termik elektron emisyonu).
- 2) Maden yüzeyinin yeteri kadar yüksek bir enerjiye sahip iyonlarla bombardıman edilmesiyle. Böylece iyonların enerjileri elektronlara geçebilir ve elektronlar da madenden fırlayabilirler (çarpma suretiyle iyonizasyon).
- 3) Maden yüzeyinin kısa dalgalı ışınlarla (fotonlarla) bombardıman edilmesiyle ki böylece madenin serbest elektronları enerjilerini fotonlardan alırlar (foto iyonizasyon).
- 4) Kuvvetli bir dış elektrik alanın etkisiyle (soğuk elektron emisyonu).

2.3. Townsend Delinme Teorisi

Bir elektronun elektrik alan doğrultusunda 1 cm'lik yol gitmesi durumunda çarpma suretiyle meydana getirdiği iyon sayısına “elektronun iyonlaştırma sayısı” denir ve α ile gösterilir. Bu sayının belirlenmesinde Townsend'e göre şu kabuller yapılır:

1. Elektronun kinetik enerjisi söz konusu gazın iyonizasyon enerjisinden küçük ise, çarpışmada iyonizasyon meydana gelmez; büyükse gelir.
2. Elektron her çarpışmada bütün kinetik enerjisini kaybeder ve yeni hareketine sıfır hızı ile başlar.
3. Elektron alan doğrultusunda hareket eder.

Eğer bir elektron E elektrik alanının etkisi altında çarpışmadan λ_i yolunu kat ederse, bu yolda $E \cdot q \cdot \lambda_i$ enerjisini biriktirir. Bu enerji gazın iyonizasyon enerjisine eşit veya büyükse yani;

$$q \cdot E \cdot \lambda_i \geq W_i \quad (2.5)$$

veya,

$$E \cdot \lambda_i \geq U_i \quad (2.6)$$

ise gaz iyonize olur. Demek ki, bir elektron bir molekülle çarpışmadan önce,

$$\lambda_i \geq \frac{U_i}{E} \quad (2.7)$$

yolunu kat etmelidir.

Ortalama serbest yolu $\overline{\lambda_i}$ olan bir elektron 1 cm uzunlukta $1/\overline{\lambda_i}$ kadar çarpıştığından, elektronun iyonlaştırma sayısı,

$$\alpha = \frac{1}{\overline{\lambda_i}} e^{-\lambda_i / \overline{\lambda_i}} \quad (2.8)$$

olur. Sabit sıcaklıkta $1/\overline{\lambda_i} = A.p$ ve $A.U_i = B$ konursa,

$$\alpha = A.p.e^{-Bp/E} \quad (2.9)$$

şekline girer. Bu ifade α iyonlaştırma sayısının alan şiddetine göre değişimini göstermektedir. Burada p gaz basıncı, A ve B gazın cinsine ve sıcaklığa bağlı birer sabittir.

Bir elektron 1 cm lik yolda çarpma suretiyle α iyon çifti meydana getirdiğinden, dx yolundaki iyon çifti sayısı $\alpha .dx$ olur. x mevkiinde n_x adet elektron olduğuna göre, dx aralığında iyon çifti sayısındaki artma $n_x.dx$ 'e eşit olur; yani

$$dn_x = n_x . \alpha . dx \quad (2.10)$$

dir. İntegral alınırsa,

$$n_x = n_0 . e^{\alpha x} \quad (2.11)$$

bulunur. Burada n_0 , birim zamanda katodun 1 cm² lik yüzeyinden çıkan elektron sayısıdır.

Bir elektrik alanının etkisi altında bu elektronlar çarpma suretiyle iyonizasyona sebep olurlar ve dolayısıyla ortamdaki toplam elektron sayısı artar. Bu şekilde yavaş yavaş artan elektron akımına “elektron çığı” denir.

Elektron çığının oluşumu, gaz yalıtımının bozulması esnasında gelişen ilk olaydır. Elektron çığı, elektronlar pozitif elektroda ulaşınca veya elektrik alanının çarpma

ile iyonizasyonu destekleyecek kadar yüksek olmadığı bir bölgeye varıncaya kadar gelişmeye devam eder.

Her iyonizasyon olayının sonucunda ortaya pozitif bir gaz iyonu çıkar. Ortaya çıkan bu pozitif iyonlar, elektronlara göre çok daha yavaş hareket ettiklerinden dolayı elektron çığının gerisinde kalırlar. Yüksek elektrik alanlarında pozitif iyonlar 1 mm/ μ s civarında hıza sahiptirler.

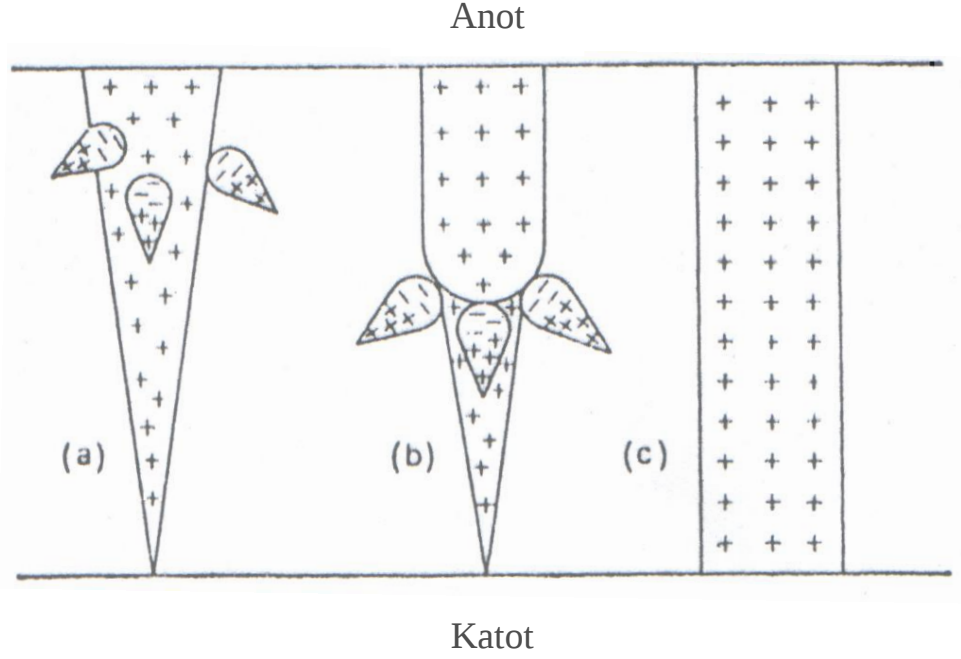
Herhangi bir elektron çığı yolu için, çığ içindeki elektronların ve iyonların sayısı bir çığdan diğerine göre istatistiksel olarak değişir. Bu istatistiksel değişimin sebebi ise oluşan çarpışma işlemlerinin rastgele olmasından kaynaklanır.

2.4. Kanal Delinme Teorisi

Townsend delinme teorisi, delinme ile ilgili birçok yasaların anlaşılmasına ve bazı pratik sonuçların elde edilmesine yardımcı olduğu halde, bazı durumlarda olayları açıklamaya yetmez. Eksiklik kendini özellikle büyük elektrot açıklıklarında gösterir. Büyük elektrot açıklıklarında deneyde bulunan deşarj süresi, Townsend deşarjı ile açıklanamaz. Bu yüzden 1940'da L. B. Loeb ve J. J. Meek, 1942'de de H. Raether tarafından ortaya atılan bu yeni teori ile olayların daha iyi bir şekilde açıklanması mümkün olmuştur. Teori, deşarjın gelişmesini kanal olarak kabul ettiğinden dolayı kanal teorisi olarak adlandırılmıştır. Bu teoriye göre deşarj olayında pozitif iyonların meydana getirdiği elektrik alanının büyük etkisi vardır [1,2].

Kanal teorisine göre, katottan itibaren başlayan tek bir elektron çığı yol boyunca gelişerek uzay yükünün de etkisiyle önce ısıltılı ince bir plazma şeklini alır ve daha sonra da iletkenliğin artmasıyla çığın anoda varması sonucunda gazın delinmesine sebep olur. Katodu terk eden bir elektronun başlattığı bir çığ anoda ulaştığı zaman elektronlar yüksek devingenlikleri nedeniyle yok olurlar ve pozitif iyonlar ise başı anotta konisel bir kanal şeklinde kalırlar (Şekil 2.1). Çığ içinde iyonlaşmanın üstel özelliğinden dolayı iyon yoğunluğu anot yakınında en yüksek değerde olacaktır. Pozitif iyon yükü hem eksenel ve hem de radyal doğrultularda alanı bozacaktır ve çığın başında bu bozulma en fazla olacaktır. Eğer asıl çığ tarafından geliştirilen uzay yükü alanı dış alanla mukayese edilebilir büyüklükte ise ortamda ana çığın gövdesine doğru yönelmiş yardımcı çığları başlatan foto elektronlar oluşurlar. Bu yardımcı çığlar, en çok ana çığın eksenini boyunca uzay yükü alanının dış alanı desteklediği

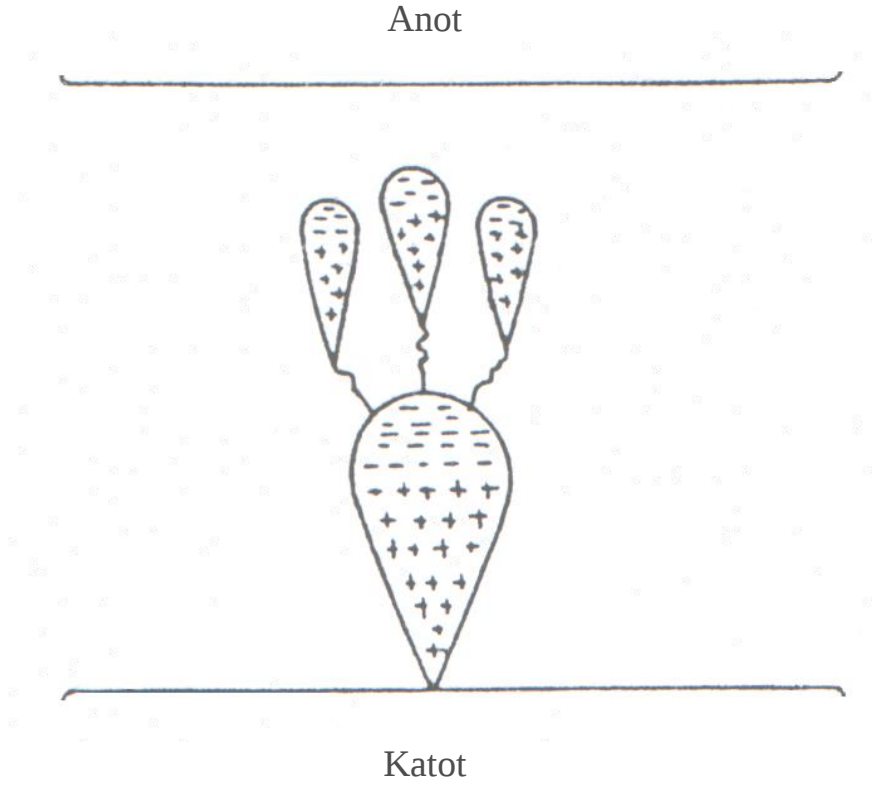
yerlerde çoğalır. Bu çığların arkasında kalan pozitif iyonlar uzayarak katot doğrultusunda ana çığın uzay yükünü yoğunlaştırır ve kendi kendine yayılan bir kanal geliştirir [3].



Şekil 2.1. Kanal Mekanizmasında İletken Katot Kanalı Gelişiminin Şematik Olarak Gösterilişi

İletim kanalının gelişiminde birbirini izleyen üç safha şematik olarak Şekil 2.1.'de gösterilmiştir. Bunlardan (a) çığın elektrot açıklığını geçtiği andaki safhayı, (b) kanalın elektrot açıklığının yarısını geçtiği safhayı ve (c) elektrot açıklığının dış devreyi boşaltan bir iletken kanal ile köprülendiği safhayı gösterir.

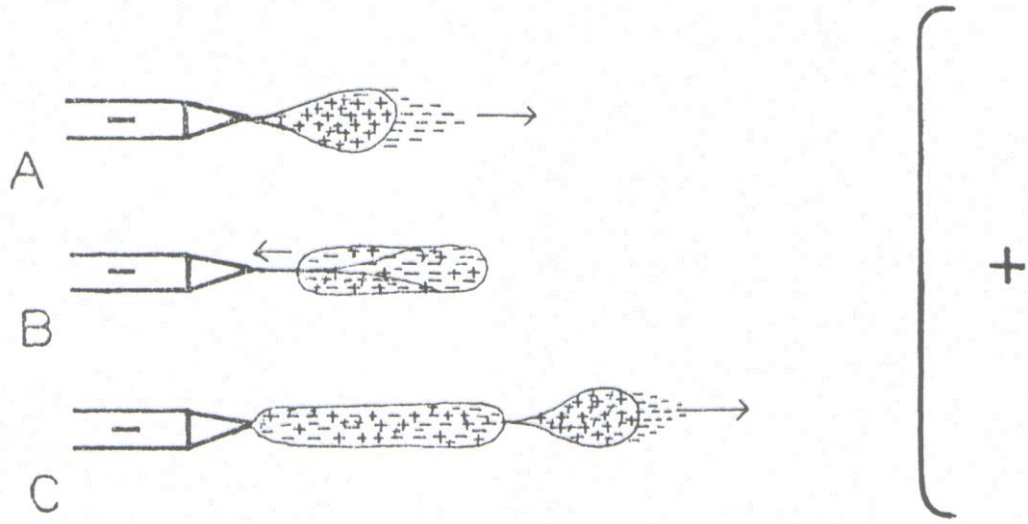
Elektronların cinsine, uygulanan gerilimin büyüklüğüne ve elektrotlar arasındaki serbest elektronların dağılımına göre başlangıç çığı bir katot veya bir anot kanalına dönüşür. Başlangıç gerilimine karşılık olan bir gerilimde kanal, ancak başlangıç çığı elektrotlar arası yolu geçtiği zaman meydana gelir. Böylece düzgün alanda elektrotlara uygulanan gerilim yaklaşık olarak başlangıç gerilimine eşit ise anot kanalları, başlangıç geriliminden büyük ise katot kanalları oluşur. Pozitif uzay yüklerinin anottan başlayarak ilerlemesi (anot kanalı) Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Anot Kanalı Gelişimi

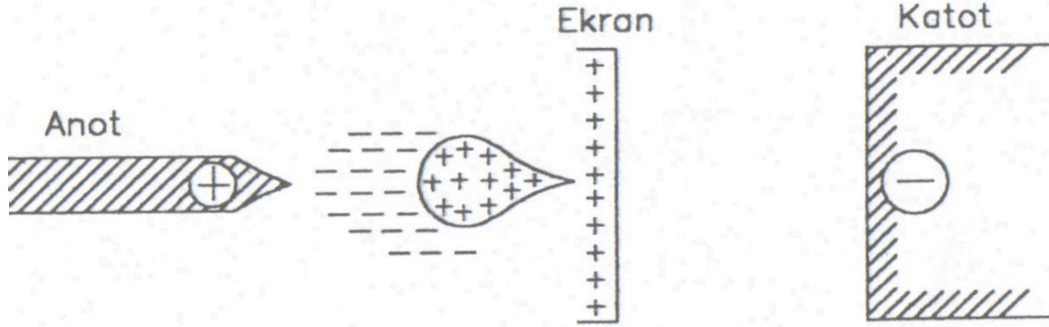
Buraya kadar olan bölümde düzgün alanda kanal boşalmasının gelişimi kısaca özetlenmiştir. Elektrotlar arasındaki ortalama alan şiddetinin maksimum alan şiddetinden farklı olduğu ve elektrotların kutbiyetinin delinme gerilimine etki ettiği düzgün olmayan alanlarda isedeşarj, daima, eğrilik yarıçapı küçük olan elektrodun kutbiyetine bağlıdır.

Negatif çubuk-pozitif düzlem elektrot sisteminde (Şekil 2.3), ilk elektron çığı doğrudan doğruya katottan itibaren başlar ve anot doğrultusunda büyür (Şekil 2.3’de A durumu). Bu sırada çığ başının arka tarafında kalan pozitif yükler elektrik alanını katot doğrultusunda kuvvetlendirirken, anot doğrultusunda da zayıflatırlar. Bunun sonucu olarak iyonizasyon bölgesi katoda doğru kayar; dolayısıyla kanalın anot doğrultusunda gelişmesi güçleşir.



Şekil 2.3. Negatif Çubuk – Pozitif Düzlem Elektrot Sisteminde Deşarjın Oluşumu

Fakat buna rağmen deşarjın başlaması isteniyorsa gerilimin yükseltilmesi ve iyonizasyon bölgesinin anoda doğru kayması gerekir. Gerilimin yükseltilmesi halinde pozitif yükler, artık alanı anot doğrultusunda pek o kadar kuvvetli olarak zayıflatamazlar ve bir kanalın oluşumu mümkün olur (Şekil 2.3’de B durumu). Kanal tamamen geliştikten sonra ilk çığ iletken plazma ile dolar ve bu, katodun anoda doğru yaklaşması şeklinde etkir. Sonuçta plazmanın ucunda elektrik alanı tekrar büyür ve dolayısıyla bu bölgeden anoda doğru yayılan yeni bir elektron çığı meydana gelir (Şekil 2.3’de C durumu).



Şekil 2.5. Ekranlanmış (+) Kutuplu Çubuk Elektrot

Meek, pozitif uzay yükü civarındaki radyal alan, dış alana yakın büyüklüğe eriştiği zaman bir çığdan bir kanala geçiş olduğu görünüşünü ileri sürmüştür. Buna göre $E_r = K.E$ de $K = 1$, E_r uzay yükünden dolayı radyal alan ve E dış alandır. Meek ve Loeb, çığ başının hemen arkasındaki pozitif iyonların yarattığı radyal alanın aşağıdaki ifadeyle hesaplanabileceğini göstermiştir.

$$E_r = \frac{4.\alpha.q.e^{\alpha.x}}{3.\sqrt{(2.D/K)(x/E)}} \quad (2.12)$$

Burada q elektron yükü, α birinci Townsend iyonlaştırma katsayısı, D difüzyon katsayısı, K elektron devingenliği, e tabii logaritma tabanı ve x ise çığın kat ettiği yoldur. Sabitelerin değerleri yerlerine konursa ifade şöyle olur:

$$E_r = 5,27.10^{-7} \cdot \frac{\alpha.e^{\alpha.x}}{(x/p)^{1/2}} (V/cm) \quad (2.13)$$

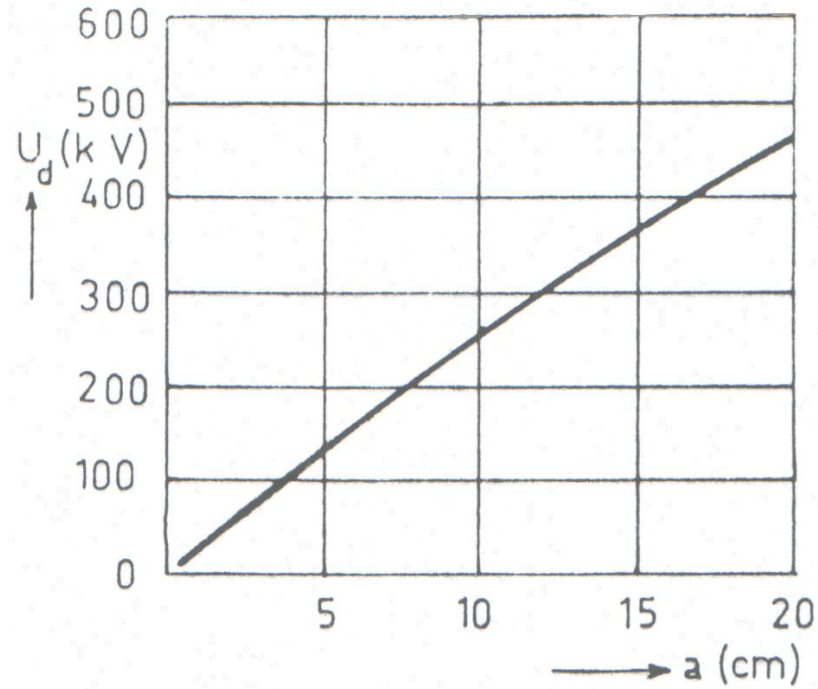
Burada p gaz basıncını, mmHg olarak göstermektedir. Çığ, $E_r \approx E$ ile tüm elektrot açıklığını geçtiği zaman minimum delinme gerilimi elde edilir. E_r için E ve x için d konursa ifade $\alpha..d + \ln(\alpha/p) = 14.5 + \ln(E/p) + 1/2 \cdot \ln(d/p)$ şeklini alır. Bu denklem, deneme-yanılma yöntemiyle α/p ve E/p arasındaki bağıntıdan yararlanılarak çözülebilir. Verilen bir p ve d değeri için, E/p ye karşılık gelen α/p değerleri denklem sağlanıncaya kadar değiştirilir. Raether'e göre kanal oluşumu için kriter, $(\alpha.d)$ değerinin 18-20 civarına erişmesidir [3].

Meek ve Raether'in kriterlerinin her ikisi de aslında ampiriktir. Ancak düzgün alanlarda ölçülen ve hesaplanan delinme gerilimleri arasında iyi bir uyum elde edilmiştir. Mekanizma, foto iyonizasyona ve gaz içinde elektron çoğalmasına bağlıdır. Dolayısıyla, bu olay çok hızlıdır ve katot malzemesinin atlama üzerinde etkisi yoktur. Teori, elektronların elektrot aralığını geçiş süresi mertebesinde olan oluşum, zaman gecikmesi ile tam bir uyum halindedir.

2.5. Düzgün Olmayan Alanlarda Boşalma

Düzgün olmayan elektrik alanında delinme gerilimlerini incelemekten önce doğru ve alternatif gerilimde, düzgün ve az düzgün alanlardaki delinme gerilimlerine kısaca değinilmiştir.

Düzgün elektrik alanında kutbiyetin delinme gerilimine etkisi yoktur. Delinme geriliminin a elektrot açıklığına göre değişimi Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Bu değerler birçok deneyle kontrol edilmiştir.



Şekil 2.6. Düzgün elektrik alanında doğru ve alternatif gerilimde $U_d = f(a)$ eğrisi

Kutbiyet ve simetrisizlik etkisi az olan ve en büyük elektrik alanı ile ortalama elektrik alanı arasındaki fark küçük olan alanlara az düzgün elektrik alanı denir. Örneğin, küre-küre elektrot sistemi gibi. Bu durumda başlangıç gerilimi (korona) delinme gerilimine eşittir. Küresel elektrotlar yüksek gerilim tekniğinde ölçme aleti olarak kullanıldığından, bunların farklı elektrot çapları için $U_d = f(a)$ eğrileri yönetmeliklerle verilmiştir.

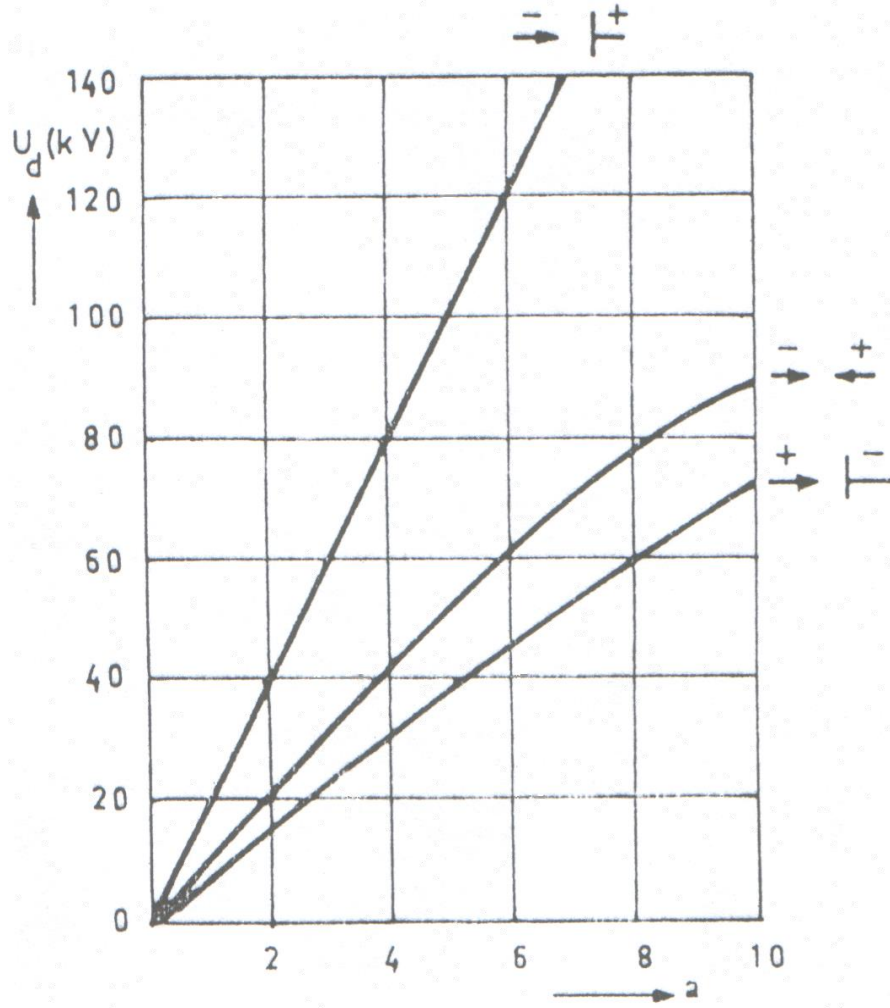
Düzgün olmayan alanlarda elektrotlar arası açıklık, elektrotların eğrilik yarıçapları yanında çok büyük ve korona gerilimi delinme geriliminden oldukça küçüktür. Düzgün olmayan alanlar elektrotları simetrik olan ve olmayan alanlar diye iki sınıfa ayrılabilirler. Elektrotları simetrik olan ve alanı düzgün olmayan sistemlerde elektrot şekilleri önemli bir rol oynamaz. Bu yüzden simetrik elektrotlar yerine çoğu kez çubuk-çubuk elektrot veya sivri uçlu elektrot deyimleri kullanılır. Elektrotları simetrik olmayan sistem için de en iyi örnek çubuk-düzlem elektrot sistemidir.

Düzgün olmayan bir alanın farklı tür gerilimlerdeki delinme gerilimleri birbirinden çok farklıdır. Örneğin, delinme gerilimlerinin doğru ve alternatif gerilimlerdeki $U_d = f(a)$ eğrilerini sırasıyla inceleyecek olursak:

i) Doğru gerilimde, çubuk-düzlem elektrot sisteminin alanı simetrik olmadığından, delinme gerilimi daha çok kutbiyete bağlıdır (Şekil 2.7). Çubuk elektrodun pozitif olması halindeki delinme gerilimi, negatif olması halinden çok daha küçüktür. Çünkü çubuğun pozitif olması halinde çubuk elektrot yakınında bulunan pozitif iyonlar negatif düzlem elektrotu yönünde alanı kuvvetlendirirler ve boşalmanın başlamasını kolaylaştırırlar. Çubuğun negatif olması halinde ise pozitif iyonlar dış bölgede bir elektron çıkışının oluşumunu zorlaştırırlar.

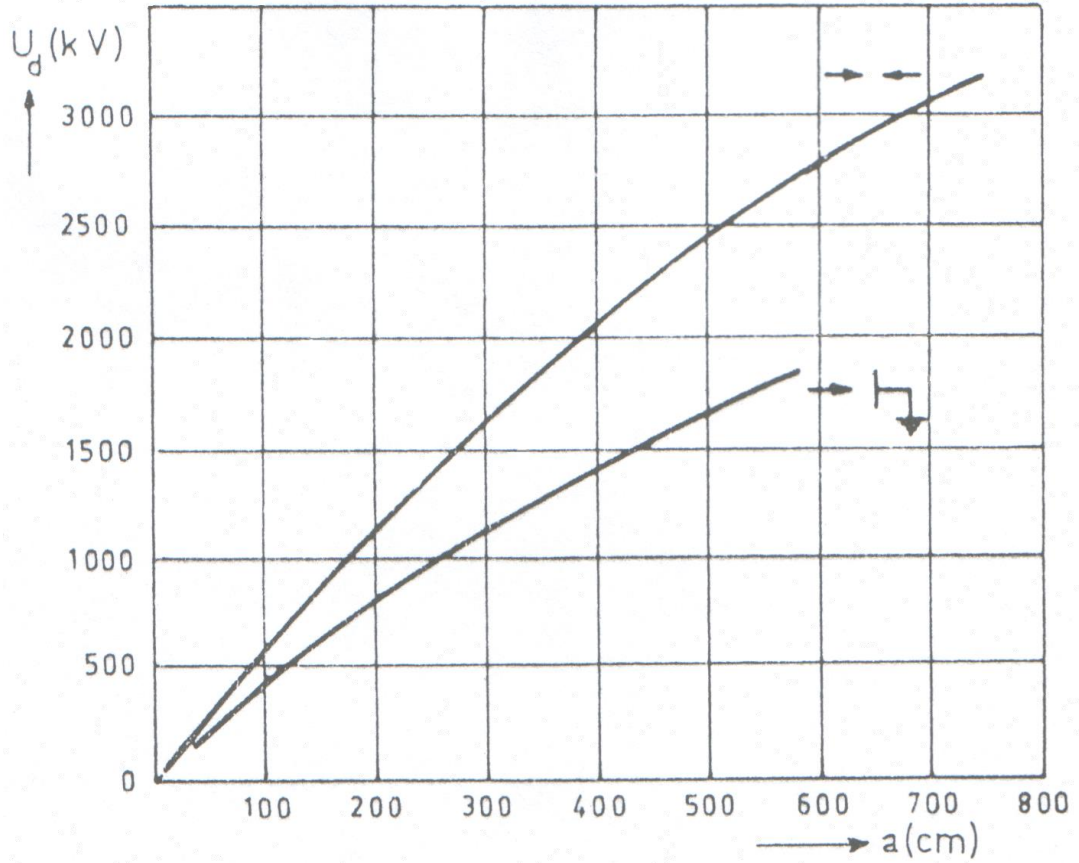
Aynı elektrot için çubuk-çubuk elektrot sisteminin kapasitesi çubuk-düzlem sisteminin kapasitesinden daha küçük olduğundan, çubuk-çubuk elektrot sisteminin delinme gerilimi, pozitif çubuk-negatif düzlem elektrot sisteminin delinme geriliminden daha büyüktür.

$Q = C.U$ denkleminde aynı U değeri için C küçülünce Q de küçüleceğinden, uzay yüklerinin etkisi azalır.



Şekil 2.7. Düzgün olmayan elektrik alanında ve doğru gerilim halinde $U_d = f(a)$ eğrileri

ii) Alternatif gerilimde delinme, delinme gerilimi küçük olan kutbiyetteki yarı periyotta meydana gelir. Elektrikli parçacıkların meydana gelmesi ve birikmesi için belirli bir zamana ihtiyaç vardır. Bu yüzden, doğru gerilimde pozitif çubuk-negatif düzlem elektrot sistemiyle, çubuk-çubuk elektrot sistemi arasındaki delinme gerilimlerinin farkı, alternatif gerilimdeki farka göre daha büyüktür. Şekil 2.8'de çubuk-çubuk ve çubuk-düzlem elektrot sistemlerinin 50 Hz alternatif gerilimde ve 20°C , 760 mmHg ve % 80 nemde delinme gerilimi eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Düzgün olmayan elektrik alanında ve alternatif gerilimde $U_d = f(a)$ eğrileri

Bu eğriler yardımıyla, örneğin, izolatörlerin boyutları tayin edilebilir. Bir izolatörün atlama gerilimi, iyi bir yaklaşıklıkla çubuk-çubuk veya çubuk-düzlem elektrot sisteminin delinme gerilimi yardımıyla hesaplanabilir. Bunun için izolatörün iki elektrodu arasındaki gerili ip uzunluğu, ki buna izolatörün ip uzunluğu da denir, yukarıda adı geçen elektrot sistemlerinin elektrot açıklığına eşit yapılır.

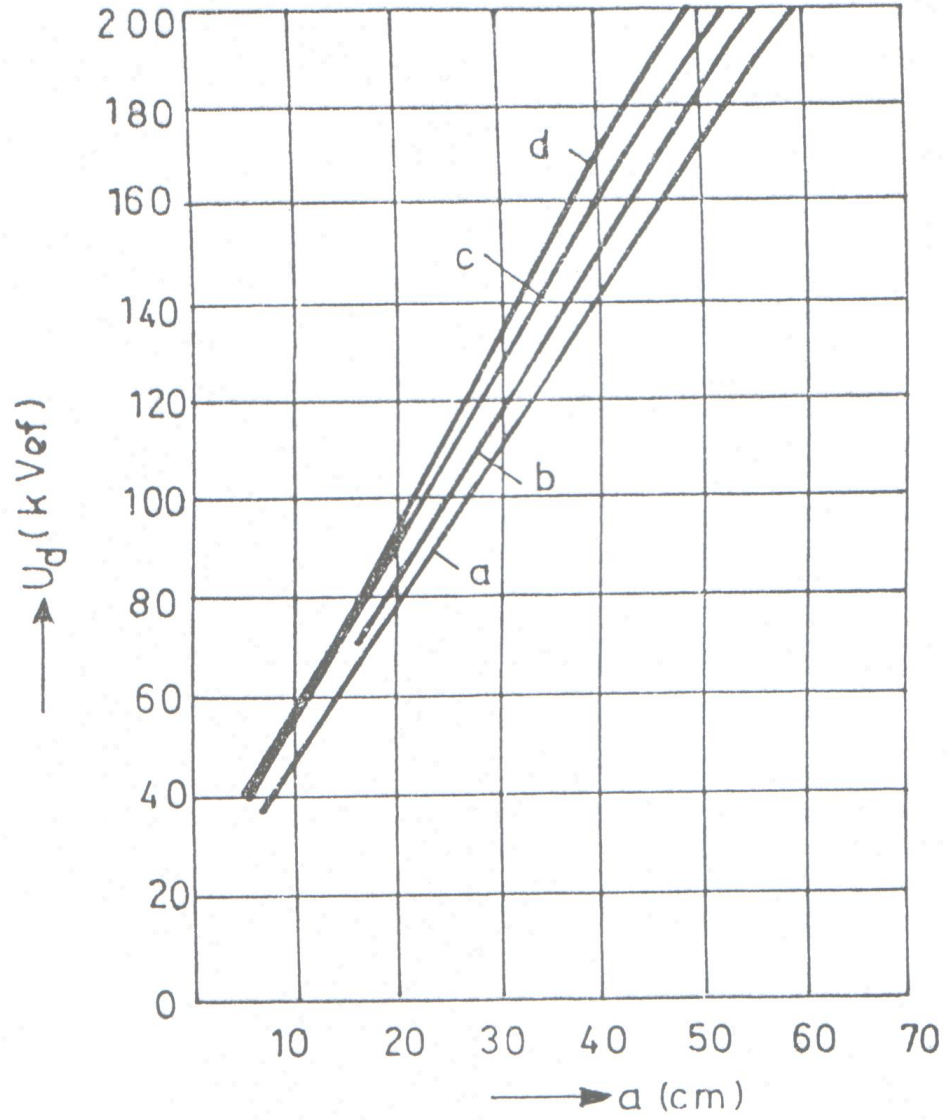
Kirlenme ve tozlanmadan dolayı, bu hesapta daha çok çubuk-çubuk elektrot sisteminden faydalanılır. Gerilim ve elektrotlar arası açıklık büyüdükçe yukarıdaki kabuller daha doğru sonuçlar verir.

Tepe değer olarak çubuk-çubuk elektrot sistemi için 500 kV/m ve çubuk-düzlem elektrot sistemi için de 400 kV/m veya efikas değer olarak çubuk-çubuk elektrot sistemi için 350 kV/m ve çubuk-düzlem elektrot sistemi için de 300 kV/m alınabilir.

Küçük açıklıklar için;

$$U_{ef} = 3.a \text{ (cm)} + 13 \quad [kV_{ef}] \quad (2.14)$$

ampirik formülü kullanılabilir.



Şekil 2.9. Farklı nem derecelerinde çubuk-çubuk elektrot sistemine ait 50 Hz alternatif gerilimdeki $U_d = f(a)$ eğrileri

- a :** % 0 nem derecesi
- b :** % 50 nem derecesi
- c :** % 70 nem derecesi
- d :** % 82,5 nem derecesi

Ayrıca, düzgün olmayan elektrik alanlarında nemin artması da deşarj gerilimini yükseltir. Şekil 2.9’da farklı nem derecelerinde çubuk-çubuk elektrot sistemine ait 50 Hz alternatif gerilimdeki $U_d = f(a)$ eğrileri gösterilmiştir.

Az düzgün ve düzgün elektrik alanlarında ise nemin deşarj gerilimine etkisi pratik olarak yoktur. Fakat buna rağmen deney sırasında sıcaklık ve basınçla birlikte nem derecesinin de yazılması uygun olur.

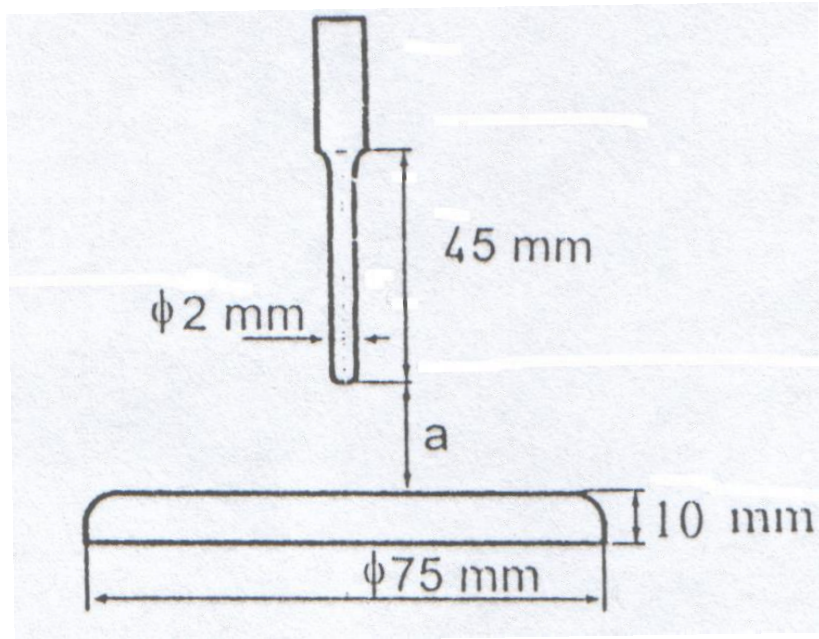
3. DENEYLERDE KULLANILAN AYGITLAR VE ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde deneylerde kullanılan aygıtlar, deney düzenleri ve deneylerin yapılışı detaylı olarak açıklanmıştır.

3.1. Deneylerde Kullanılan Düzenler

3.1.1. Elektrot Sistemi

Deneylerde kullanılan elektrot sistemi, yüksek gerilim ile ilgili araştırmalarda, düzgün olmayan alanda yalıtım davranışını incelemek ve belirlemek için yaygın olarak kullanılan temel elektrot sistemlerinden birisi olan çubuk-düzlem elektrot sistemidir (Şekil 3.1). Bu elektrot sistemi ile yalıtımda korona başlangıcı, atlama ve delinme deneyleri yapılarak boşalma olayları incelenir.



Şekil 3.1. Deneylerde Kullanılan Çubuk-Düzlem Elektrot Sistemi

Uç kısmında 1 mm yarıçaplı yarım bir küre bulunan çubuk elektrot pirinçten yapılmış ve dış yüzeyi krom kaplanmıştır. Kenarları 3 mm eğrilik yarıçapı ile yuvarlatılmış disk şeklindeki düzlem elektrodun çapı 75 mm, kalınlığı 10 mm'dir. Düzlem elektrot da yine çubuk elektrot gibi pirinç malzemeden yapılmıştır.

3.1.1. Paravanalar ve Özellikleri

Havada ve yağ içinde (geçit izolatörleri, transformatörler) izolasyon yollarının delinme gerilimini yükseltmek amacıyla genellikle yalıtkan paravanalar kullanılır. Paravanalar yalıtkan bir malzemeden ince levhalar şeklinde imal edilirler ve elektrotlar arasında eşpotansiyel yüzeylerden biri boyunca yerleştirilirler. Tezde yapılan çalışmada paravanaların sadece hava aralığındaki etkisi incelenmiş ve paravanalar daha çok deşarj yolundaki iyonların hareketini güçleştirmek suretiyle elektrik alanının deformasyonu açısından kullanılmıştır.

Deneylerde, elektrotlar arasına yerleştirilen paravanaların havanın delinme dayanımı üzerindeki etkisini tam olarak görebilmek ve farklı malzemeler için de karşılaştırma yapabilmek amacıyla biri kauçuk, diğer ikisi ise PVC (polivinil klorür) malzemeden imal edilmiş olan 3 farklı tipte paravana kullanılmıştır. Deney sonuçlarının daha iyi yorumlanabilmesi için kullanılan paravanaların elektriksel özelliklerine kısaca göz atılacak olursa:

- 1) Günümüzde, hem dünyada, hem de Türkiye'de bir çok ürünün temelini oluşturan PVC plastiği, yapı sektöründe, boru imalatında, elektrik kabloları ve diğer kabloların imalatında, oyuncak gibi yumuşak materyallerin imalatında, paketleme malzemelerinde, hastane gereçlerinde, yer kaplamalarında, profillerde ve daha yüzlerce üründe sıkça kullanılmaktadır. Yapı itibarıyla PVC (polivinil klorür) polimeri bir termoplastiktir ve amorf plastiklerin başında gelir. Polimer yapısındaki zincirlerin sert ve bükülmez olması, birbirini kuvvetli olarak etkilemesi ve yönlenme olayları elektronların serbest hareketliliğini engellemekte ve plastiklerin düşük elektrik iletkenliğine neden olmaktadır.

Genel olarak plastiklerin elektriksel iletkenliği kimyasal bileşime, dolgu maddelerine, sıcaklığa ve neme bağlı olarak değişkenlik gösterir. PVC yüksek elektroliz özelliğine sahip, yanmayan bir polimerdir. Su, alkol ve benzin PVC'ye hiçbir etki göstermez.

PVC, hava şartlarına olan yüksek dayanıklılığı, kolay işlenebilmesi, metal yüzeylere yapışma özelliğinin olması ve iyi elektriksel özelliklerinin bulunması nedeniyle kablo imalatında geniş yer almaktadır. Şu anda ülkemizde yapılan alçak gerilim kablolarının tamamına yakın kısmı PVC'den imal edilmektedir. Elektrik kabloların kaplamalarında, plastik PVC'nin uygulanabilir alternatifi ekonomik olarak yok gibidir. PVC, düşük voltajlı kaplamalar için ucuz maliyetli bir malzeme olduğundan, mükemmel mekanik özellikler, normal uygulama sıcaklığında sürtünmeye dayanıklılık ve mükemmel olarak neme, kimyasal etkilere ve havaya karşı dayanıklılık gibi özelliklere sahip olması sebebiyle de diğer yalıtım malzemelerinden daha avantajlıdır.

2) Kauçuklar, hafif oluşları, kolay işlenebilirliği, korozyona karşı dayanıklılığı, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığı gibi özelliklerinden dolayı; makine, uçak, elektrik-elektronik endüstrileri gibi bir çok endüstri dalında büyük miktarlarda kullanılırlar. Doğal kauçuk, ekvator kuşağındaki ülkelerde yetişen kauçuk ağacının kabuğunun altındaki doku hücrelerinden alınan sütün (lateks) kimyasal işlemlerle, elektro koyulaştırma veya başka yöntemlerle koyulaştırılmasıyla elde edilir.

Diğer tüm plastikler gibi kauçuk da normal gerilim ve frekanslarda iyi bir yalıtandır. Yapısı itibarıyla bir elastomer olan kauçuğun yalıtkanlığı, gerilim ve frekans düştükçe artmasına karşın sıcaklık arttıkça azalır.

Kauçuk (polimer lateks) malzemeler çekme ile yüksek oranda uzarlar ve çekme kuvveti kalktığında hızla ilk boyutlarına dönerler. Bu yüksek elastikiyet özellikleri sayesinde bu malzemeler genelde bükülgen kablolarda yalıtıcı kılıf olarak kullanılmaktadır. Neme geçirmezliği ve hava koşullarına dayanıklı olduğundan, kablo başlıklarının yapımında da tercih edilmektedir.

Deneylerde kullanılan paravanaların bağıl dielektrik katsayıları (ϵ_r), kauçuk için 4, beyaz renkli PVC için 5 ve saydam olan PVC için 6 olarak alınmıştır. Bilgisayar yardımıyla simülasyon yapılırken, problemin tanımında yalıtkan malzemeler için bu değerler kullanılmıştır.

Kullanılan paravanaların boyutlarına değinilirse, delinme dayanımı üzerinde paravanaların boyut etkisini tam olarak belirleyebilmek ve karşılaştırabilmek için

numuneler, her bir malzemeden 4 farklı çapta silindir şeklinde olmak üzere toplam 12 adet olarak hazırlanmıştır. Çapları, alt (düzlem) elektrodun çapının yarısı olan 37,5 mm, aynı çapta olan 75 mm, çapının iki katı olan 150 mm ve elektrotları muhafaza eden düzeneğin müsaade ettiği en büyük çap olan 195 mm olarak hazırlanan silindirlerin kenar pürüzlülükleri, deney sonuçlarına etki etmemesi için tam olarak giderilmiştir.

Ayrıca, paravanaların havanın delinme dayanımı üzerindeki geometri ve yüzey alanı etkisini de görebilmek amacıyla kauçuk malzemeden hazırlanan, kare şeklinde iki numune daha kullanılmıştır. Kare şeklindeki numunelerin kenar uzunlukları, silindir numunelerin çapları ile aynı olacak şekilde hazırlanmış ve elektrot sistemine silindir numunelerle aynı şekilde yerleştirilmiştir.

3.2. Yüksek Gerilimlerin Elde Edilmesi ve Ölçülmesi

3.2.1. Yüksek Alternatif Gerilimlerin Elde Edilmesi ve Ölçülmesi

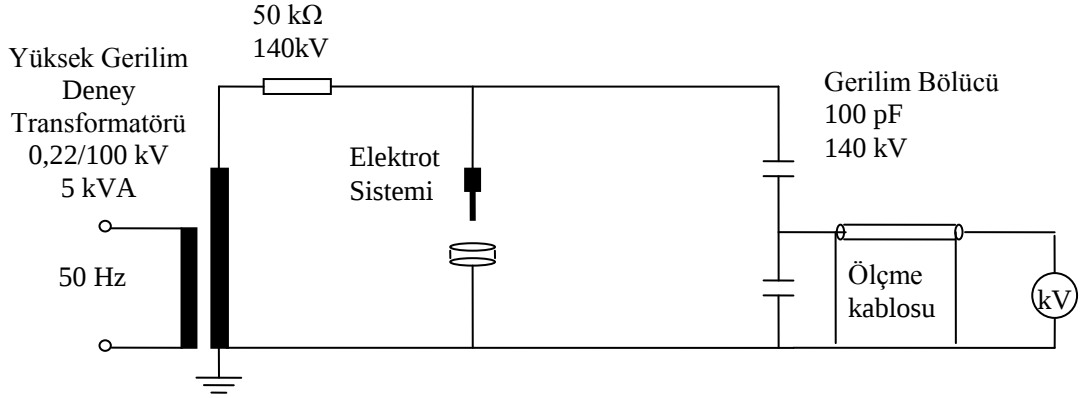
Yüksek gerilim laboratuvarlarında, gerek alternatif gerilimle yapılan deneylerde ve gerekse doğru ve darbe gerilimlerinin üretilmesinde alternatif gerilimler gereklidir. Alternatif deney geriliminin dalga şekli, pozitif ve negatif yarı dalgası birbiriyle hemen hemen özdeş olan ve tepe değerinin etkin değerine oranı $\sqrt{2}$ olan bir sinüs dalgası olmalıdır.

Birkaç yüz kilovoltun altındaki alternatif gerilimler bir katlı deney transformatörleri ile üretilir. Daha yüksek gerilimlerde yalıtım problemleri ve yapım maliyeti attığından dolayı, bu tür transformatörlerin yapımı güçleşir. Bu yüzden, birkaç yüz kilovoltun üzerindeki alternatif gerilimler, yüksek gerilim sargıları seri bağlı birkaç adet transformatör yardımıyla elde edilir [6].

Alternatif gerilim ile yapılan deneylerde elektrotlara, primer tarafı ayarlanabilen 0,22/100 kV, 5 kVA'lık bir fazlı, bağıl kısa devre gerilimi % 4 olan, yağlı, pertinaks gövdeli bir yüksek gerilim deney transformatörünün sekonder tarafından elde edilen endüstriyel frekanslı (50 Hz) alternatif gerilim uygulanmıştır (Şekil 3.2). Transformatörün primer gerilimi, kumanda masasında bulunan bir varyak yardımıyla el ile ayarlanmaktadır.

Alternatif ve doğru gerilimlerin ölçülmesinde, deney devresindeki ön boşalmaların oluşturduğu yüksek frekanslı geçici salınımları yok etmek, boşalma anındaki akımı

sınırlamak ve elektrot yüzeylerinin aşınmasına engel olmak amacıyla, devreye seri olarak bir ön direnç bağlanır. Yapılan deneylerde, elektrot sistemi ile transformatör arasına 50 k Ω 'luk bir ön direnç bağlanmıştır.



Şekil 3.2. Alternatif Gerilim Deney Montajı

Yüksek gerilimlerle yapılan hemen hemen bütün deneylerde, yüksek gerilim değerinin mümkün olduğu kadar doğru ölçülmesi gerekir. Bu da ancak, ölçmenin yüksek gerilim tarafından yapılması ile mümkündür [19].

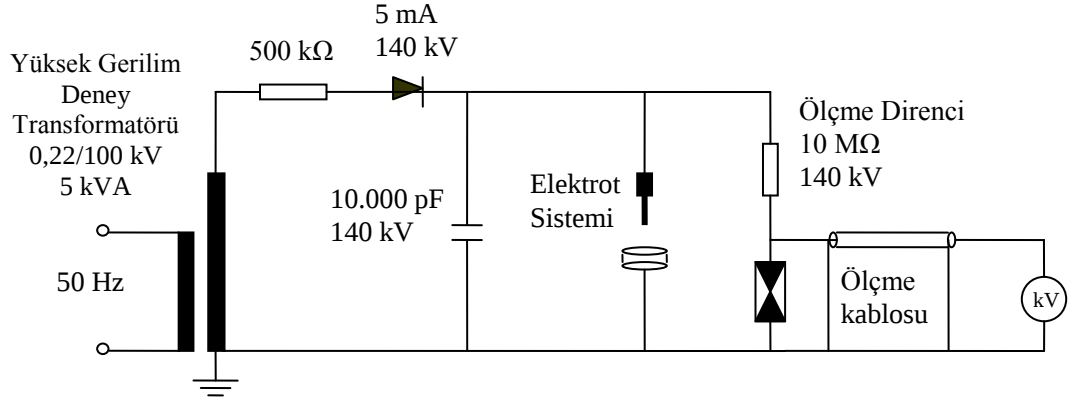
Alternatif gerilim deney devresinde delinme gerilimleri, deney devresine kapasitif bir gerilim bölücü üzerinden bağlanan, kumanda masasındaki yüksek gerilim voltmetresi yardımıyla ölçülmüştür. Ayrıca, ölçme devresini aşırı gerilimlerden korumak amacıyla direncin uçlarına paralel olarak 200 V'luk bir parafudr bağlanmıştır.

Deneylerde yapılan tüm ölçümler süresince, 50 Hz frekanslı giriş geriliminin 220 V $\pm$ % 5 aralığında değiştiği saptanmıştır.

3.2.2. Yüksek Doğru Gerilimlerin Elde Edilmesi ve Ölçülmesi

Yüksek doğru gerilimler, genel olarak alternatif gerilimlerin tek ve çok katlı redresör devreleri ile doğrultulması, birçok durumda katlanması ve nadir olarak da elektrostatik üreteçler ile üretilir. Yüksek gerilim laboratuvarlarında, alternatif gerilimlerin doğrultulması suretiyle doğru gerilimlerin üretilmesi için kullanılan devrelerde doğrultucu olarak, daha çok yarı iletken diyotlar ve yüksek vakumlu tüpler kullanılmaktadır. Yüksek doğru gerilimlerin elde edilmesinde kullanılan en basit yöntem, yarım dalga doğrultucularla alternatif gerilimin doğrultulmasıdır [6,8].

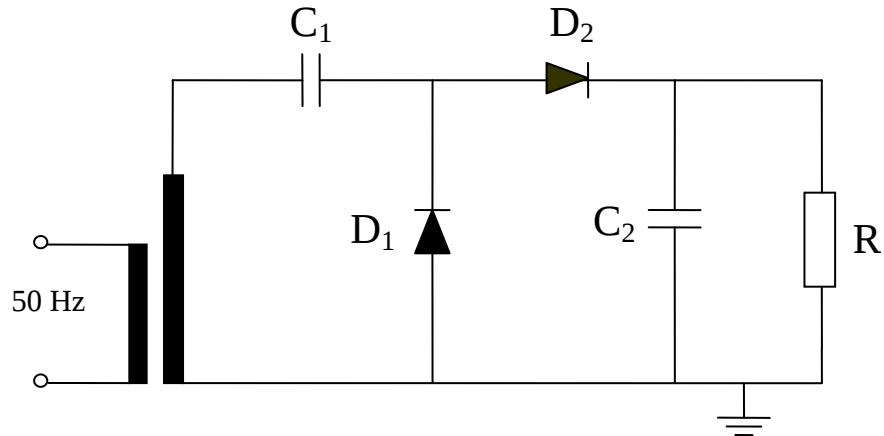
Doğru gerilimle yapılan deneylerde, yüksek alternatif gerilimlerin elde edilmesinde kullanılan bir fazlı, 50 Hz, 0,22/100 kV, 5 kVA'lık deney transformatörü kullanılmıştır. Deney transformatörünün sekonder (çıkış) kısmına bağlanan bir yüksek gerilim diyodu ve kondansatörden oluşan basit bir yarı-dalga doğrultucu yardımıyla çıkıştaki alternatif gerilim doğrultularak doğru gerilim elde edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Doğru Gerilim Deney Montajı

Negatif doğru gerilimlerle yapılan deneylerde ise deney düzeneğindeki diyotların yönü değiştirilerek kutbiyetin değişimi sağlanmıştır.

Deneylerde, 100 kV'u aşan gerilimlerin elde edilmesinde, doğru gerilimlerin katlanmasında sıkça kullanılan Greinacher gerilim katlama devresi kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Greinacher Gerilim Katlama Devresi

Yüksek doğru gerilimler genellikle bir yüksek gerilim ölçme direncinden akan akım veya elektrostatik voltmetreler yardımıyla ölçülmektedir. Doğru gerilim deneylerinde, 100 kV'a kadar olan pozitif ve negatif doğru gerilimlerin ölçülmesinde bir elektrostatik voltmetre kullanılmıştır. Elektrostatik voltmetrelerin iç dirençlerinin çok yüksek ve kapasitelerinin çok küçük olmasından dolayı, bu tip voltmetreler ile pratik olarak kayıpsız ve gerilim kaynağından akım çekmeden ölçme yapılabilir. Bu özellikleri nedeniyle elektrostatik voltmetreler, MHz'e varan çok yüksek frekanslı yüksek gerilimlerin doğrudan ölçülmesinde kullanılabilirler.

Doğru gerilim ile yapılan deneylerde, 100 kV'u aşan gerilimlerin ölçülmesinde mevcut elektrostatik voltmetre yetersiz kaldığından dolayı, kumanda masasında bulunan bir yüksek doğru gerilim voltmetresi kullanılmıştır. Elektrot sistemine uygulanan doğru gerilimi ölçmek için kullanılan bu düzende ise, 10 M Ω 'luk bir ölçme direnci ile seri bağlı bir ampermetre kullanılmıştır. Deney devrelerinde yapılan tüm bağlantılarda mümkün olan en kısa, pürüzsüz ve kısmi boşalmasız iletkenler kullanılmıştır.

3.3. Deney Yöntemi

Tezle ilgili tüm deneysel çalışmalar, İstanbul Teknik Üniversitesi Maslak Kampüsündeki Elektrik-Elektronik Fakültesi Binasında yer alan yüksek gerilim laboratuvarlarında yapılmıştır. Alternatif gerilimlerle yapılan deneylerde taban alanı 18 x 10 metre, doğru gerilim deneylerinde ise 18 x 7 metre olan 8 metre yüksekliğindeki, her türlü uluslararası standarda uygun olarak hazırlanmış laboratuvarlar kullanılmıştır [21,22].

Yapılan çalışmalarda deney ortamı olarak hava seçilmiştir. Laboratuvar ortamında, elektrotları çevreleyen havanın sıcaklığı ve basıncı üzerinde herhangi bir etkiye bulunulmamış, tüm ölçümler sabit oldukları kabul edilen sıcaklık ve basınç değerlerinde yapılmıştır. Deneyler süresince her gün deney ortamının sıcaklık ve basınç değerleri düzenli olarak ölçülerek kaydedilmiştir. Ortam sıcaklığının 18-20 °C, basıncın ise 760-770 mmHg değerleri arasında değişim gösterdiği saptanmıştır.

Deneylere başlamadan önce, elektrotlar iyice temizlenmiş ve deney sonuçlarının kararlılığı bakımından, elektrot yüzeylerini alıştırmak amacıyla elektrotlar arasında

birkaç ön atlama yaptırılmıştır. Deneylerde gerilim üstteki (çubuk) elektroda uygulanmış, alt (düzlem) elektrot ise topraklanmıştır.

Deney devresine uygulanan gerilim, kumanda masasındaki el ile çevrilen bir varyak vasıtasıyla elektrotlar arasında herhangi bir delinme (boşalma) olana kadar arttırılmıştır. Boşalma olduktan hemen sonra transformatörün primer devresi, kumanda masasında bulunan termik-manyetik bir anahtar yardımıyla süratle açılarak elektrotların ve numunelerin tahrip olması engellenmiştir. Gerilim ayar varyağı, bir sonraki ölçüme geçilmeden önce yine el ile çevrilerek “0” konumuna getirilmiştir.

Elektrotlara uygulanan gerilim, sıfırdan başlayarak saniyede ortalama 2 kV’luk yükselme hızıyla delinme olana kadar yükseltilmiştir. Delinme anındaki gerilim, alternatif gerilim deneylerinde, ölçme masasında bulunan yüksek alternatif gerilim voltmetresi, doğru gerilim deneylerinde ise elektrostatik voltmetre yardımıyla okunarak kaydedilmiştir.

Deneylerde kullanılacak olan paravanalar, yine elektrotlarda olduğu gibi, kullanılmadan önce iyice temizlenerek üzerlerinde toz, leke ve nem oluşumu engellenmiştir. Elektrot açıklığının sıfırı, elektrotların birbirine tam olarak temas ettiği nokta olarak belirlenmiş ve tüm elektrot açıklıkları özel açıklık ölçme mastarları ile ölçülerek ayarlanmıştır.

Paravanaların düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durumda elektrot açıklığı 10-50 mm aralığında değiştirilmiştir. Ölçümler, sırasıyla 10, 20, 30, 40 ve 50 mm sabit elektrot açıklıklarında yapılmıştır. Paravanaların yalıtkan örgülü bir ağ yardımıyla havada asılı olarak konumlandırıldığı durumda ise elektrot açıklığı 50 mm’de sabit tutularak, paravananın alt elektroda olan uzaklığı sırasıyla 10, 20, 30 ve 40 mm olarak değiştirilerek ölçümler tekrarlanmıştır.

Yapılan tüm deneylerde paravanalar, düzlem elektrodu tam olarak ortalayacak şekilde yerleştirilmiş ve havada asılı olduğu durumlarda ise paravanaları tutan ağın dengede olup olmadığı, ağın bağlı olduğu düzeneğin yere olan uzaklığı ölçülerek belirlenmiştir. Her ölçüm noktası için, delinme gerilimi değerleri 10 ölçme sonucunun aritmetik ortalamasından elde edilmiştir. Ölçümler sırasında, numunelerin yüklenmesinden kaynaklanan etkileri en aza indirmek amacıyla, birbirini takip eden iki ölçüm arasında 1 dakika beklenmiştir.

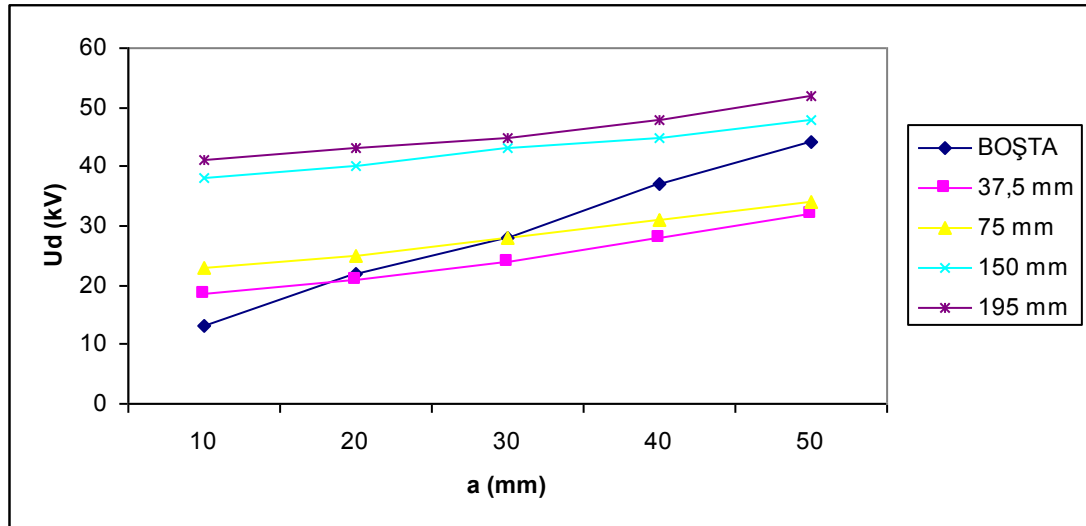
4. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde, alternatif ve doğru gerilim deneylerinden elde edilen değerler yardımıyla oluşturulan grafikler karşılaştırmalı olarak gösterilmiş ve gerekli açıklamalar yapılmıştır. Grafiklerin hazırlanmasında kullanılan tüm veriler tezin sonunda bulunan Ek-B kısmında, tablolar halinde verilmiştir.

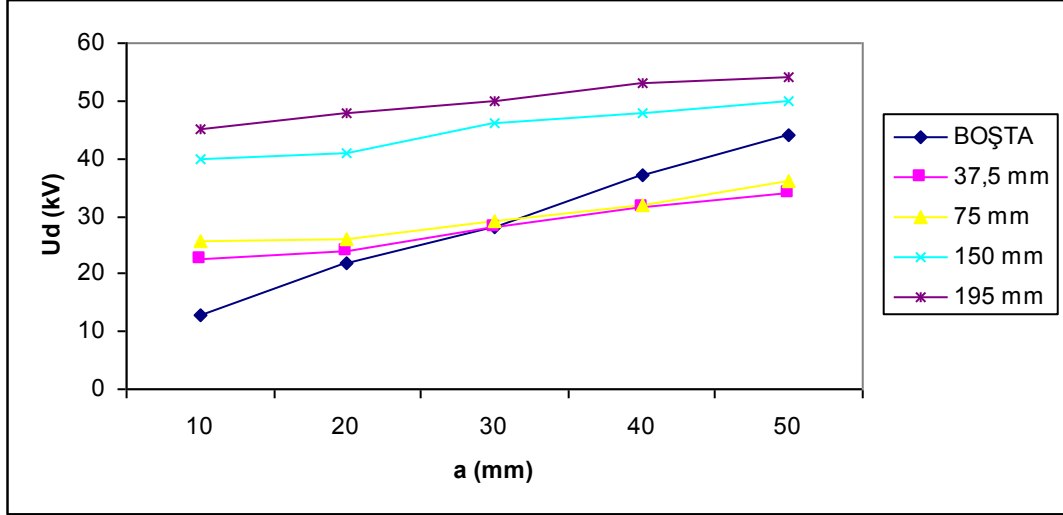
4.1. Alternatif Gerilim

Alternatif gerilim deneylerinde, kullanılan elektrot sistemindeki çubuk elektroda endüstriyel (50 Hz) frekanslı yüksek alternatif gerilim uygulanarak, düzlem elektrot ise topraklanmıştır. Tüm ölçümlerde ortam olarak hava seçilmiş, sıcaklık ve basıncın belli değerler dahilinde sabit olduğu kabul edilmiştir.

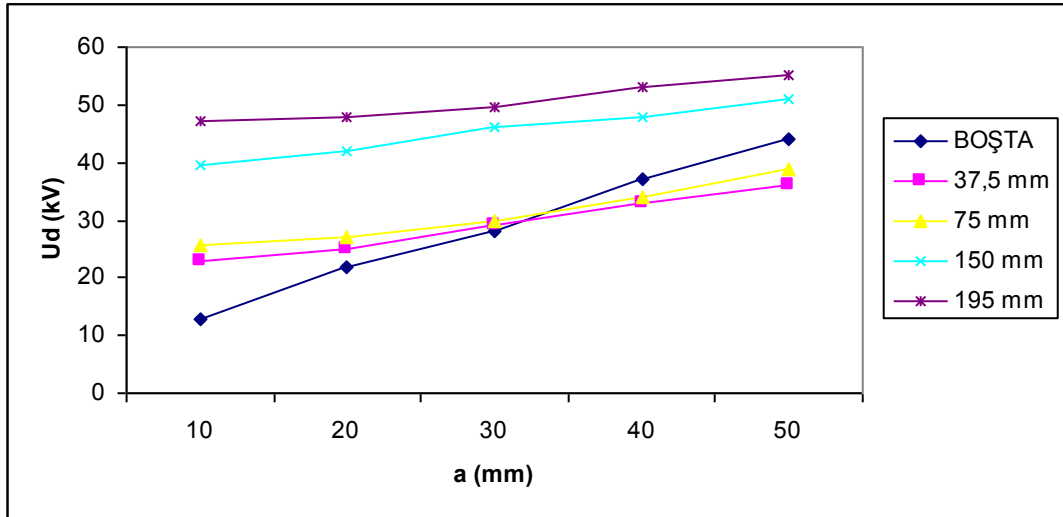
4.1.1. Paravanaların Düzlem Elektrodun Üzerine Yerleştirildiği Durum



Şekil 4.1. Alternatif Gerilimde Kauçuk Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri



Şekil 4.2. Alternatif Gerilimde Beyaz Renkli PVC Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri



Şekil 4.3. Alternatif Gerilimde Şeffaf Olan PVC Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri

Paravanaların havanın delinme gerilimi üzerindeki etkisini görebilmek ve karşılaştırma yapabilmek için öncelikle elektrotlar arasında paravanaların bulunmadığı durumda yapılmıştır. Bu sonuçlar yardımıyla oluşturulan havanın $U_d = f(a)$ eğrisi, bütün grafiklerde “BOŞTA” adlı eğri ile gösterilmiştir.

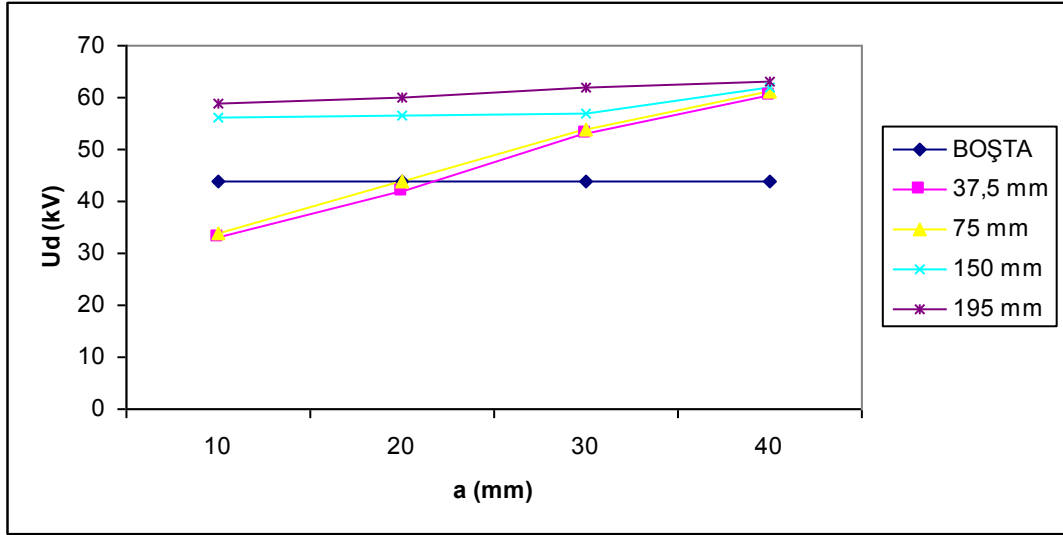
Hazırlanan grafiklerin, düşey ekseninde delinme gerilimi (U_d) değerleri kV cinsinden, yatay ekseninde ise elektrotlar arasındaki açıklıklar (a) mm cinsinden gösterilmiştir. Silindirik şeklindeki paravanaların elektrotlar arasına yerleştirildiği durumda elde edilen delinme gerilimi eğrileri, paravanaların çapları parametre alınarak, kolay ayırt edilebilmeleri için farklı şekillerle gösterilmiştir.

Kauçuk paravananın düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durum Şekil 4.1’de, beyaz renkli PVC paravana için aynı grafik Şekil 4.2’de, şeffaf olan PVC paravana için ise Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

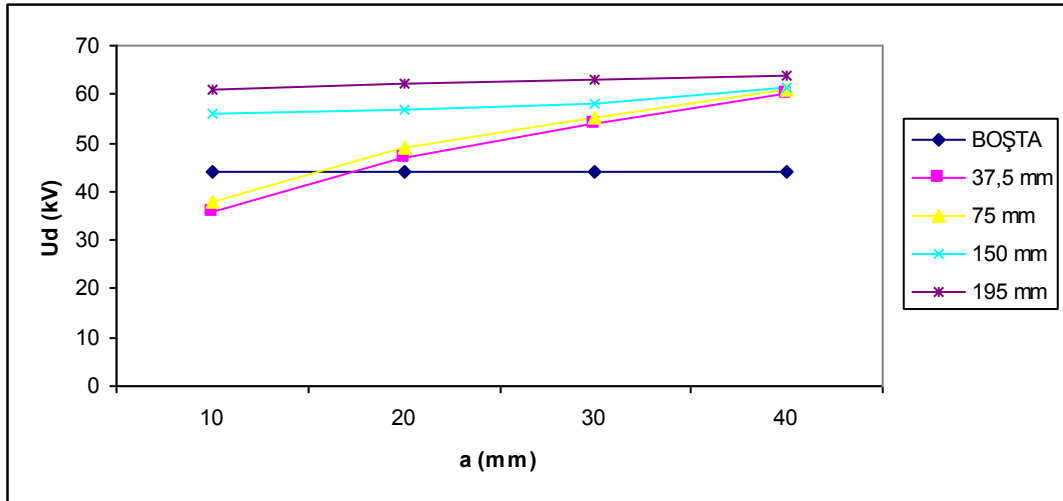
Sonuçlar incelenecek olursa, her durum için elektrot açıklığının artmasıyla birlikte havanın delinme geriliminin de arttığı ve paravanalı durumlarda bu artışın, paravanasız duruma göre daha düşük bir eğimle gerçekleştiği görülmektedir.

Her üç malzeme için de birbirine benzer grafikler elde etmekle beraber, 150 ve 195 mm çapındaki paravanaların her elektrot açıklığında delinme gerilimini arttırdığı gözlemlenmiştir. Fakat, 37.5 ve 75 mm çapındaki paravanaların, 30 mm’nin altındaki elektrot açıklıklarında havanın delinme gerilimini azalttığı, ancak, 30 mm açıklıktan itibaren olumlu etkiler göstermeye başladıkları grafiklerde açıkça görülmektedir.

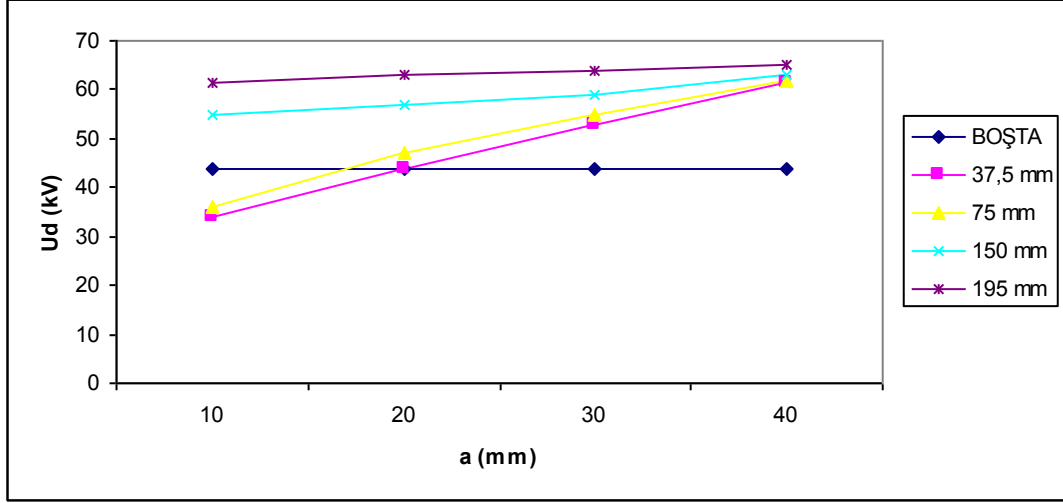
4.1.2. Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum



Şekil 4.4. Alternatif Gerilimde Kauçuk Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri



Şekil 4.5. Alternatif Gerilimde Beyaz Renkli PVC Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri



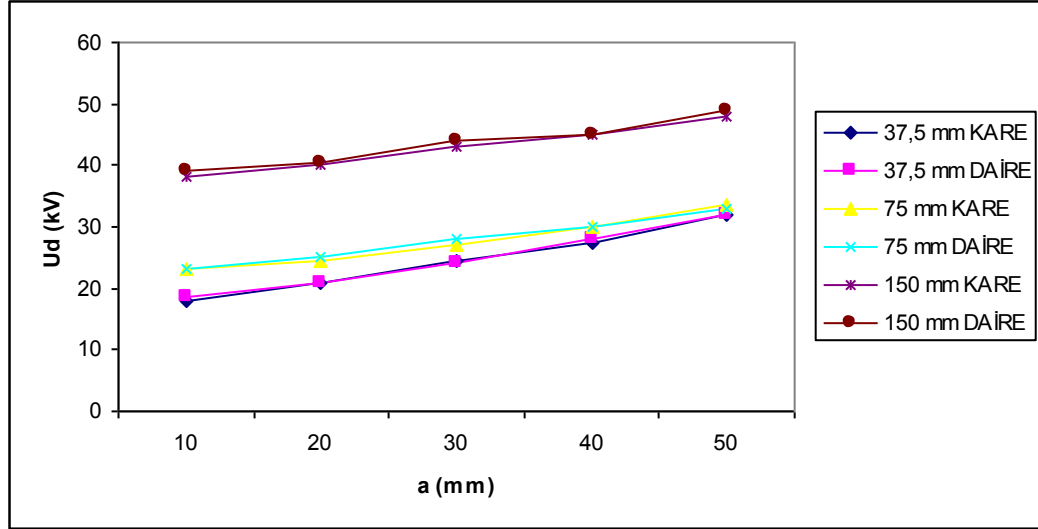
Şekil 4.6. Alternatif Gerilimde Şeffaf Olan PVC Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri

Deneyleerin ikinci kısmında, elektrotlar arasına yerleştirilen paravanaların, havada farklı konumlarda bulunduklarında havanın delinme gerilimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Elektrotlar arasındaki açıklık 50 mm olarak sabit tutularak, paravanalar alt (düzlem) elektrottan itibaren, sırasıyla 10, 20, 30, 40 mm uzaklığa yatay olarak yerleştirilmiştir. Burada da, öncelikle elektrotların arasında paravanaların olmadığı durumda yapılan ölçümlerle bir “BOŞTA” eğrisi oluşturularak, grafiklerde paravanaların etkisinin daha iyi görülmesi sağlanmıştır.

Deney sonuçları incelenecek olursa, paravanaların üst elektroda yaklaştırılmasıyla birlikte delinme gerilimi değerlerinin düzgün bir şekilde artış gösterdiği ve ilk durumdakine benzer şekilde 37.5 ve 75 mm çapındaki paravanaların ancak 20 mm uzaklıktan itibaren etkili olmaya başladığı görülmüştür.

4.1.3. Aynı Malzemeden Hazırlanan Farklı Şekillerdeki Paravanaların Karşılaştırılması

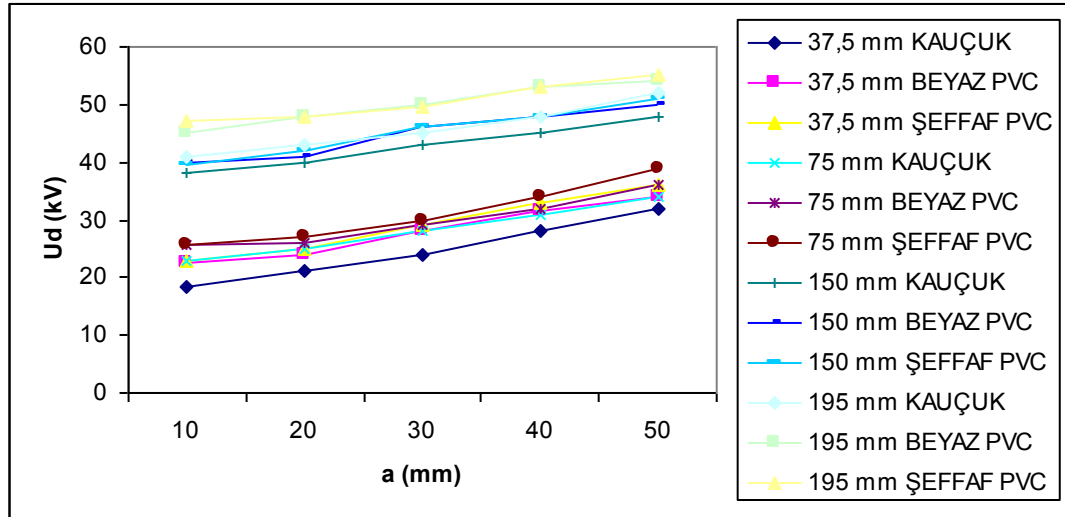


Şekil 4.7. Alternatif Gerilimde Aynı Malzemeden Yapılan Farklı Şekillerdeki Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildikleri Durum İçin Havanın Delinme Gerilimlerinin Karşılaştırılması

Buraya kadar olan bölümde sadece, silindir şeklindeki paravanaların delinme dayanımı üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Burada ise, delinme dayanımı üzerinde geometri ve yüzey alanı etkisini de görebilmek için silindir şeklindeki numunelere ek olarak kare şeklindeki paravanalar da kullanılmıştır (Şekil 4.7). Kare şeklindeki paravanalar, diğer paravanalar ile aynı malzemeden, karenin kenar uzunluğu silindir çapıyla aynı olacak şekilde hazırlanmıştır.

Sonuçlara bakılacak olursa, kare ve silindir şeklindeki paravanaların aynı şartlar altında birbirine çok yakın etkiler gösterdiği anlaşılmaktadır. Silindir şeklindeki paravanalara ait eğrilerin küçük farklarla da olsa kare şeklindeki numunelere göre biraz daha üstte yer aldığı gözlemlenmiştir.

4.1.4. Farklı Malzemelerden Hazırlanan Aynı Boyutlardaki Paravanaların Karşılaştırılması



Şekil 4.8. Alternatif Gerilimde Farklı Malzemelerden Yapılan Aynı Boyutlardaki Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildikleri Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri

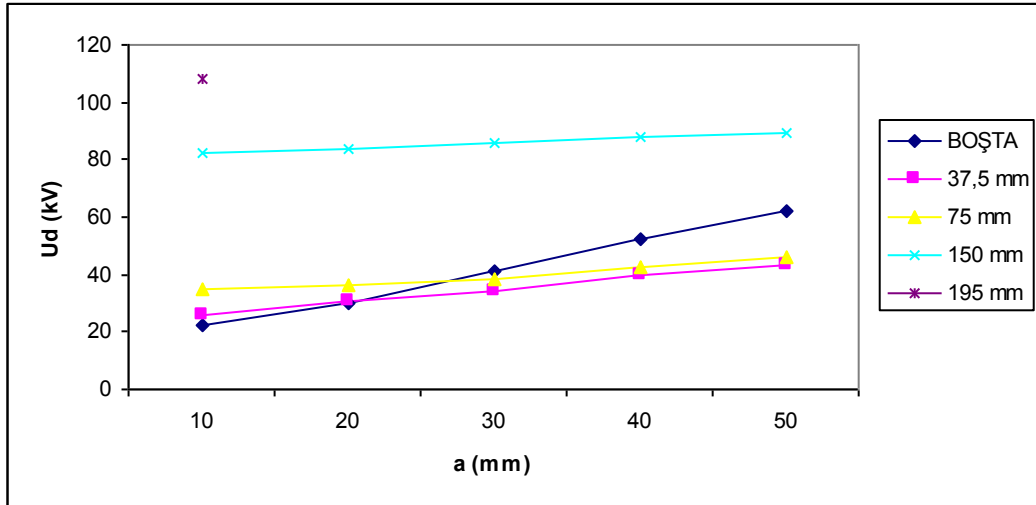
Deney numunelerinin delinme dayanımı üzerindeki boyut ve geometri etkisine ek olarak, kullanılan malzemenin yapısından kaynaklanan farklılıklar Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Sonuçta, her bir boyut için üç ayrı malzemenin de birbirine yakın etkiler gösterdiği görülmüştür. Beklenildiği üzere, kullanılan yalıtkan paravanalar çaplarıyla doğru orantılı olarak havanın delinme gerilimini arttırmışlardır.

4.2. Doğru Gerilim

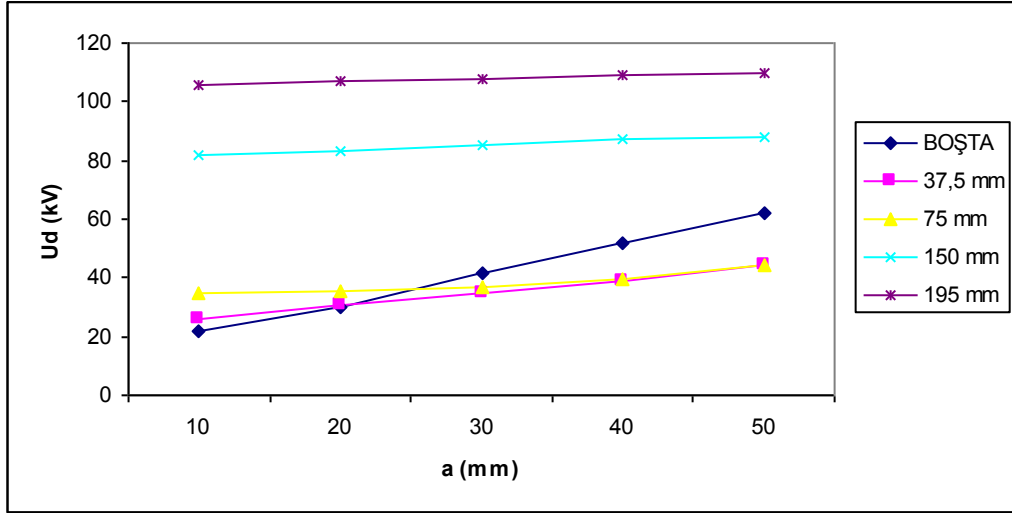
Havanın delinme gerilimi üzerinde kutbiyetin etkisini görebilmek ve karşılaştırma yapabilmek için alternatif gerilimle yapılan tüm deneyler doğru gerilim ile tekrarlanmıştır. Paravanaların düzlem elektrot üzerinde ve havada asılı oldukları durumlar için pozitif ve negatif doğru gerilim deneyleri yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

4.2.1. Pozitif Doğru Gerilim

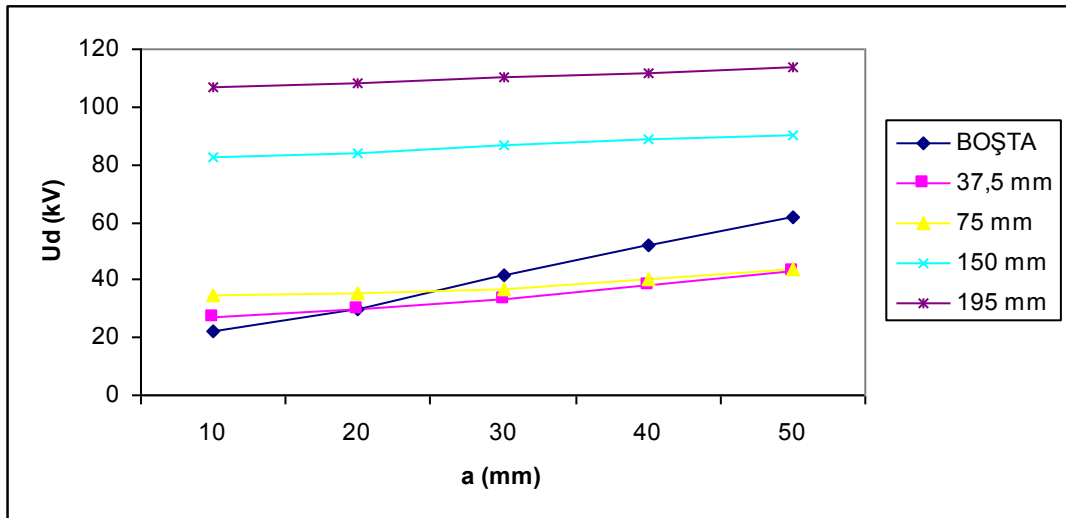
4.2.1.1. Paravanaların Düzlem Elektrodun Üzerine Yerleştirildiği Durum



Şekil 4.9. Pozitif Doğru Gerilimde Kauçuk Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri



Şekil 4.10. Pozitif Doğru Gerilimde Beyaz Renkli PVC Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri



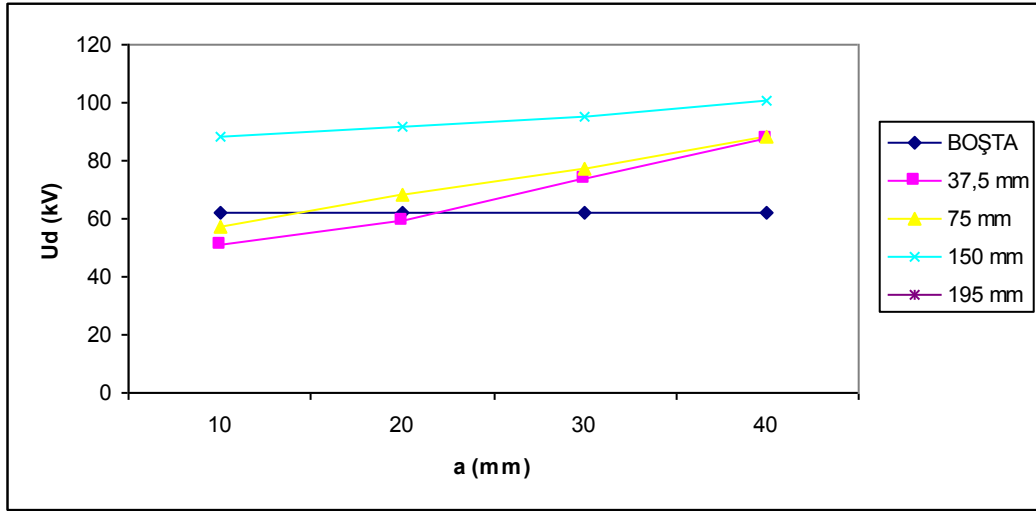
Şekil 4.11. Pozitif Doğru Gerilimde Şeffaf Olan PVC Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri

Pozitif doğru gerilim ile yapılan deneylerde de, öncelikle paravanaların olmadığı durum için bir “BOŞTA” eğrisi oluşturularak karşılaştırma yapma imkanı sağlanmıştır. Şekil 4.9’dan, kauçuk paravanaların düzlem elektrot üzerinde bulunduğu duruma ait eğriler gösterilmiştir. Burada, alternatif gerilimde görülen durumun aksine, 37.5 ve 75 mm çapındaki paravanaların yaklaşık 25 mm elektrot açıklığına kadar havanın delinme gerilimini arttırdığı, daha büyük açıklıklarda ise olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

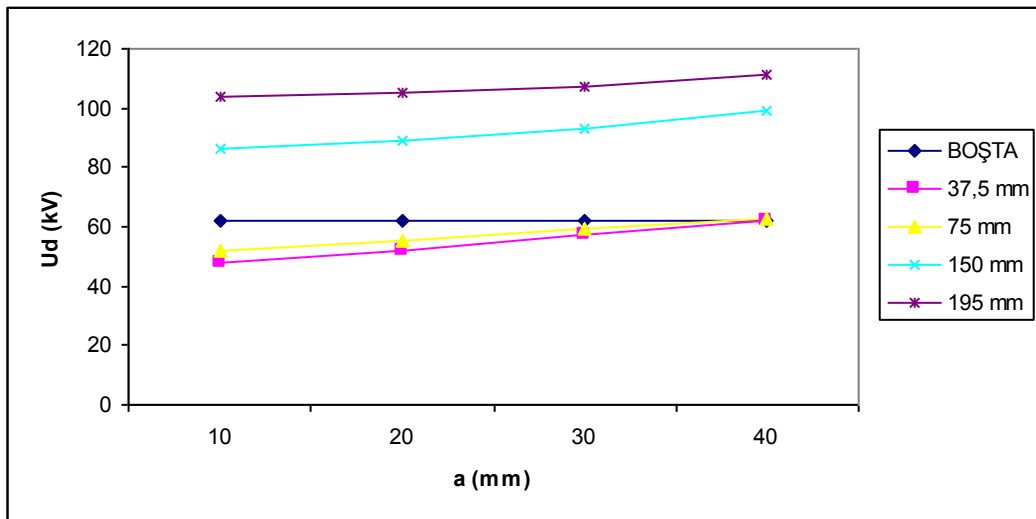
195 mm çapındaki kauçuk paravana, henüz ilk denemede yaklaşık olarak 110 kV seviyesinde delinerek tahrip olmuştur. Dolayısıyla, bu paravana için diğer durumlardaki delinme değerleri ölçülememiştir.

Beyaz renkli PVC ve şeffaf olan PVC numunelere ait eğriler ise sırasıyla, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Kauçuk paravanalarda olduğu gibi, bu iki malzeme için de, 37.5 ve 75 mm çapındaki paravanaların yaklaşık 25 mm elektrot açıklığından itibaren havanın delinme gerilimi üzerinde olumlu yönde etkiler göstermeye başladıkları grafiklerden açıkça görülmektedir.

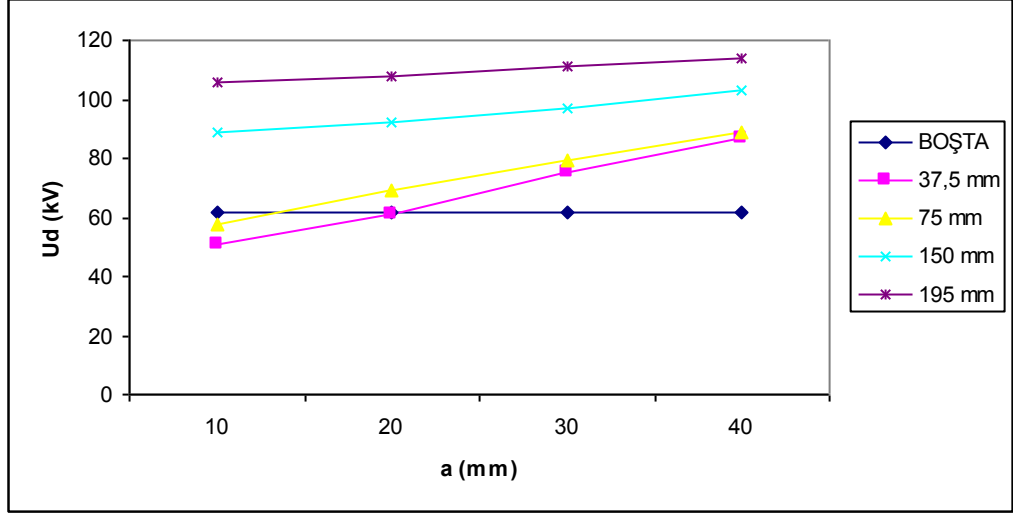
4.2.1.2. Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum



Şekil 4.12. Pozitif Doğru Gerilimde Kauçuk Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri



Şekil 4.13. Pozitif Doğru Gerilimde Beyaz Renkli PVC Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri



Şekil 4.14. Pozitif Doğru Gerilimde Şeffaf Olan PVC Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri

Elektrot açıklığının 50 mm olarak sabit tutulduğu durumda havanın delinme gerilimi saptanarak grafiklerde yatay bir doğru şeklinde gösterilmiştir. Şekil 4.12'den kauçuk paravananın havada asılı olduğu durumun grafikleri incelenecek olursa, 37.5 ve 75 mm çapındaki paravanaların, alt (düzlem) elektrottan 20 mm'den daha uzak bir noktaya yerleştirildiklerinde havanın delinme dayanımını arttırdıkları görülmektedir.

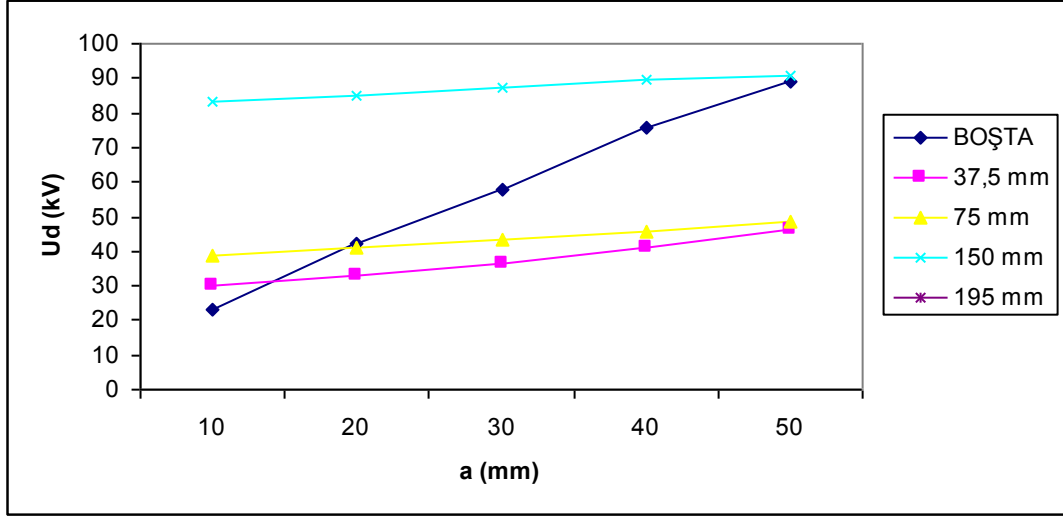
37.5 ve 75 mm çapındaki beyaz renkli PVC paravananın, ancak, alt elektrottan 40 mm uzaklaştığı anda olumlu bir etki göstermeye başladığı Şekil 4.13'den açıkça görülmektedir.

Şekil 4.14'den şeffaf olan PVC'nin de 37.5 ve 75 mm çapındaki numuneler için alt elektroda 20 mm uzaklıktan itibaren olumlu bir etki göstermeye başladığı anlaşılmaktadır. Pozitif doğru gerilimde paravanaların havada asılı olduğu durum için karşılaştırma yapılırsa, şeffaf olan PVC paravanalar ile kauçuk paravanaların benzer etkiler gösterdiği, beyaz renkli PVC paravananın ise bu değerlerin biraz altında kaldığı görülmektedir.

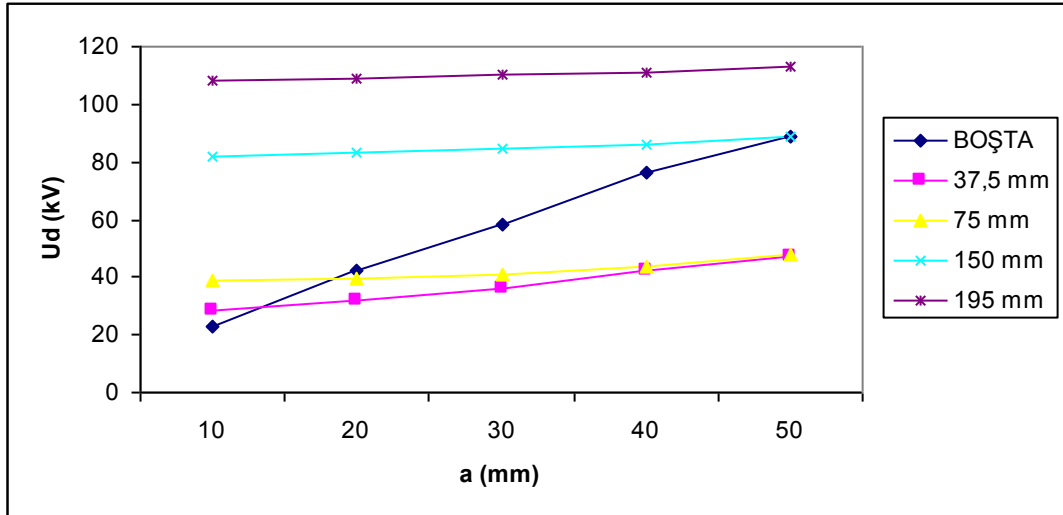
195 mm çapındaki kauçuk paravana, daha düşük gerilim seviyelerinde, düzlem elektrot üzerinde bulunduğu durumda delindiğinden dolayı burada ve buradan sonraki grafiklerde gösterilememiştir.

4.2.2. Negatif Doğru Gerilim

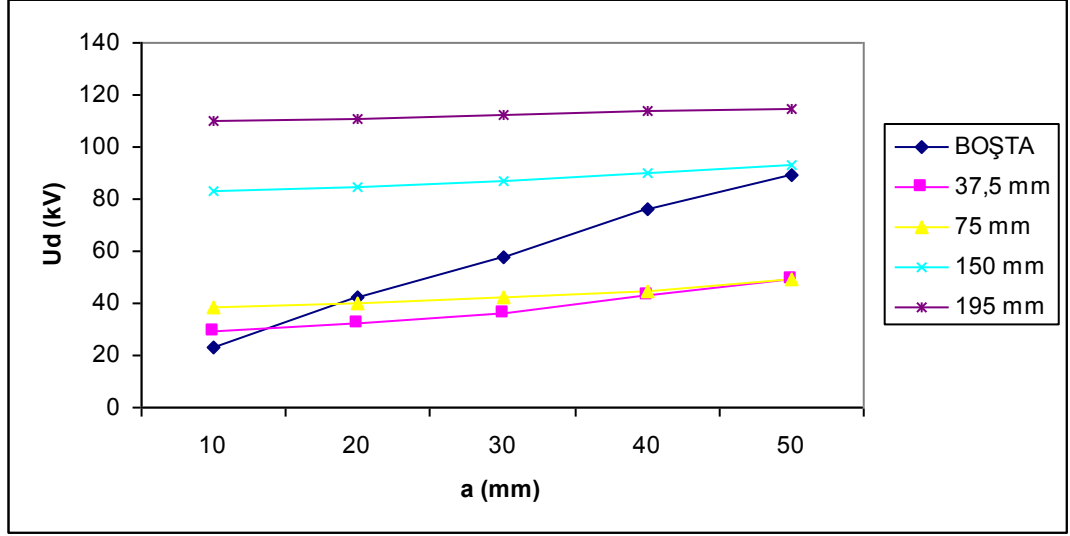
4.2.2.1. Paravanaların Düzlem Elektrodun Üzerine Yerleştirildiği Durum



Şekil 4.15. Negatif Doğru Gerilimde Kauçuk Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri



Şekil 4.16. Negatif Doğru Gerilimde Beyaz Renkli PVC Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri



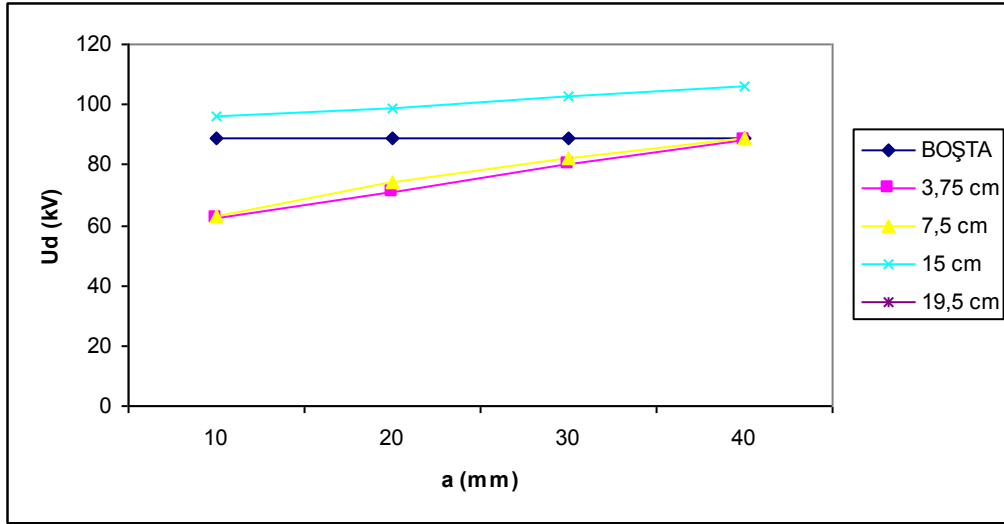
Şekil 4.17. Negatif Doğru Gerilimde Şeffaf Olan PVC Paravanelerin Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri

Düzlem elektrot üzerine yerleştirilen paravanaların negatif doğru gerilimde havanın delinme gerilimi değerleri üzerindeki etkisini incelemeden önce, daha önceki deneylerde olduğu gibi, her bir açıklık seviyesi için ölçümler yapılarak paravanasız durum için bir eğri oluşturulmuştur. Ortaya çıkan bu eğrinin, pozitif doğru gerilim deneylerinden çıkarılan aynı eğriye göre daha büyük bir hızla artış gösterdiği ve daha yüksek değerlere ulaştığı grafiklerden görülmektedir.

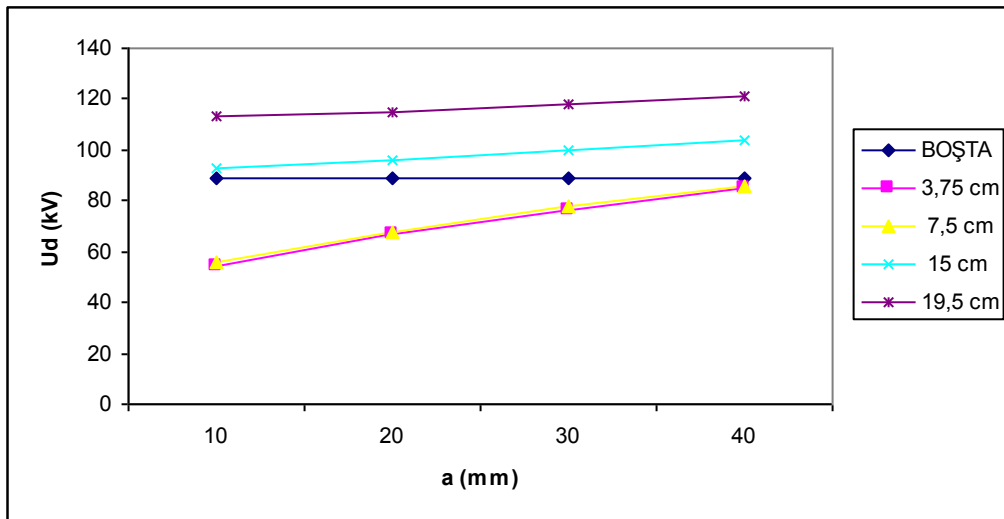
Kauçuk paravanalardan 37.5 ve 75 mm çapında olan iki tanesinin ancak, 20 mm'nin altındaki elektrot açıklıklarında havanın delinme gerilimini yükselttiği Şekil 4.15'den görülmektedir. Daha büyük açıklıklarda ise, paravanaların bulunmadığı duruma ait delinme gerilimi değerleri, paravanalı duruma göre daha yüksektir.

Benzer şekilde, beyaz renkli ve şeffaf olan PVC paravanalarla yapılan ölçümlerde, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'dan görüldüğü gibi, 37.5 ve 75 mm çapındaki paravanaların sadece küçük açıklıklarda, 150 ve 195 mm çapındaki paravanaların ise her durumda sistemin delinme dayanımını arttırdıkları açıkça görülmektedir.

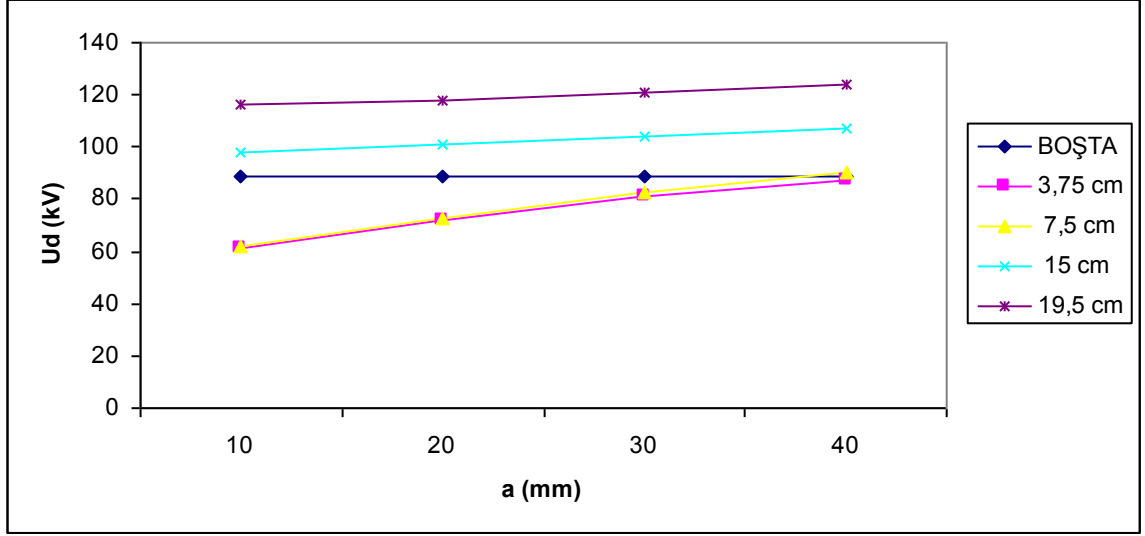
4.2.2.2. Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum



Şekil 4.18. Negatif Doğru Gerilimde Kauçuk Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri



Şekil 4.19. Negatif Doğru Gerilimde Beyaz Renkli PVC Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri



Şekil 4.20. Negatif Doğru Gerilimde Şeffaf Olan PVC Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum İçin Havanın Delinme Gerilimi Değerleri

Negatif doğru gerilimde, her üç paravana için de 37.5 ve 75 mm çapındaki numunelerin ancak, alt elektrottan 40 mm ve daha uzağa yerleştirildiğinde etki etmeye başladığı yukarıdaki grafiklerden görülmektedir. 150 ve 195 mm çapındaki paravanaların elektrotlar arasındaki her konumda havanın delinme gerilimini arttırdığı açıkça görülmektedir.

Daha önce de belirtildiği üzere, 195 mm çapındaki kauçuk paravanaya ait değerler bu bölümdeki grafiklerde de yer almamaktadır.

Genel olarak, paravanaların havada asılı olduğu durumlarda elde edilen gerilim değerlerinin, düzlem elektrot üzerine yerleştirildikleri duruma göre daha yüksek olduğu, gerek alternatif gerilim deneylerine, gerekse pozitif ve negatif doğru gerilim deneylerine ait grafiklerden açıkça görülmektedir.

5. BİLGİSAYAR SİMÜLASYONU

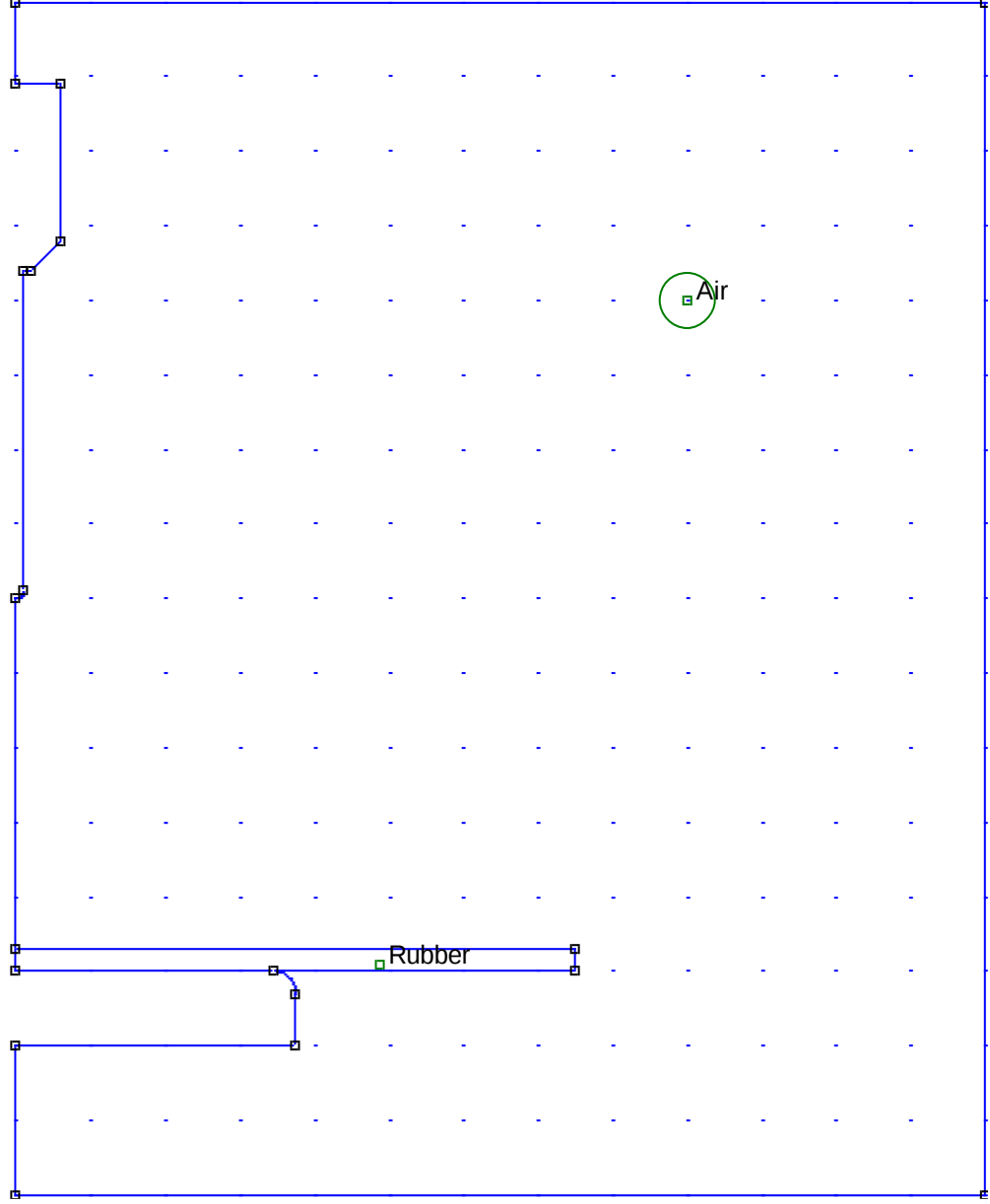
Bir elektrot düzenine gerilim uygulandığında, elektrotlar arasında bir elektriksel potansiyel ve alan dağılımı oluşur. Bu alan dağılımı, elektrot düzeninde elektrotların belirli bir simetrisi olduğunda kuramsal olarak kolaylıkla incelenebilir. Ancak, belirli bir simetrinin bulunmadığı, daha karmaşık durumlarda problemin kuramsal olarak incelenmesinde zorluklarla karşılaşılır. Bu gibi durumlarda, konform dönüşüm, çizimsel (grafik) ve deneysel yöntemler gibi analog yöntemlerden veya sonlu farklar, sonlu elemanlar ve yük benzetimi gibi sayısal (nümerik) yöntemlerden yararlanılabilir.

Analog yöntemler genellikle uzun uğraşlar gerektiren, her elektrot düzenine uygulanması kolay olmayan yöntemlerdir. Bunun yanında, bilgisayar alanındaki hızlı gelişime paralel olarak, düzgün olmayan alanlardaki elektrostatik alan incelemelerinde sayısal yöntemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Tezde, bilgisayar ortamında yapılan tüm çalışmalar için kullanılan paket program ile elektrostatik alan dağılımı, sayısal yöntemlerden biri olan sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir [15].

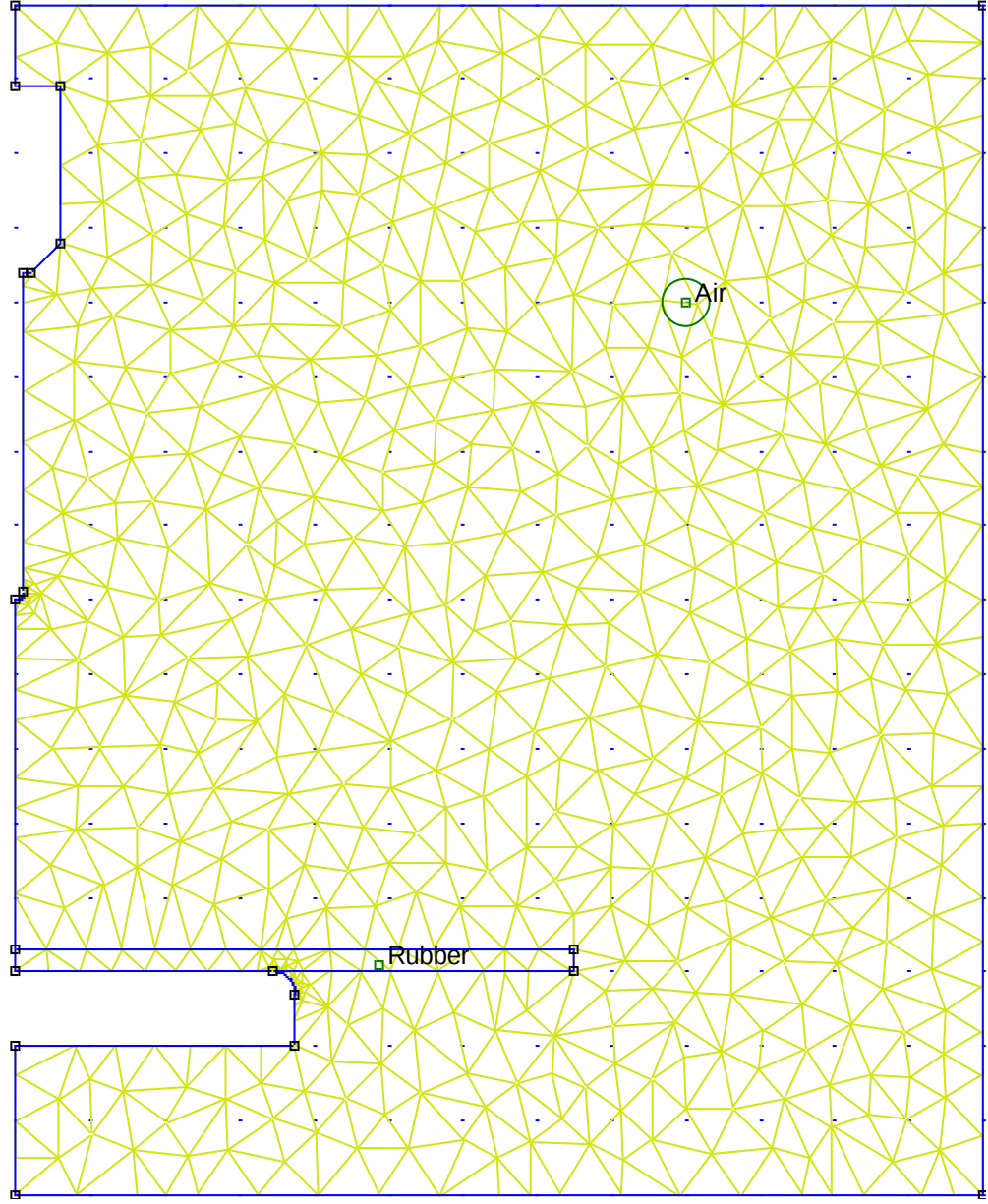
Sonlu elemanlar yöntemi (SEY), belirli bir bölge içinde tanımlanmış kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü için kullanılan, her türlü sınır şekil ve koşulları için lineer ve lineer olmayan bütün problemlere uygulanabilen sayısal bir yöntemdir. SEY ile çözüm yapılabilmesi için problemin sınır koşullarının verilmesi ve probleme ilişkin incelenecek bölgenin sınırlarının kapalı bir bölge olması gerekmektedir [20].

Yapılan deneysel çalışmaların bilgisayar ortamında modellenmesinde, FEMM 4.0 (Finite Element Method Magnetics) adlı bir paket program kullanılmıştır. SEY ile çözüm yapan bu program, çözümün yapıldığı bölgede parça-parça bir yaklaşım için, içinde potansiyel fonksiyonun lineer bir bağıntıyla değiştiği üçgen elemanlar kullanmaktadır. Manyetik ve elektrostatik problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan bu analiz programı sayesinde, çok karmaşık problemlerin çözümü kısa sürede ve büyük bir doğrulukla yapılabilir.

5.1. 150 mm Çapındaki Kauçuk Paravananın Düzlem Elektrodun Üzerine Yerleştirildiği Durumun Simülasyonu



Şekil 5.1. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Kauçuk Paravananın Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durumun FEMM Programıyla Tanımlanması



Şekil 5.2. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Paravananın Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum İçin Oluşturulan SEY Ağı

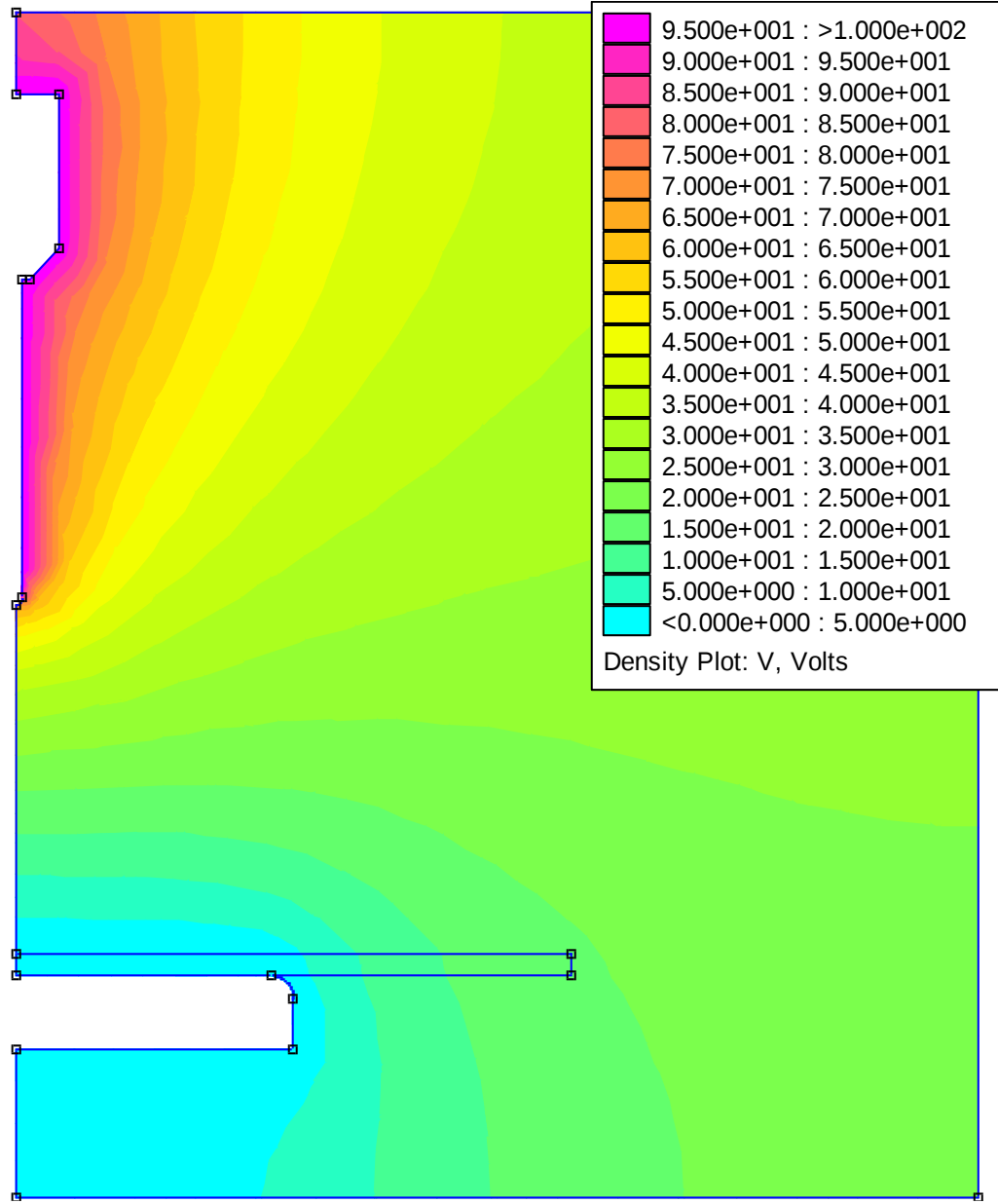
FEMM programıyla bir sistemin analiz edilebilmesi için öncelikle problemin tam olarak tanımlanması gerekmektedir. Yapılan tüm çözümlerde, programın kendi menüsünde bulunan elektrostatik çözüm seçeneği ile kullandığımız elektrot sisteminin bir modeli silindirselsel koordinatlarda oluşturulmuştur.

Deneylerde kullanılan elektrot sistemini ve paravanaları bilgisayar ortamına aktarabilmek için, önce her noktanın tek tek tanımlanması, sonra da bu noktaların birleştirilmesi sonucunda kapalı bir çevre oluşturulması gerekmektedir. Kullanılan malzemelerin ve ortamın da tanımlanması ile problemin tanımı tam olarak yapılmış olur.

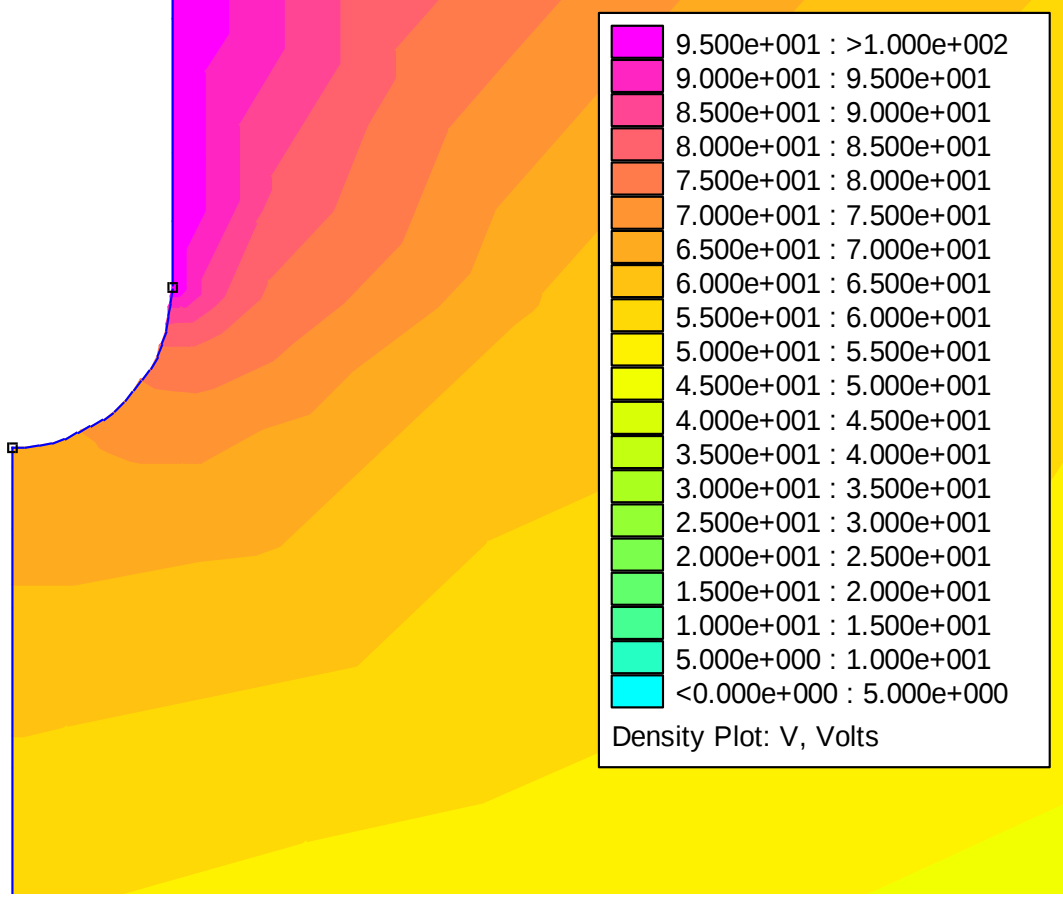
Şekil 5.1’de, çubuk-düzlem elektrot sisteminde 150 mm çapındaki kauçuk paravananın düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durum için FEMM programıyla tanımı görülmektedir. Program ekranındaki tüm görüntüler düşey eksene ($y = 0$) göre simetrik olarak verilmektedir.

Çözümün ilk aşamasında, programda oluşturulan kapalı çevrenin sonlu elemanlara ayrılması Şekil 5.2’de görülmektedir. Oluşturulan sonlu elemanlar ağı ile bölge yaklaşık 1000 elemana bölünmüş ve eşlenik eğim yöntemi ile 10^{-8} doğrulukla sonuçlar elde edilmiştir.

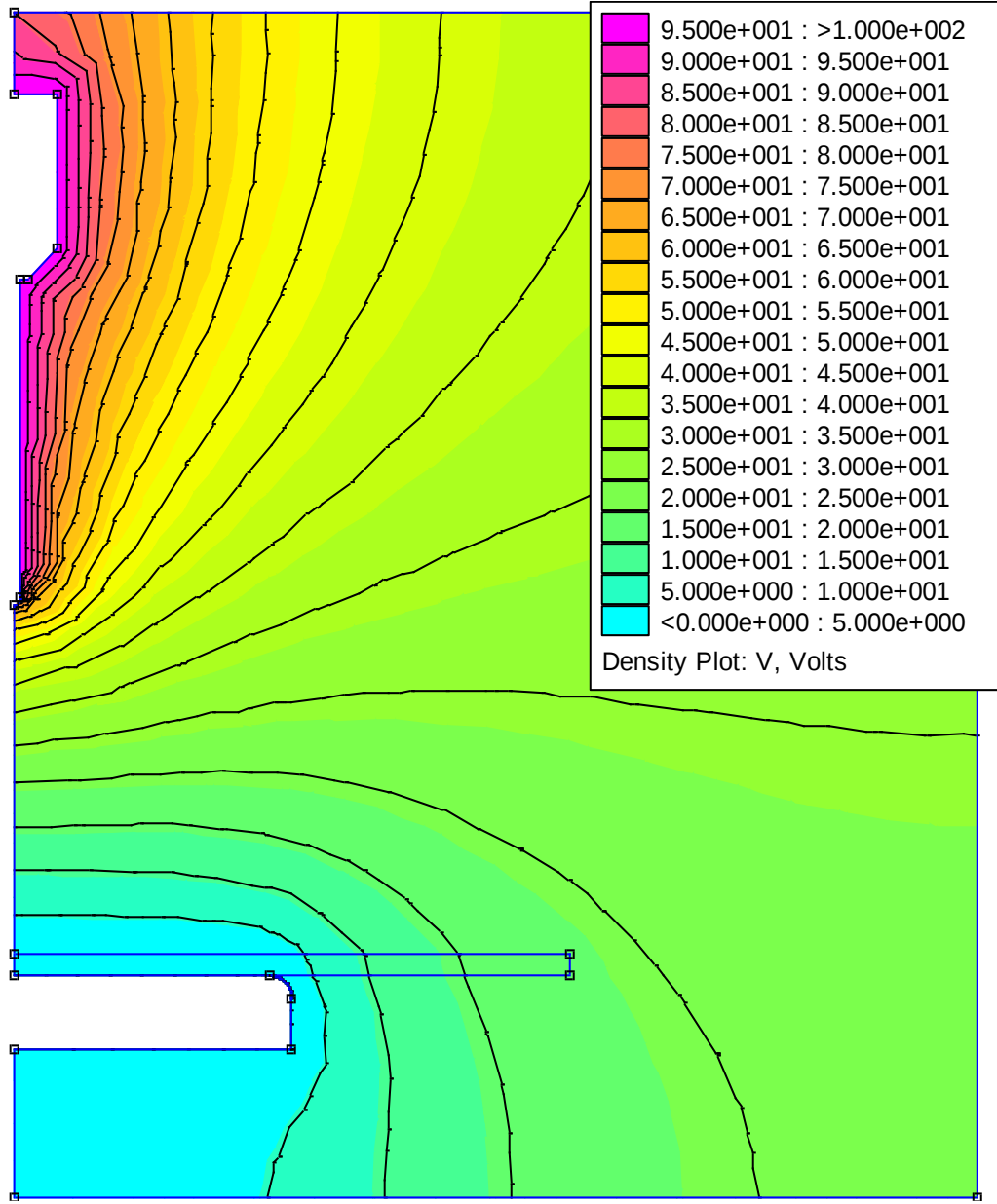
Şekil 5.2’den, meydana gelen SEY ağındaki üçgen elemanların dağılımlarını incelenecek olursa, çubuk elektrodun uç kısmı ile düzlem elektrodun yuvarlatılmış olan üst köşesinde üçgen elemanların daha yoğun olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 5.3. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Paravananın Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum İçin Elde Edilen Potansiyel Dağılımı



Şekil 5.4. Çubuk Elektrodun Ucundaki Potansiyel Dağılımı



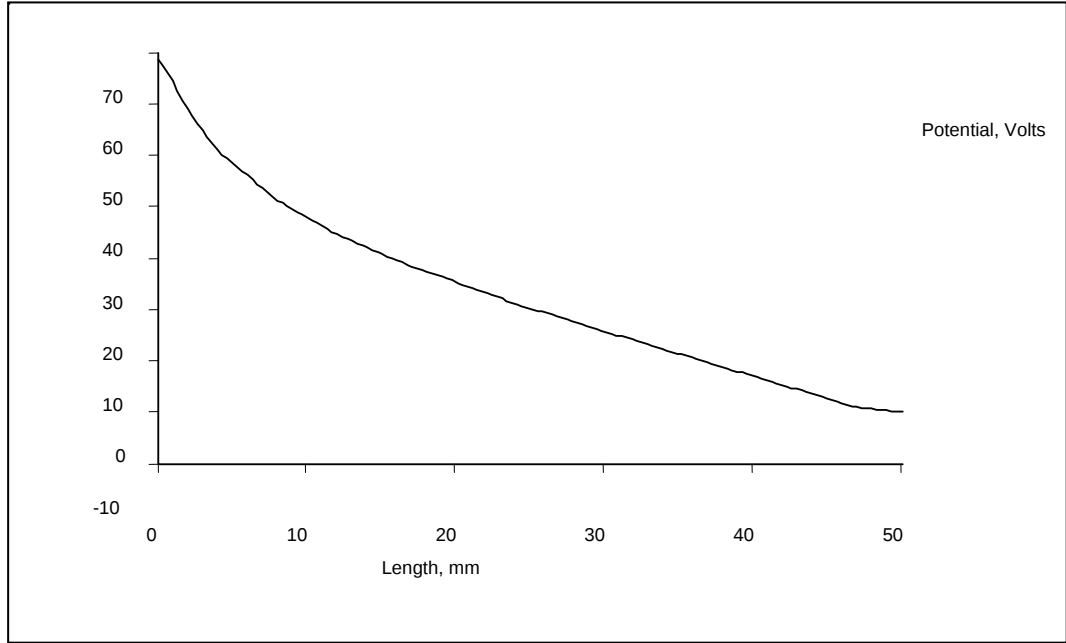
Şekil 5.5. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Paravananın Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirildiği Durum İçin Eşpotansiyel Çizgilerin Gösterilmesi

Sonlu elemanlar ağının oluşturulmasından sonra yapılan çözüm ile şekil 5.3’de görülen potansiyel dağılımları elde edilmiştir. Burada her potansiyel seviyesi farklı renklerle tanımlanarak, mevcut renklerin ve potansiyel sınırlarının bulunduğu tablo aynı ekranın sağ üst köşesinde verilmiştir. Renkler en yüksek potansiyelden en düşük olana doğru sıralanırsa; mor, turuncu, sarı, yeşil ve mavi şeklinde olduğu görölmektedir.

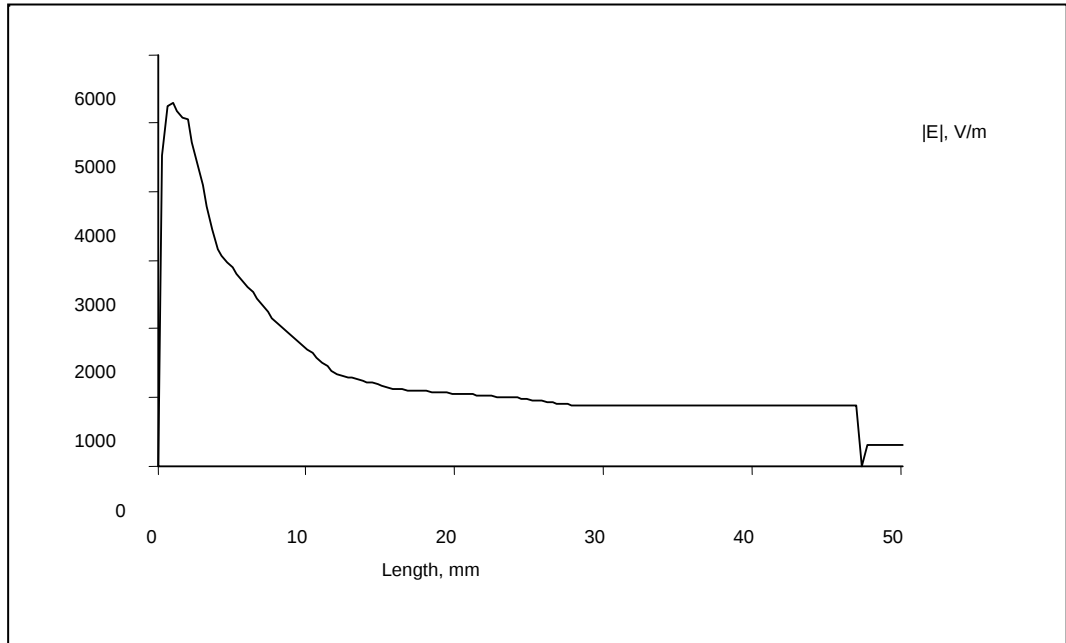
şekil 5.3’deki renk dağılımları incelenecek olursa, gerilim uygulanan çubuk elektrodun çevresindeki potansiyelin daha yüksek olduğu, elektrodu çevreleyen mor renkli bölgeden anlaşılmaktadır. Topraklanmış olan düzlem elektroda yaklaşıldığında bu yoğunluğun giderek azaldığı, düzlem elektrot çevresinde en düşük potansiyel seviyesini sembolize eden mavi rengin hakim olduğu açıkça görölmektedir.

ubuk elektrodun uç kısmındaki potansiyel dağılımı şekil 5.4’de daha ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Buradan, ubuğun alt kısmındaki renk seviyelerinin daha açık olduğu, dolayısıyla, çubuğun üst kısımlarına göre potansiyelin daha düşük bir seviyede olduğu anlaşılmaktadır.

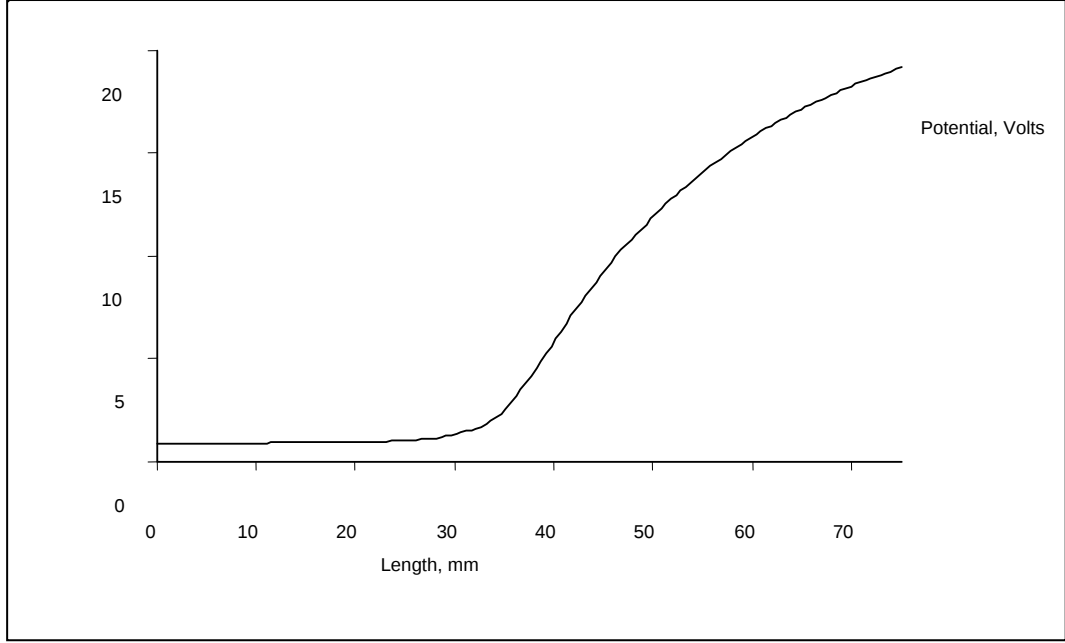
şekil 5.5’de ise potansiyel dağılımına ek olarak, eř potansiyel çizgileri de görölmektedir. Eşpotansiyel çizgilerin elektrotlar arasında ve çubuk elektrot çevresinde daha yoğun olduğu, elektrotlardan uzaklaşıldıkça bu yoğunluğun giderek azaldığı açıkça görölmektedir. Paravananın üzerine denk gelen eşpotansiyel çizgilerin, paravana yüzeyinde bir kırılmaya uğradığı ve bir miktar yön değiştirdiğı görölmektedir.



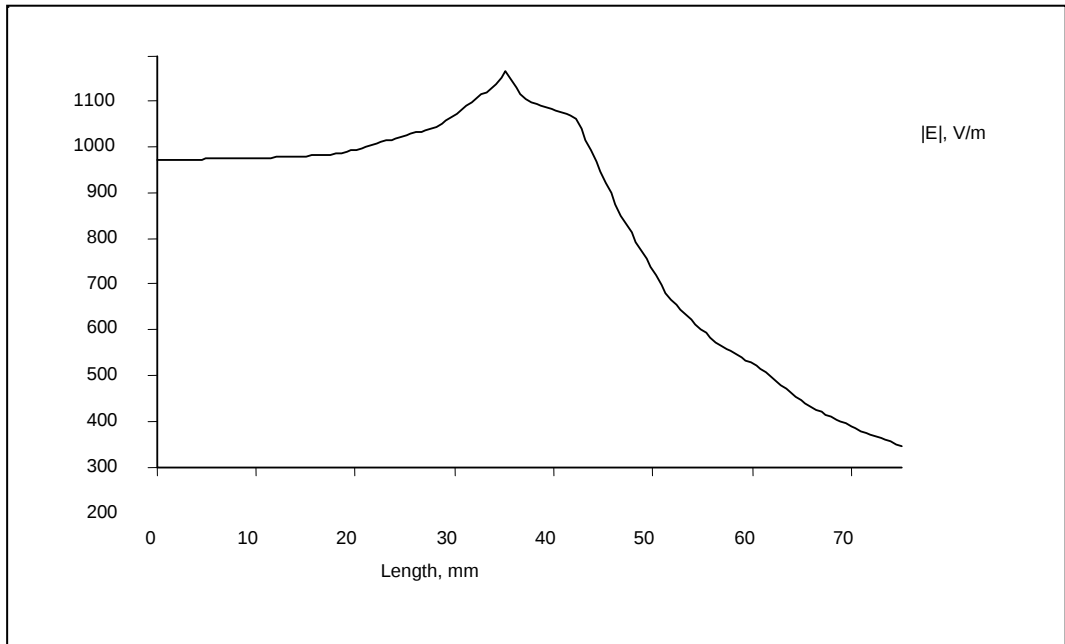
Şekil 5.6. İki Elektrot Arasındaki Potansiyelin Açıklığa Bağlı Olarak Dağılımı



Şekil 5.7. İki Elektrot Arasındaki Elektrik Alan Şiddetinin Açıklığa Bağlı Olarak Değişimi



Şekil 5.8. Paravananın Yarı Yüzeyindeki Potansiyel Dağılımı



Şekil 5.9. Paravananın Yarı Yüzeyindeki Elektrik Alan Dağılımı

Yapılan çalışmalara ek olarak, sistemin en çok zorlandığı bölgeler olan, iki elektrodun arası ve paravananın st yüzeyi hazırlanan ayrıntılı grafikler yardımıyla detaylı olarak incelenmiştir.

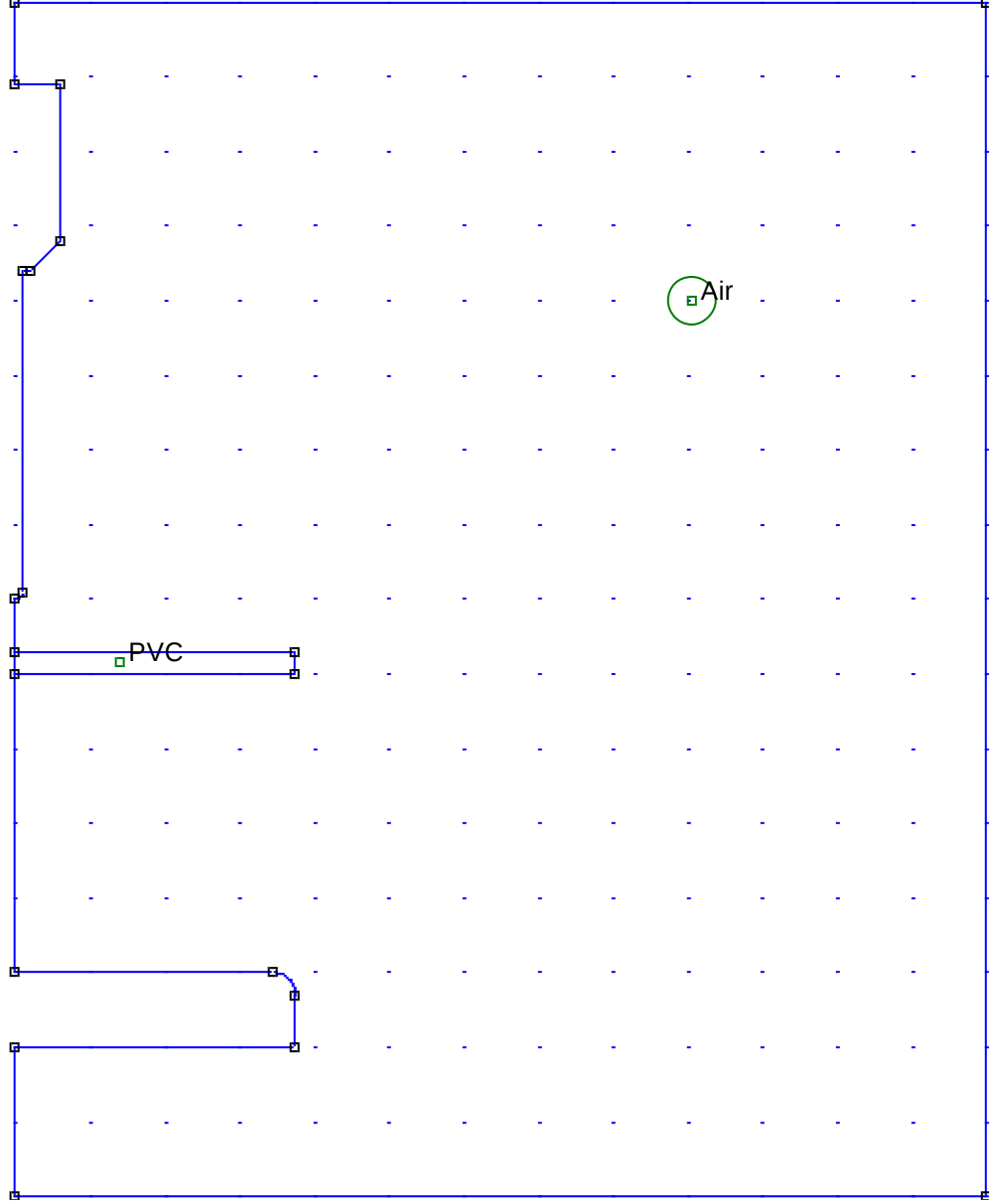
ubuk elektrodun uç noktası ile düzlem elektrodun orta noktasının birleştirilmesi sonucunda oluşturulan doğru boyunca görülen potansiyelin değişimi şekil 5.6’da, elektrik alanının değişimi ise şekil 5.7’de gösterilmiştir.

şekil 5.6’ya bakılacak olursa, iki elektrot arasındaki potansiyelin değişiminin düzlem elektrot üzerine yerleştirilen paravanadan etkilenmediği grlmektedir. Bir sonraki şekilden, elektrik alan dağılımının, paravananın yüzeyinde büyük bir hızla, “0” noktasına değin düştüğü, daha sonra paravana boyunca bir miktar artış gösterdiği grlmektedir.

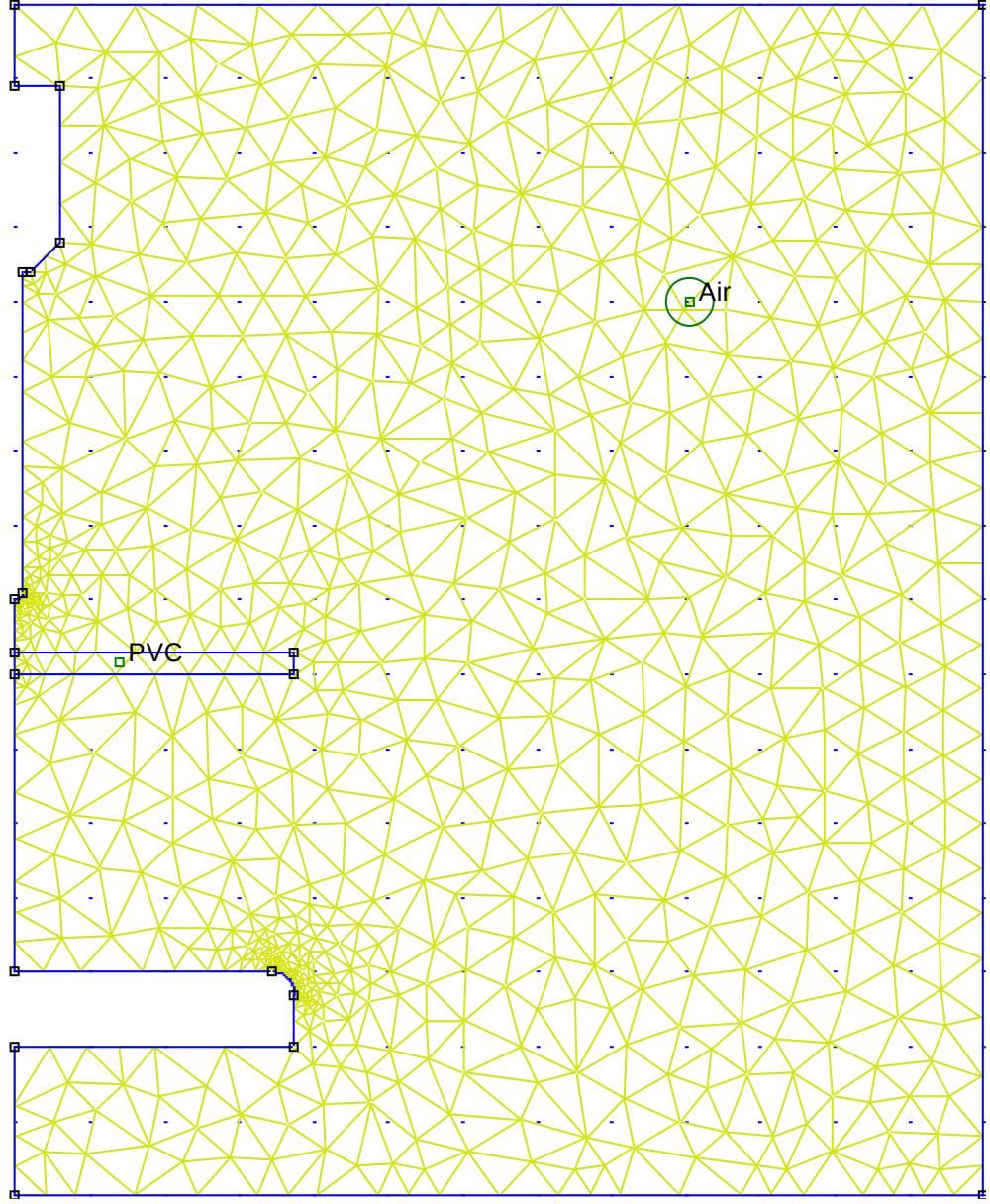
Paravananın st yüzeyindeki potansiyel dağılımı şekil 5.7’de, elektrik alan dağılımı ise şekil 5.8’de gösterilmiştir. Bu grafiklerden, potansiyelin paravana yüzeyinin orta kısımlarından kenarlara doğru gidildikçe büyük bir hızla arttığı, elektrik alan dağılımının ise dalgalı bir seyir göstermekle birlikte, paravananın kenarlarına doğru giderek azaldığı grlmektedir.

Hazırlanan tüm şekiller düşey eksene göre simetrik olduğundan, özellikle paravanaların yüzeyine ait olan grafiklerdeki dağılımlar incelenirken, bu dağılımların paravananın yarı yüzeyine ait olduğu bilinmelidir.

5.2. 75 mm Çapındaki PVC Paravananın Havada Asılı Olduğu Durumun Simülasyonu



Şekil 5.10. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde PVC Paravananın Havada Asılı Olduğu Durumun FEMM Programıyla Tanımlanması

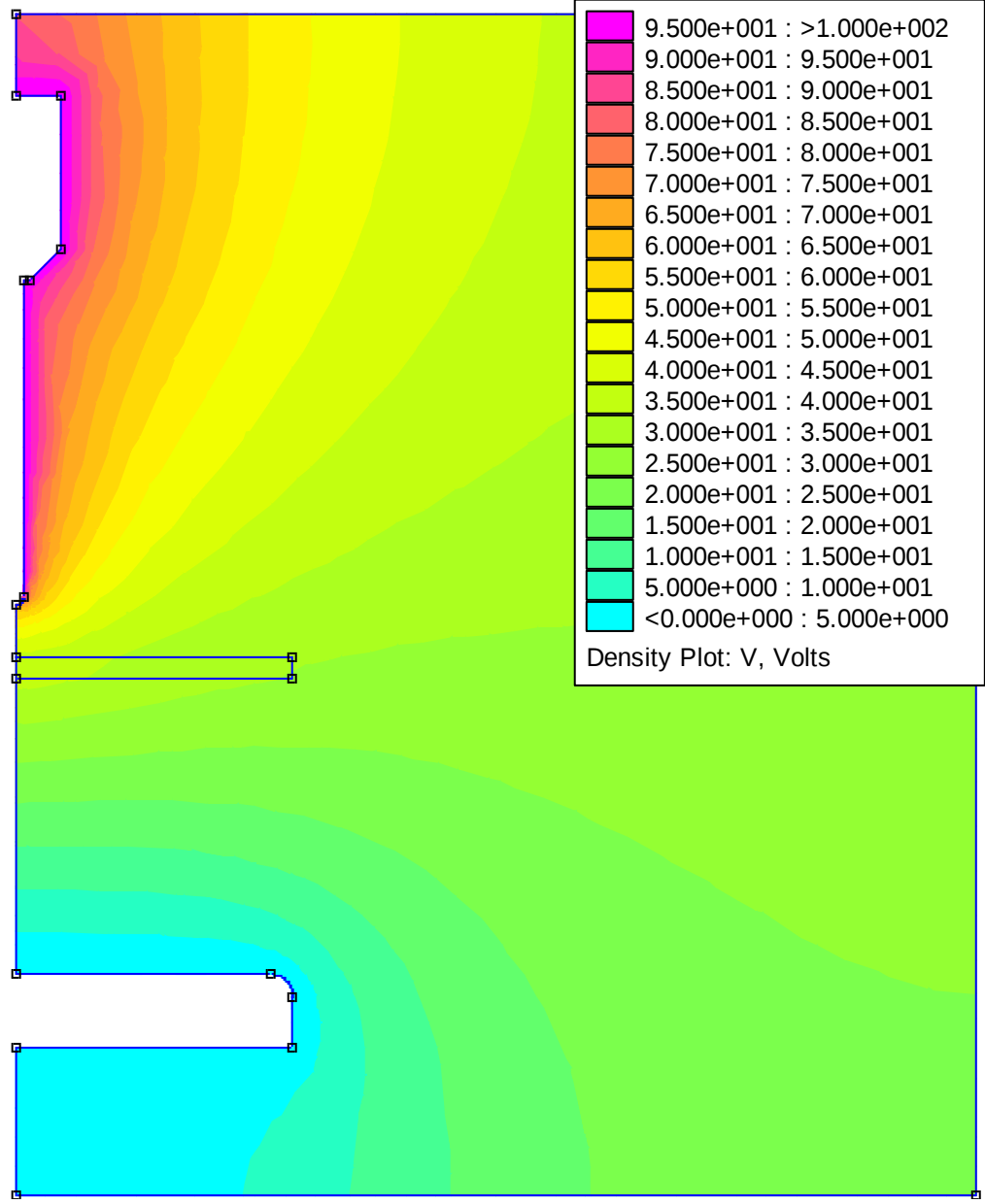


Şekil 5.11. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde PVC Paravananın Havada Asılı Olduğu Durum İçin Oluşturulan SEY Ağı

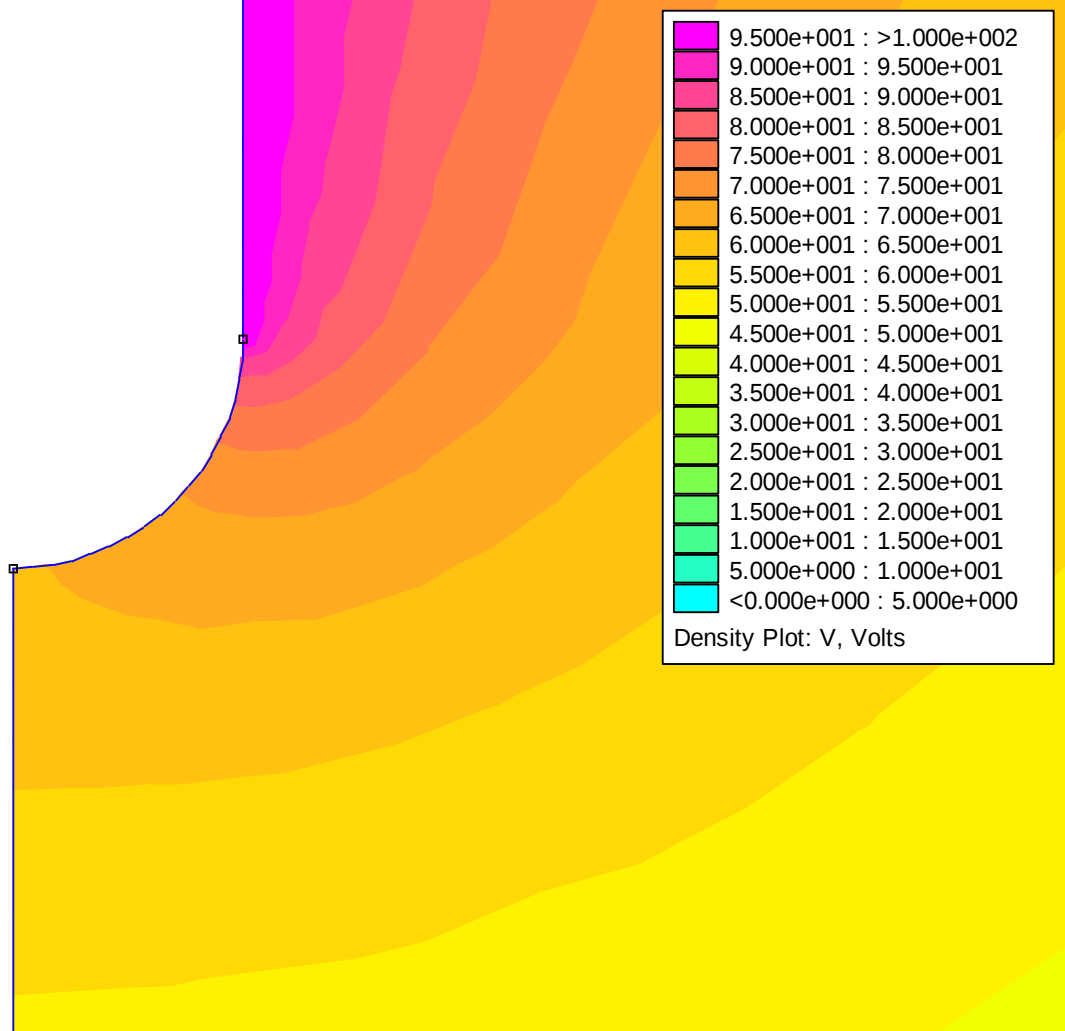
Bölüm 5.1’de paravananın düzlem elektrot üzerine yerleştirilmesi durumu için çubuk-düzlem elektrot sisteminde modelleme yapılmıştı. Bu kez, paravananın havada asılı olarak konumlandırıldığı durum için hazırlanan bir model incelenecektir. Burada kullanılan paravananın malzemesi de ilk örnekten farklı olarak, diğer bir deney numunesi olan PVC ile tanımlanmıştır.

Şekil 5.10’daki örnekte, elektrotlar arası açıklık 50 mm, paravananın alt (düzlem) elektroda olan uzaklığı 40 mm ve PVC paravananın çapı ise 75 mm olarak belirlenmiştir. Problemin tanımlanması için gerekli olan tüm işlemler bir önceki örnekle aynı şekilde yapılmıştır.

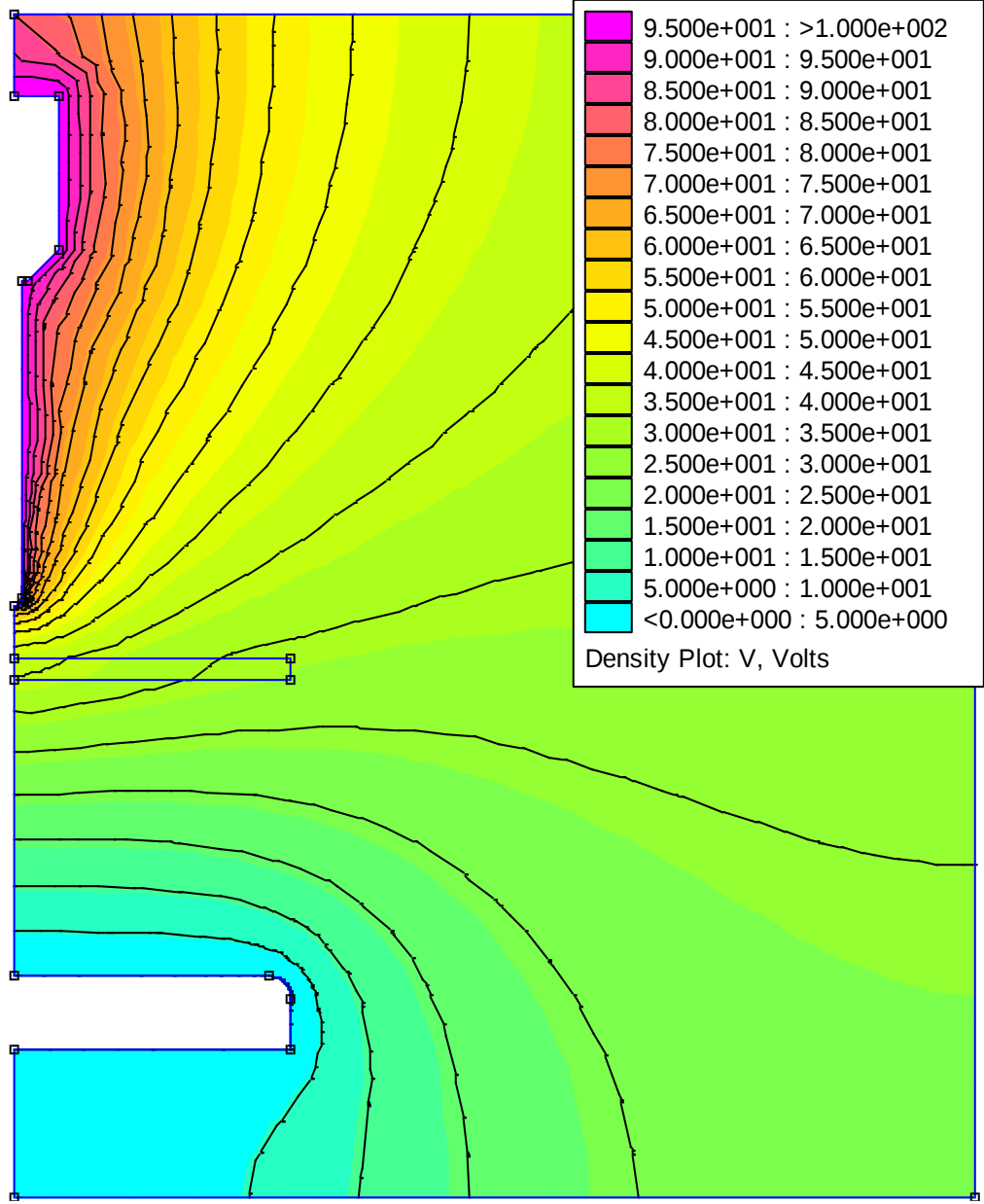
Deney ortamının ve yalıtkan malzemenin tanımlanmasından sonra, kapalı bir çevre oluşturularak Şekil 5.11’de görülen SEY ağı elde edilmiştir. Şekilden, üçgen elemanların dağılımına dikkat edilirse, eleman yoğunluğunun yine, çubuk elektrodun uç kısmında ve düzlem elektrodun yuvarlatılmış olan köşesinde arttığı açıkça görülmektedir.



Şekil 5.12. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde PVC Paravananın Havada Asılı Olduğu Durum İçin Elde Edilen Potansiyel Dağılımı



Şekil 5.13. Çubuk Elektrodun Ucundaki Potansiyel Dağılımı

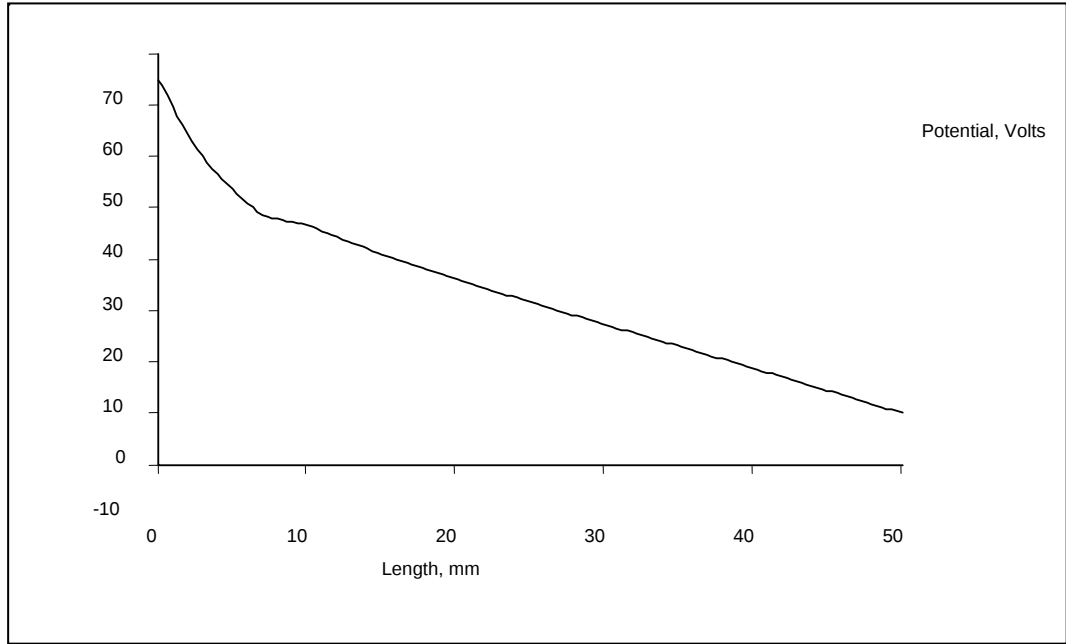


Şekil 5.14. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde PVC Paravananın Havada Asılı Olduğu Durum İçin Eşpotansiyel Çizgilerin Gösterilmesi

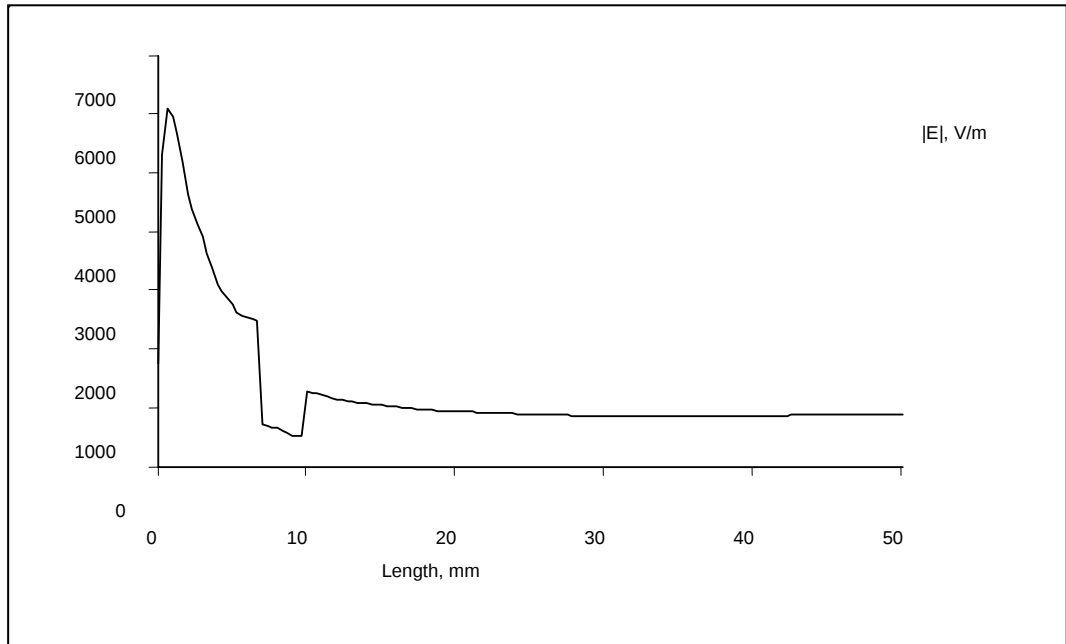
Şekil 5.12’de sistemin potansiyel dağılımı renk demetleri ile verilerek, her bir seviye sınırlarıyla birlikte belirtilmiştir. Paravananın düzlem elektrot üzerinde olduğu bir önceki örnekle karşılaştırıldığında, genel olarak potansiyel dağılımının büyük bir benzerlik gösterdiği, fakat bu kez paravananın havada asılı olmasından dolayı potansiyelin daha yüksek olduğu bir bölgede yer aldığı görülmektedir.

Çubuk elektrodun uç kısmındaki potansiyel dağılımı Şekil 5.13’den incelenirse, elektrodun ucundaki dağılımın bir önceki örnekle büyük benzerlikler gösterdiği anlaşılmaktadır.

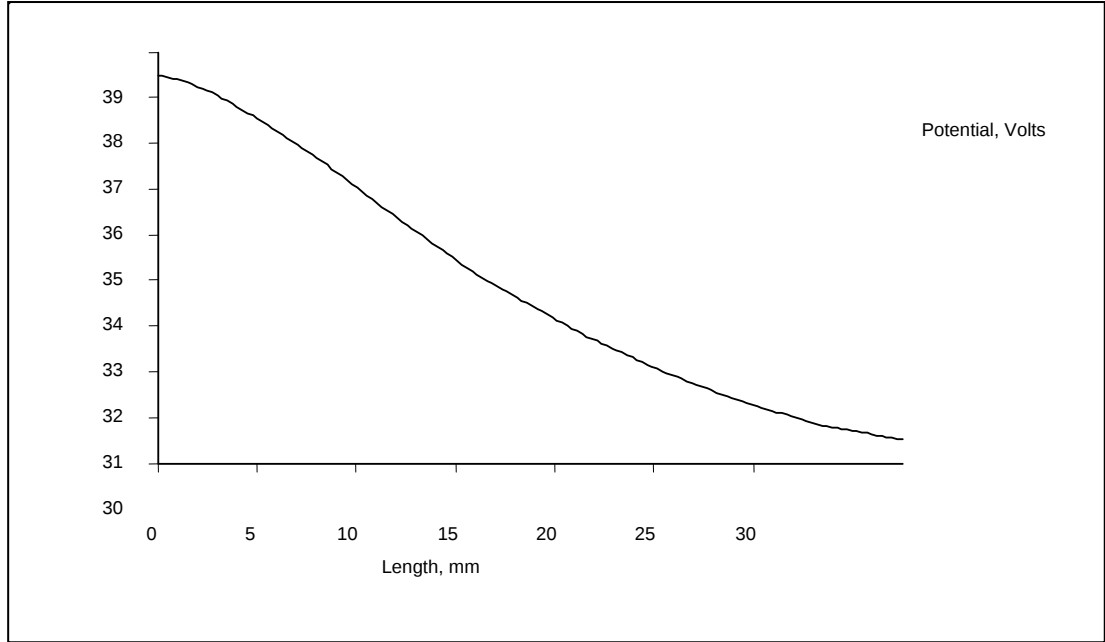
Eşpotansiyel çizgileri, elektrik alan dağılımı ile birlikte Şekil 5.14’de gösterilmiştir. Çizgilerin elektrotların arasında daha yoğun olduğu, elektrotlardan uzaklaştıkça aralarındaki mesafenin giderek arttığı görülmektedir. Paravananın bulunduğu kısma denk gelen eşpotansiyel çizgiler kırılarak devam etmiştir.



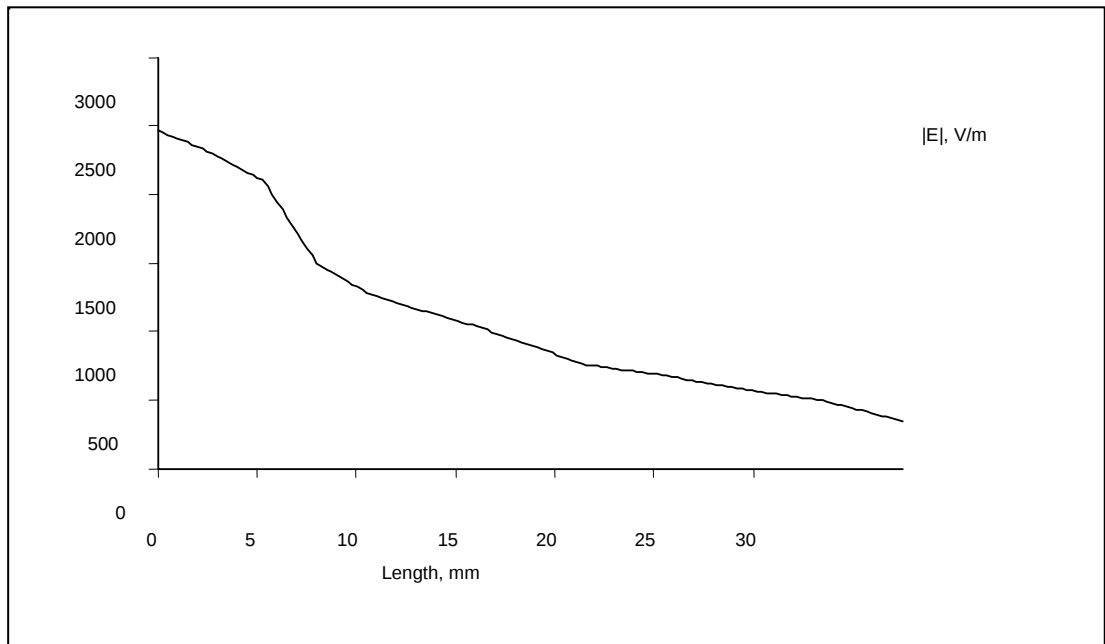
Şekil 5.15. İki Elektrot Arasındaki Potansiyelin Açıklığa Bağlı Olarak Dağılımı



Şekil 5.16. İki Elektrot Arasındaki Elektrik Alan Şiddetinin Açıklığa Bağlı Olarak Değişimi



Şekil 5.17. Paravananın Yarı Yüzeyindeki Potansiyel Dağılımı



Şekil 5.18. Paravananın Yarı Yüzeyindeki Elektrik Alan Dağılımı

Elektrotlar arasındaki boşalma olayının daha iyi anlaşılabilmesi için, burada da, çubuk elektrodun ucuyla düzlem elektrodun üst yüzeyinin orta noktasını birleştiren bir doğru boyunca potansiyelin ve elektrik alanın dağılımı incelenmiştir.

Şekil 5.15'den potansiyelin değişimine bakılacak olursa, paravananın yerleştirildiği konum olan üst elektrottan 10 mm uzaklığa kadar hızlı bir düşüş gösterdiği, paravananın yüzeyinden itibaren potansiyeldeki bu düşüşün daha yatay bir şekilde devam ettiği görülmektedir.

Yine benzer bir durum Şekil 5.16'de görülen elektrik alan dağılımında da açıkça görülmektedir. Buradan, elektrik alan dağılımının paravananın etkisi ile büyük bir değişikliğe uğradığı anlaşılmaktadır. Paravananın üst yüzeyinin bulunduğu noktaya denk gelen, üst elektrottan 7 mm uzaklığında alanın aniden büyük bir hızla azaldığı, 10 mm uzaklıktaki paravananın alt yüzeyinden itibaren bir miktar artarak yatay bir şekilde devam ettiği görülmektedir.

Bu kez, paravananın yüzeyindeki potansiyel ve elektrik alan dağılımlarını incelenecek olursa, Şekil 5.17'den paravananın yüzeyindeki potansiyelin orta bölgede en yüksek olduğu ve kenarlara yaklaşıldıkça giderek azaldığı görülmektedir. Paravana yüzeyindeki elektrik alan dağılımının da, Şekil 5.18'den görüldüğü gibi, yine benzer bir şekilde paravananın orta noktasından kenarlarına doğru dalgalı bir şekilde azaldığı anlaşılmaktadır.

6. DENEY SONUÇLARININ YORUMLANMASI

Yapılan deneyler ile, düzgün olmayan alanda elektrotlar arasına yerleştirilen yalıtkan paravanaların havanın delinme gerilimi üzerindeki etkisi, paravanaların boyut, yapı, geometri ve konumları değiştirilerek incelenmiştir. Aşağıda, Bölüm 4’de verilen alternatif ve doğru gerilim deneylerine ait sonuçlar karşılaştırılarak gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

6.1. Alternatif Gerilim Deneylerine İlişkin Yorumlar

Bölüm 4.1’de, paravanaların düzlem elektrodun üzerinde ve havada asılı olduğu durumlarda, Şekil 4.1 – 4.6 şekilleri incelendiğinde, havanın delinme gerilimi değerlerinin artan elektrot açıklığıyla birlikte arttığı görülmektedir. Paravanaların düzlem elektrodun üzerinde olduğu duruma ait grafiklerden, Şekil 4.1 – 4.3’den, 37.5 ve 75 mm çapındaki paravanaların, her üç malzeme için, küçük elektrot açıklıklarında havanın delinme gerilimini arttırdıkları, belirli bir açıklıktan itibaren, önce herhangi bir etki göstermedikleri, daha sonra ise olumsuz yönde etkilemeye başladıkları görülmektedir. Aynı şekillerden, 150 ve 190 mm çapındaki paravanaların bütün elektrot açıklıklarında havanın delinme dayanımını büyük ölçüde arttırdıkları anlaşılmaktadır. Paravanalı ve paravanasız durumlarda delinme gerilimleri arasındaki farklar, en küçük elektrot açıklığında yaklaşık 3 kat iken, elektrot açıklığının artmasıyla birlikte giderek azalarak, en büyük elektrot açıklığında % 10’a kadar inmiştir.

Paravanaların havada asılı olduğu durumda, Şekil 4.4 – 4.6 incelendiğinde, havanın delinme geriliminin elektrot açıklığıyla birlikte artışının daha yavaş olduğu görülmektedir. Her üç malzemeden yapılan paravanalar için, 37.5 ve 75 mm çapındaki paravanaların ancak, alt (düzlem) elektrottan 20 mm uzaklığa yerleştirildiklerinde delinme gerilimini arttırdıkları anlaşılmaktadır. Burada da, 150 ve 195 mm çapındaki paravanalar, yapılan bütün ölçümlerde havanın delinme gerilimini büyük ölçüde yükseltmişlerdir. 10 mm elektrot açıklığında % 30 oranında görülen bu artış, 50 mm elektrot açıklığında % 50’ye kadar varmıştır.

Aynı malzemeden hazırlanan, yüzeyleri kare ve daire şeklinde olan paravanaların havanın delinme dayanımına etkisi Şekil 4.7’de incelenmiştir. Genelde, kare ve daire şeklindeki paravanaların aynı boyutlar için benzer etkiler gösterdiği görülmüştür. Yapılan deneylerde, kare şeklindeki paravanaların köşeli yapılarından dolayı, çok küçük farklarla da olsa, daire şeklindeki paravanalara oranla daha düşük gerilimlerde boşalmaya neden oldukları görülmektedir. Ayrıca şekilden, paravananın şekil etkisinin, boyut etkisi yanında ihmal edilebilecek kadar küçük kaldığı anlaşılmaktadır.

Deneylerde kullanılan numunelerin bütün malzeme ve boyutlardaki delinme gerilimi değerleri Şekil 4.8’den incelendiğinde, eğrilerin, paravanaların boyutlarına göre gruplandığı görülmektedir. Alternatif gerilim ile yapılan deneylerde, havanın delinme gerilimindeki farklar incelenirse, genel olarak, şeffaf olan PVC paravananın en yüksek, beyaz renkli PVC paravananın daha düşük ve kauçuk paravananın en düşük delinme gerilimi değerlerine sahip oldukları Ek-B’de verilen deney sonuçlarından açıkça görülmektedir.

Buraya kadar olan bölümde, deney sonuçları ile ilgili eğrilere ve gözlemlere dayanarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmelere ek olarak, karakteristik olarak görülen bazı durumlara ilişkin fiziksel yorumlar yapılabilir. Örneğin, elektrotların arasına yerleştirilen paravanaların bazı durumlarda beklenmeyen etkiler göstermeleri literatürde anomali boşalmalar olarak adlandırılmakta ve hipotez şeklinde verilmektedir. Hipoteze göre bu boşalmaların nedeni, iyonizasyon ve difüzyon olaylarının delinme gerilimi üzerindeki zıt etkisidir.

Yapılan literatür taramalarında karşılaşılan sonuçların, deney sonuçları ile büyük ölçüde benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Alternatif gerilimde delinme olayı pozitif yarı dalgada olduğundan burada verilen açıklamalar pozitif doğru gerilimdekine benzer olacaktır. Düzgün olmayan elektrot sistemlerinde ortaya çıkan bu durumun gerilimin kutbiyeti ile ilgili olduğu diğer araştırmacılar tarafından saptanmıştır [2].

6.2. Doğru Gerilim Deneylerine İlişkin Yorumlar

Düzgün olmayan alanda, havanın delinme gerilimi üzerinde kutbiyetin etkisini gözlemlemek ve karşılaştırma yapabilmek için alternatif gerilimle yapılan tüm deneyler pozitif ve negatif doğru gerilimler ile tekrarlanmıştır.

Pozitif doğru gerilim deneylerinden ortaya çıkan sonuçlar incelenecek olursa, Şekil 4.9 - 4.11'den, alternatif gerilim deneylerine benzer bir şekilde, düzlem elektrot üzerine yerleştirilen 150 ve 195 mm çapındaki paravanalar her durumda havanın delinme gerilimini yükseltirken, 37.5 ve 75 mm çapındaki paravanalar 50 mm'lik deney aralığının belirli bölgelerinde olumlu yönde etki etmişlerdir. Her üç malzemeden yapılan paravanalar için, 37.5 ve 75 mm çaplı numuneler, elektrot açıklığı 25 mm'ye varana kadar etkili olabilmiş, daha büyük açıklıklarda ise paravanasız duruma göre havanın daha erken delinmesine neden olmuşlardır.

Genel olarak tüm deney sonuçları incelendiğinde (Ek-B), kauçuk paravanalara ait değerlerin diğerlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. 195 mm çapındaki paravana pozitif doğru gerilim ile yapılan deneyler sırasında, 10 mm elektrot açıklığında 110 kV'da delinerek kullanılamaz hale gelmiştir. Şekil 4.9'da bu delinme gerilimi tek bir nokta ile gösterilerek, diğer açıklıklara ve buradan sonraki deneylere ait grafiklerde gösterilememiştir.

Paravanaların havada yalıtkan bir ağ yardımıyla sabitlendiği durumlarda ise, Şekil 4.12 – 4.13 şekilleri incelenirse, deneyler sonucunda ortaya çıkan eğrilerin, aynı doğrultudaki alternatif gerilim deney sonuçları ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Grafiklerden, paravanaların üst elektroda yaklaştırıldıkça delinme gerilimini daha fazla arttırdıkları açıkça görülmektedir. Şeffaf olan PVC ve kauçuk paravanalar havanın delinme gerilimini, düzlem elektrottan 20 mm uzaklığa yerleştirildikleri zaman arttırmaya başladıkları, beyaz renkli PVC'nin ise ancak, düzlem elektrottan 40 mm uzaklaştırıldığında paravanasız durumun üzerine çıkabildiği görülmektedir.

Negatif doğru gerilim deneylerinde, paravanasız durumda oluşturulan eğri, önceki durumlara göre çok daha hızlı bir şekilde artarak, 50 mm elektrot açıklığında 90 kV'a kadar ulaşmıştır (Şekil 4.15-4.17). Dolayısıyla, paravanalı duruma ait eğrilerin daha yatay bir şekilde artış göstermesinin sonucu olarak, büyük elektrot açıklıkları için 37.5 ve 75 mm çapındaki paravanalar bu eğrinin çok altında yer almıştır.

Öyleki, 50 mm elektrot açıklığında bu paravanalar, aynı açıklık için paravanasız duruma ait delinme gerilimi değerlerinin ancak, % 50'sine ulaşabilmiştir. Düzlem elektrodun üzerinde iken, 37.5 mm çapındaki paravanalar 15 mm, 75 mm çapındaki paravanalar ise 20 mm elektrot açıklığına kadar etkili olabilmışlerdir.

Paravanaların havada asılı olduğu durumlar için, Şekil 4.18 – 4.20 şekilleri incelenirse, 37.5 ve 75 mm çapındaki paravanaların negatif doğru gerilimde neredeyse hiçbir olumlu etkide bulunmadıkları açıkça görülmektedir. Şekillerden, 150 ve 195 mm çapındaki paravanalar her konumda havanın delinme gerilimini arttırırken, 37.5 ve 75 mm çapındaki paravanaların en üst seviye olan, çubuk elektroda 10 mm yaklaştırıldıkları durumda bile, paravanasız durumdaki sonuçların elde edilemediği anlaşılmaktadır.

Alternatif ve doğru gerilim deneylerinin sonuçları bir bütün olarak incelenecek olursa, aynı boyut ve malzeme için, doğru gerilim deneylerine ait delinme gerilimlerinin, alternatif gerilim deneylerindekiyle oranla bütün elektrot açıklıkları için daha yüksek olduğu ve her durumda delinme geriliminin artan elektrot açıklığı ile birlikte artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Bunun yanında, negatif doğru gerilimdeki delinme gerilimi değerleri, aynı açıklıklardaki pozitif delinme gerilimi değerleri ile karşılaştırıldığında, negatif durumdaki değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan bu sonuç, kutbiyetin delinme gerilimi üzerindeki etkisi ile ilgili ilkelerle uyum halindedir [1-3].

Havada, eğrilik yarıçapı küçük olan elektrotta gerilim belli bir limit değeri aştığı anda çarpma suretiyle iyonizasyon başlar. Elektronlar yüksek kabiliyetleri nedeniyle iyonlaşmanın olduğu yüksek alan bölgesini hızla terk ederler. Daha yavaş hareket eden iyonlar ise çubuk elektrodun önünde pozitif bir uzay yükü birikmesine ve böylece potansiyel dağılımında bir değişime sebep olurlar.

Düzgün olmayan alanda boşalma olayı kanal teorisi ile açıklandığından, teori ile ilgili ilkeler göz önünde bulundurulursa, çubuk-düzlem elektrot sisteminde çubuk elektrodun pozitif olması durumunda, çubuğun ucunda çarpma yolu ile meydana gelen elektronlar, pozitif elektroda doğru ilerlemeye başlar. Bu pozitif iyon kanalı, pozitif kutbiyetteki elektrodun bir tür uzaması şeklinde etki yapar. Alan şiddetinin yüksek olduğu bölgede difüzyon olayında belirli bir küçülme olur. Bu durum uzay

yük yoğunluğunun ve dolayısıyla alan şiddetinin büyümesine yol açarak, delinmenin daha küçük değerlerde meydana gelmesine neden olur [16].

Çubuk elektrot pozitif olduğunda, elektronlar çubuğa doğru hareket ederler ve geride kalan pozitif iyonlar, bu elektrodun hemen önündeki alan şiddetini azaltırlar. Dolayısıyla, düzlem elektrot yönünde alan şiddeti arttığından,deşarj kanallarının büyümesi desteklenmiş olur.

Çubuk elektrot negatif olduğunda ise, elektronlar düzlem elektroda doğru hareket ederler ve geride kalan iyonlar ise çubuk elektrodun hemen ucunda çok yüksek bir elektrik alan oluştururlar. Aralığın geriye kalan, alan bölgesinde ise potansiyel oldukça yavaş değişir. Bu olay,deşarj kanallarının düzlem elektrot yönünde büyümesini zorlaştırır.

Elektrotlar ve paravana arasında cereyan eden olaylar, birdeşarjın olup olmayacağını tayin ederler. Düzgün alanda ise uzay yükleri meydana gelmediğinden paravananın delinme üzerinde hiçbir etkisi olmayacaktır. Aşırı düzensiz alanlı elektrot düzenlerinde tam bir delinme olayı meydana gelmeden önce ortamda uzay yükleri belirir. Bu yüklerin dağılımı delinme gerilimini oldukça etkiler. Yalıtkan yapılı ince paravanalar, alan dağılımını etkileyen bu uzay yüklerinin yayılmasını önleyici bir engel gibi davranırlar. Elektrotlar arasındaki konumlarına bağlı olarak yalıtkan paravanalar, delinme gerilimini değiştirebilirler ve bazı şartlar altında bu değişim bir hayli fazlaca olabilir [8].

Doğru gerilim ile yapılan deneylerin sonucunda ortaya çıkan durum, Sirotiski'nin çalışmaları ile aynı doğrultudadır. Sirotiski yaptığı deneylerde, bir paravananın pozitif çubuk-düzlem elektrot halinde delinme gerilimini, paravana çubuk elektroda ne kadar yakın yerleştirilirse, o kadar yükselttiğini gözlemlemiştir. Fakat paravana çubuk elektrodun ucuna degecek kadar yaklaştırılırsa, bu takdirde atlama meydana gelir ve delinme gerilimi düşer. Negatif çubuk halinde paravana düzlem elektroda doğru yaklaştırılırsa delinme gerilimi şiddetle azalır. Çünkü paravana tarafından tutulan negatif iyonlar, paravana düzlem elektroda ne kadar yakın konursa, o kadar kısa bir atlama aralığı ile homojen bir alan meydana getirirler. Her ne kadar paravananın negatif çubuk elektroda yaklaşması halinde delinme gerilimi yükselir ise de bunun değeri, paravanasız delinme geriliminden pek büyük değildir [2].

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Düzgün olmayan alanı sembolize eden çubuk-düzlem elektrot sisteminde, doğru ve endüstriyel frekanslı alternatif gerilimde, elektrotların arasına yerleştirilen paravanaların havanın delinme gerilimi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla boşalma deneyleri yapılmıştır. Deneylerde, delinme geriliminin, elektrot açıklığı, paravanaların konumu, yapısı, boyutları ve geometrisi gibi etkenler ile ilişkisi incelenmiştir.

Çubuk-düzlem elektrot sistemi ile yapılan deneylerde, paravanalar düzlem elektrot üzerinde iken elektrot açıklığı 10 – 50 mm arasında, paravanalar havada asılı iken 50 mm sabit açıklıkta paravananın konumu alt elektrottan 10 - 40 mm aralığında değiştirilmiştir. Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Düzgün olmayan alanlarda boşalma olaylarının incelenmesi sırasında görülmüştür ki, boşalma gerilimine etki eden birçok etkenin varlığı nedeniyle, kuramsal olarak, delinme gerilimi değerlerini hesap edebilmek veya öngörmek çok zordur.
2. Alternatif ve doğru gerilim deneylerinde havanın delinme geriliminin, paravanalı ve paravanasız durumlarda, elektrot açıklığının arttırılmasıyla birlikte düzgün bir şekilde arttığı görülmüştür.
3. Düzgün olmayan alanlı elektrot düzenlerinde tam bir delinme olayı meydana gelmeden önce ortamda uzay yükleri belirdiği ve bu yüklerin dağılımının delinme gerilimini oldukça etkilediği anlaşılmıştır. Yalıtkan yapılı ince paravanaların, alan dağılımını etkileyen bu uzay yüklerinin yayılmasını önleyici bir engel gibi davrandıkları, elektrotlar arasındaki konumlarına bağlı olarak, delinme gerilimini değiştirebildikleri ve bazı şartlar altında bu değişimin bir hayli fazlaca olabildiği anlaşılmıştır.

4. Paravanaların düzlem elektrot üzerine yerleştirildiği durumda, alternatif ve doğru gerilim deneylerinden, düzlem elektrot ile aynı veya daha küçük yüzey alanına sahip yalıtkan paravanaların, yalnızca çok küçük elektrot açıklıklarında bir ekran görevi görebildiği anlaşılmıştır.
5. Paravanaların havada asılı olduğu durumlarda, alternatif ve doğru gerilim ile yapılan deneylerden, 37.5 ve 75 mm çapındaki paravanaların ancak, çubuk elektroda çok yaklaştırıldıklarında havanın delinme gerilim üzerinde olumlu etkiler göstermeye başladıkları görülmüştür.
6. Kullanılan elektrot sistemi için, 150 ve 195 mm çapındaki silindirik paravanaların, tüm deneylerde havanın delinme gerilimini paravanasız duruma göre büyük ölçüde yükselttiği ve tam bir ekran görevi gördüğü anlaşılmıştır.
7. Deneylerde kullanılan kauçuk, beyaz renkli ve saydam olan PVC paravanaların aynı şartlar altında benzer özellikler gösterdiği, ortaya çıkan deney sonuçlarından açıkça görülmektedir.
8. Paravananın şekil etkisini incelemek için yapılan deneylerden, yüzeyi kare şeklindeki paravanaların, silindirik şeklindeki paravanalar ile benzer sonuçlar gösterdiği, köşeli yapısından dolayı havanın delinme gerilimini bir miktar daha az arttırdığı anlaşılmıştır.
9. Kutbiyetin etkisi olarak, negatif doğru gerilim sonuçları, aynı şartlar altındaki pozitif doğru gerilim deneylerine ait boşalma değerlerinin daha üzerinde çıkmıştır.
10. Yüksek gerilim tesis ve cihazlarında sıkça kullanılan emprenye edilmiş yağlı transformatör kağıdı ve prespan gibi izolasyon malzemelerinin paravana olarak kullanıldıklarında havanın delinme gerilimine hiçbir etkide bulunmadıkları görülmüştür.

Yukarıda özetle sonuçları verilen bu çalışma, bu alandaki uluslararası deneysel araştırmaların bir devamı şeklindedir. Bu çalışmalara ek olarak, ortam sıcaklığının ve basıncının parametre olarak alınması, alanın düzgünlük derecesi değiştirilerek etkisinin incelenmesi ve malzeme türünün etkilerinin araştırılması ile çalışmalara devam edilebilir.

Ayrıca, deneylerde oluşabilecek ölçüm hatalarını en aza indirebilmek için, deneylerde elektrotlara uygulanan gerilim seviyesini düzgün bir şekilde arttırabilmek için sabit döndürme hızına sahip bir motor kullanılmasında ve 37.5 ile 150 mm çapındaki silindir paravanaların düzlem elektrot ile aynı ekseninde olduğunun kesin olarak belirlenmesinde fayda vardır. Uzun süreli kullanımlarda, meydana gelen boşalmalar ile çubuk elektrodun aşınması ve kararmasına karşın uç kısmı sık sık kontrol edilmeli, temizlenip parlatılmalı, gerekirse değiştirilmelidir

KAYNAKLAR

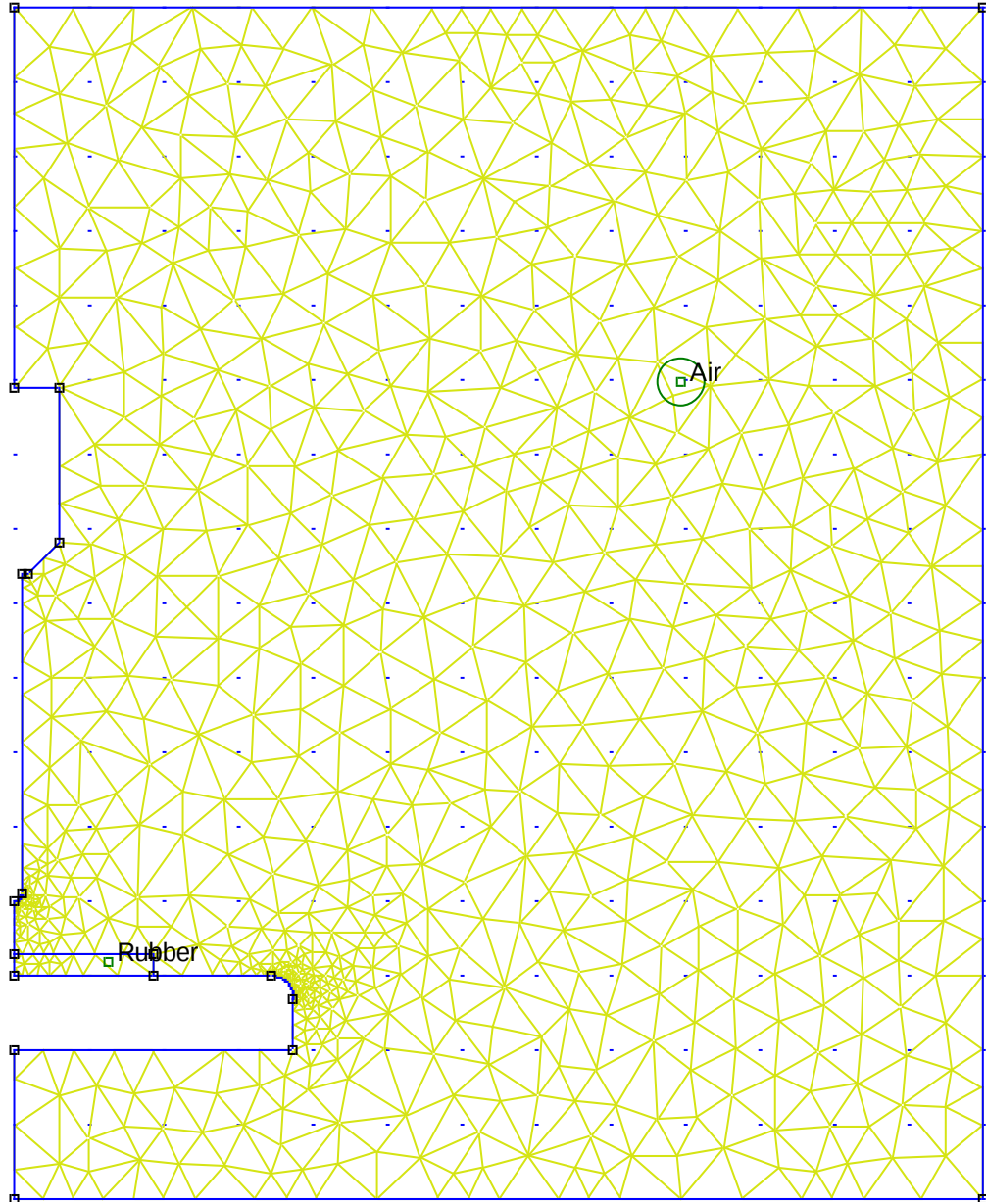
- [1] **Özkaya, M.**, 1979. Yüksek Gerilim Tekniğinde Deşarj Olayları, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- [2] **Sirotiski, L. I.**, (çev. Özkaya, M.), 1964. Yüksek Gerilim Tekniğinde Gazlarda Deşarj Olayları, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- [3] **Kuffel, E.**, (çev. Özkaya, M.), 1986. Yüksek Gerilim Tekniği, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- [4] **Akpınar, S.**, 1997. Yüksek Gerilim Tekniğinin Temelleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon.
- [5] **Özkaya, M.**, 1996. Yüksek Gerilim Tekniği, Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [6] **Özkaya, M.**, 1996. Yüksek Gerilim Tekniği, Cilt 2, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [7] **Özkaya, M.**, 1984. Yüksek Gerilim Tekniğinde Ölçme, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- [8] **Kind, D.**, (çev. Rumeli, A.), 1992. Yüksek Gerilim Deney Tekniğine Giriş, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul.
- [9] **Gönenç, İ.**, 1977. Yüksek Gerilim Tekniği, Matbaa Teknisyenleri Kollektif Şirketi, İstanbul.
- [10] **Kalenderli, Ö. and Özdemir, A.**, 1984. Yüksek Gerilim Laboratuvarı Deneyleri, Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [11] **Fofana, I., Beroul, A. and Boubakeur, A.**, 1999. Influence of insulating barriers on positive long air gaps, *The 11th High Voltage Engineering Symposium*, London, 22-27 August, Vol. 3, s. 321.
- [12] **Sebo, S., Kahler, J., Hutchins, S., Meyers, C., Oswiecinski, Eusebio, A. and Que, W.**, 1999. The effect of insulating sheets (barriers) in various gaps-the study of AC breakdown voltages and barrier factors, *The 11th High Voltage Engineering Symposium*, London, 22-27 August, Vol. 3, s. 144.

- [13] **Nemamcha, M.**, 1999. Effect of a dielectric plate on the discharge in a needle to plane system submitted to AC voltage, *The 11th High Voltage Engineering Symposium*, London, 22-27 August, Vol. 3, s. 175.
- [14] **Mardikyan, K.**, 1981. Düzgün olmayan alanda SF6'nın delinme dayanımı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Müh-Mim. Fakültesi, İstanbul.
- [15] **Kalenderli, Ö.**, 1991. Referans kısmi boşalma kaynağının yüksek doğru gerilim koşullarında incelenmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Önal, E.**, 1997. Az oranda SF6 gazı katılmış hava, N2 ve CO2'nin boşalma karakteristikleri, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] **Farsadi, M.**, 1989. Düzgün olmayan alanda SF6, N2 ve SF6+N2 gazlarında boşalma gerilimlerine elektrod yüzey pürüzlülüğünün etkileri, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] **Tüfekçi, T.**, 1980. Düzgün olmayan alanda antistatik katkı maddesinin polietilenin darbe ve önzorlamalı darbe delinme dayanımı üzerindeki etkileri, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] **Bayrak, M.**, 1993. Yüksek gerilim laboratuvarlarının tasarımı ve deney devrelerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] **Yarıcı, S.**, 1992. Elektrostatik alanların sonlu farklar yöntemi ile incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **TS-EN-ISO/IEC-17025**, 2000. Deney laboratuvarlarının çalıştırılması için genel kriterler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [22] **TS 348**, 1966. Deney ve ölçüler için standart ortam şartları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

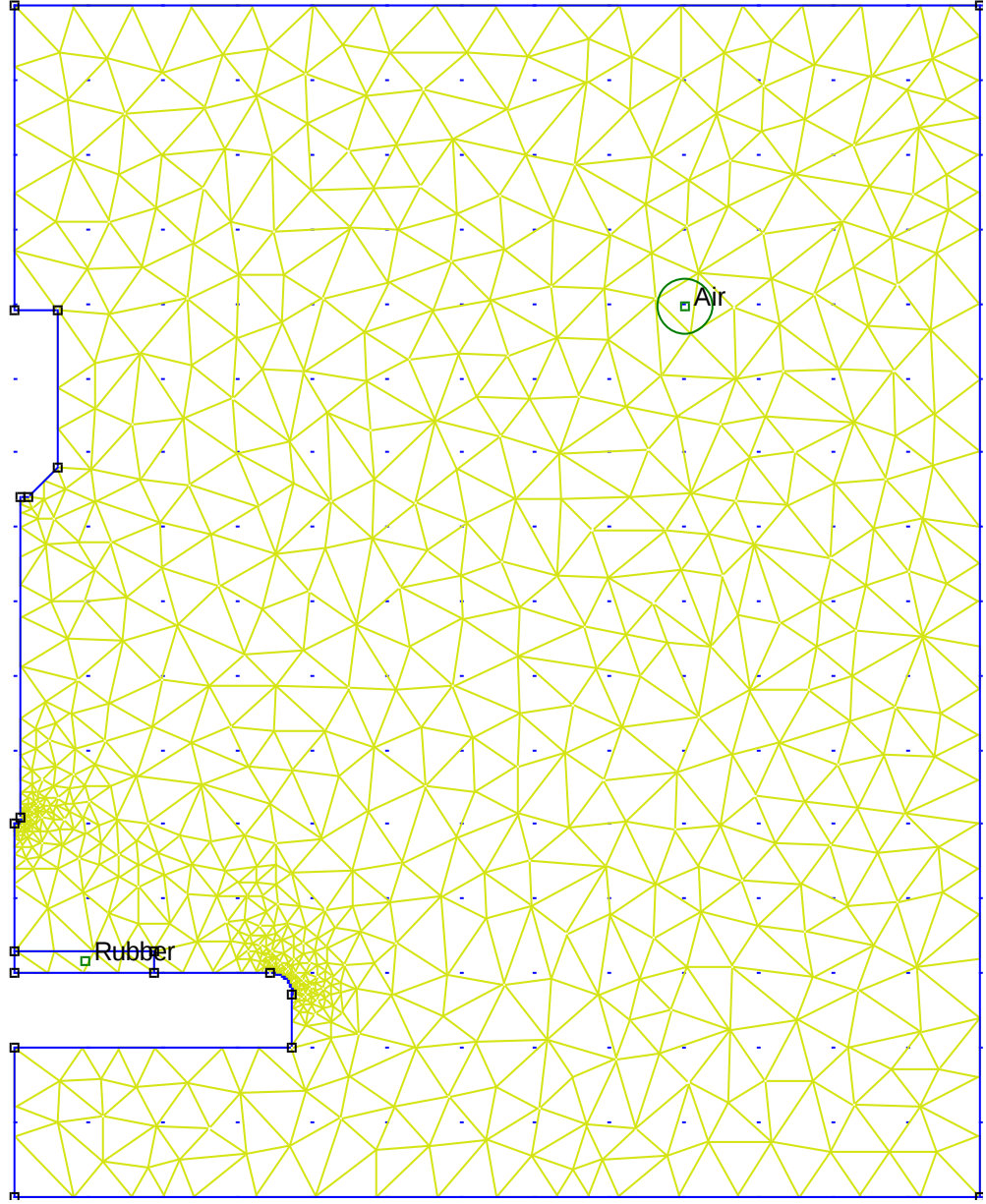
EK-A

YAPILAN DENEYLERİN FEMM PROGRAMIYLA SİMÜLASYONU

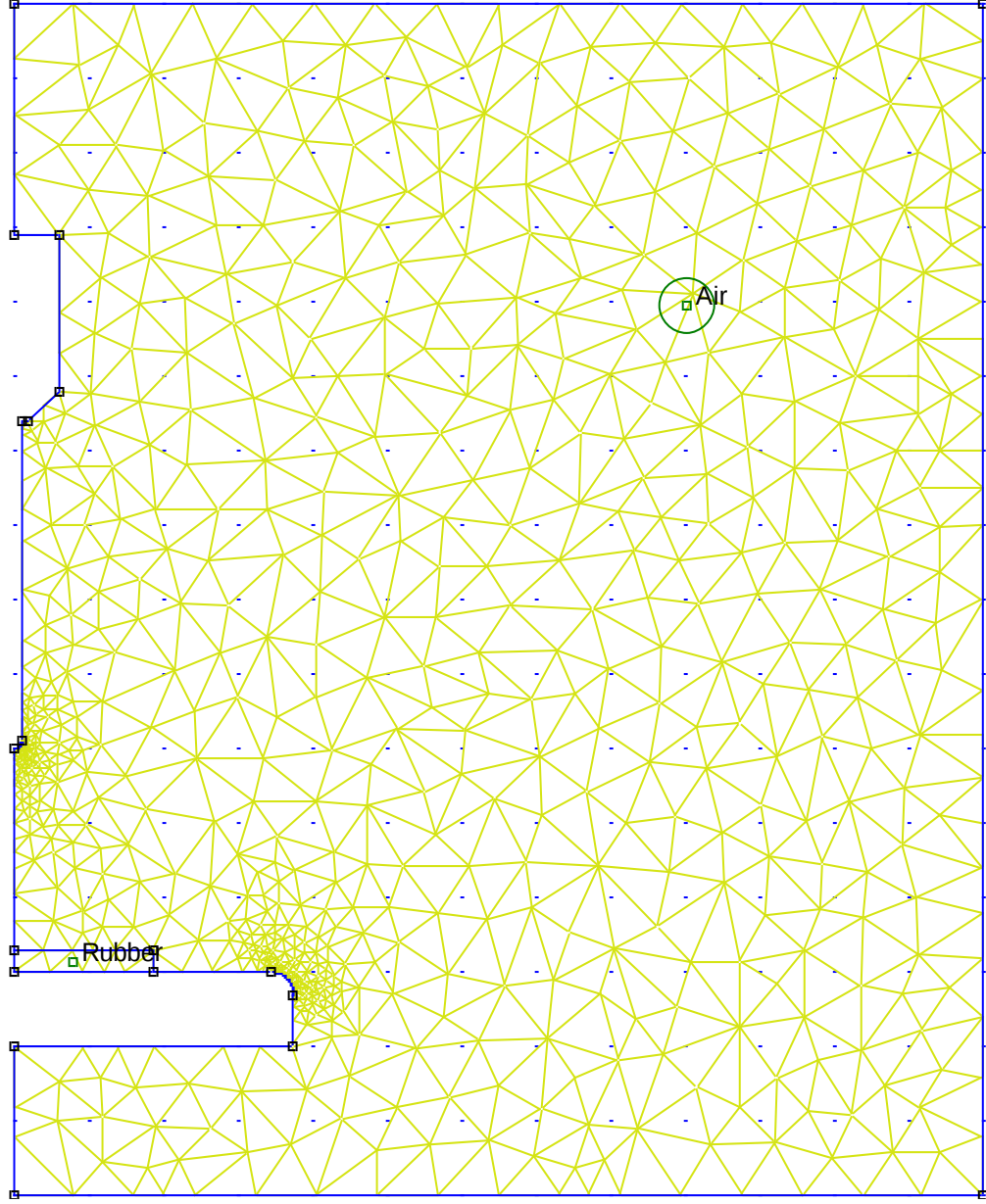
A.1. Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerinde Bulunduğu Durum



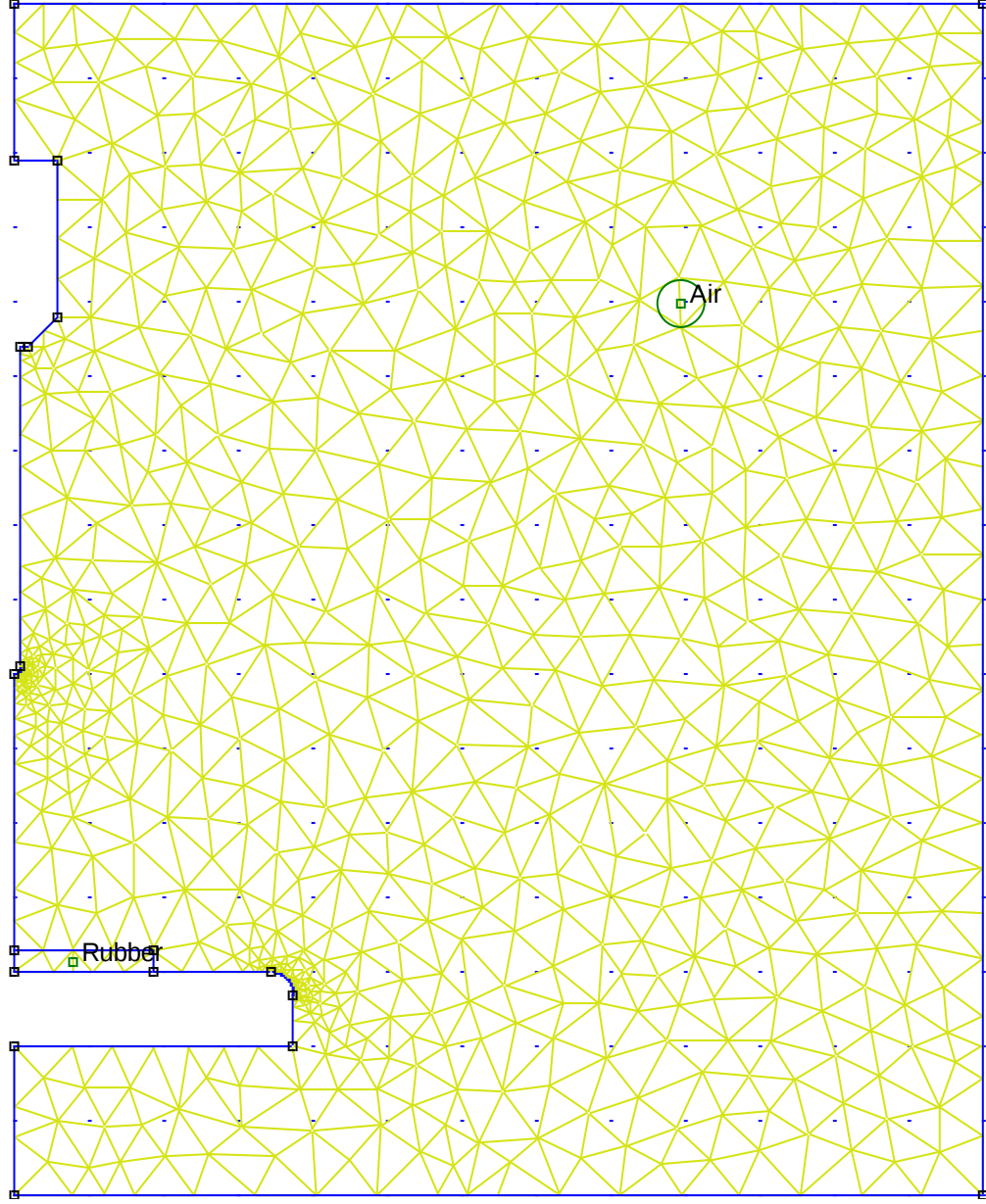
Şekil A.1. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 10 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 37.5 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



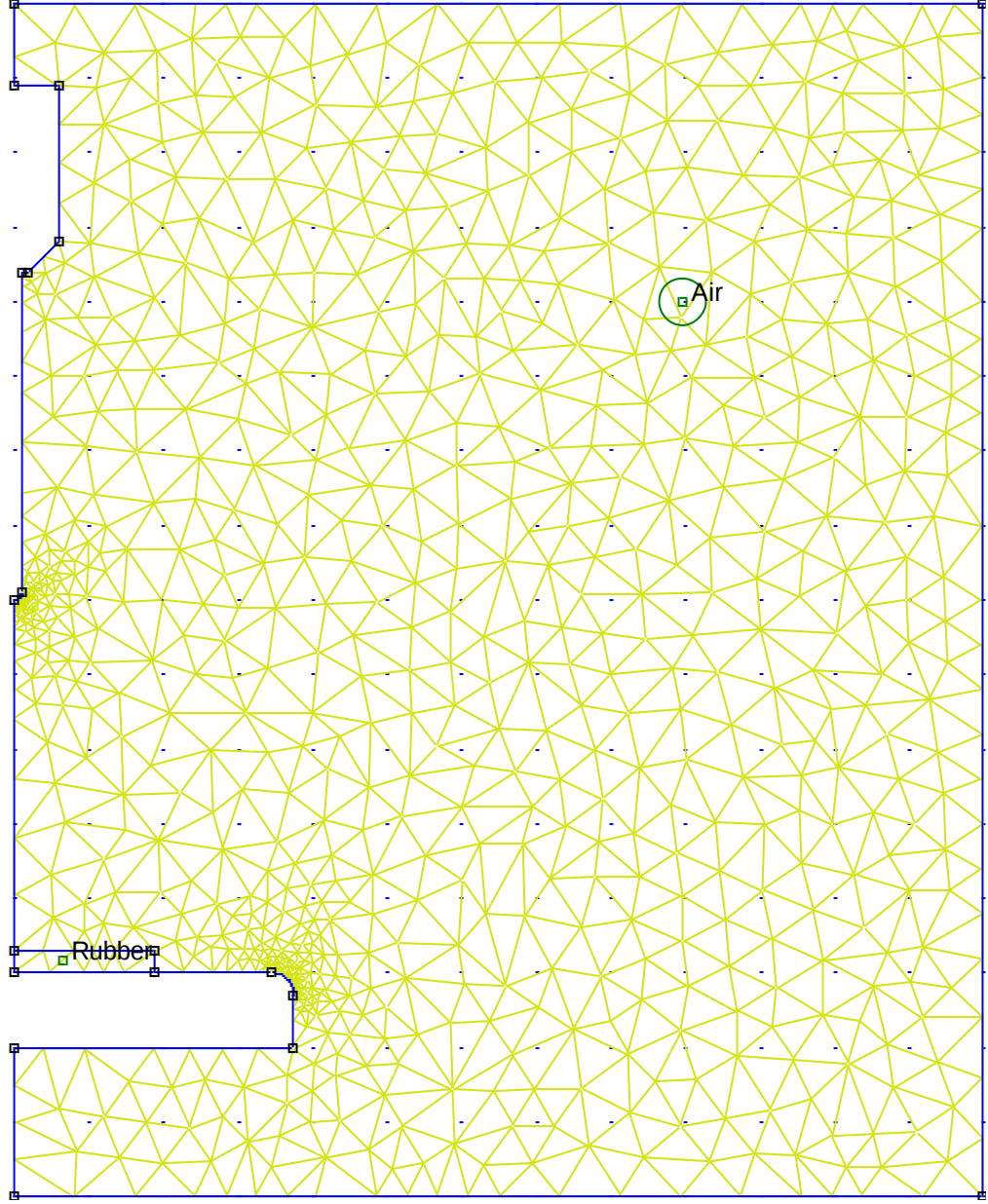
Şekil A.2. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 20 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 37.5 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



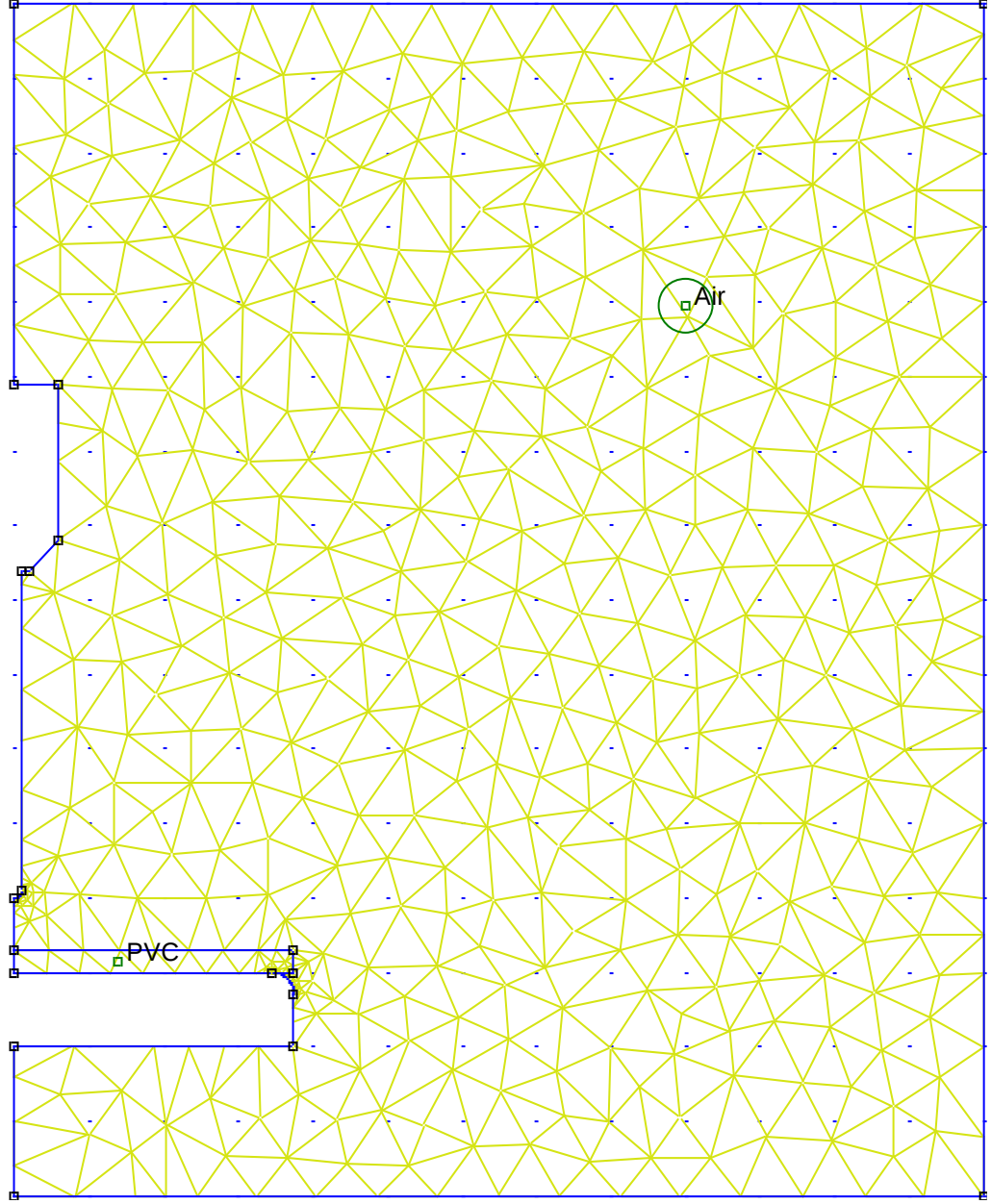
Şekil A.3. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 30 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 37.5 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



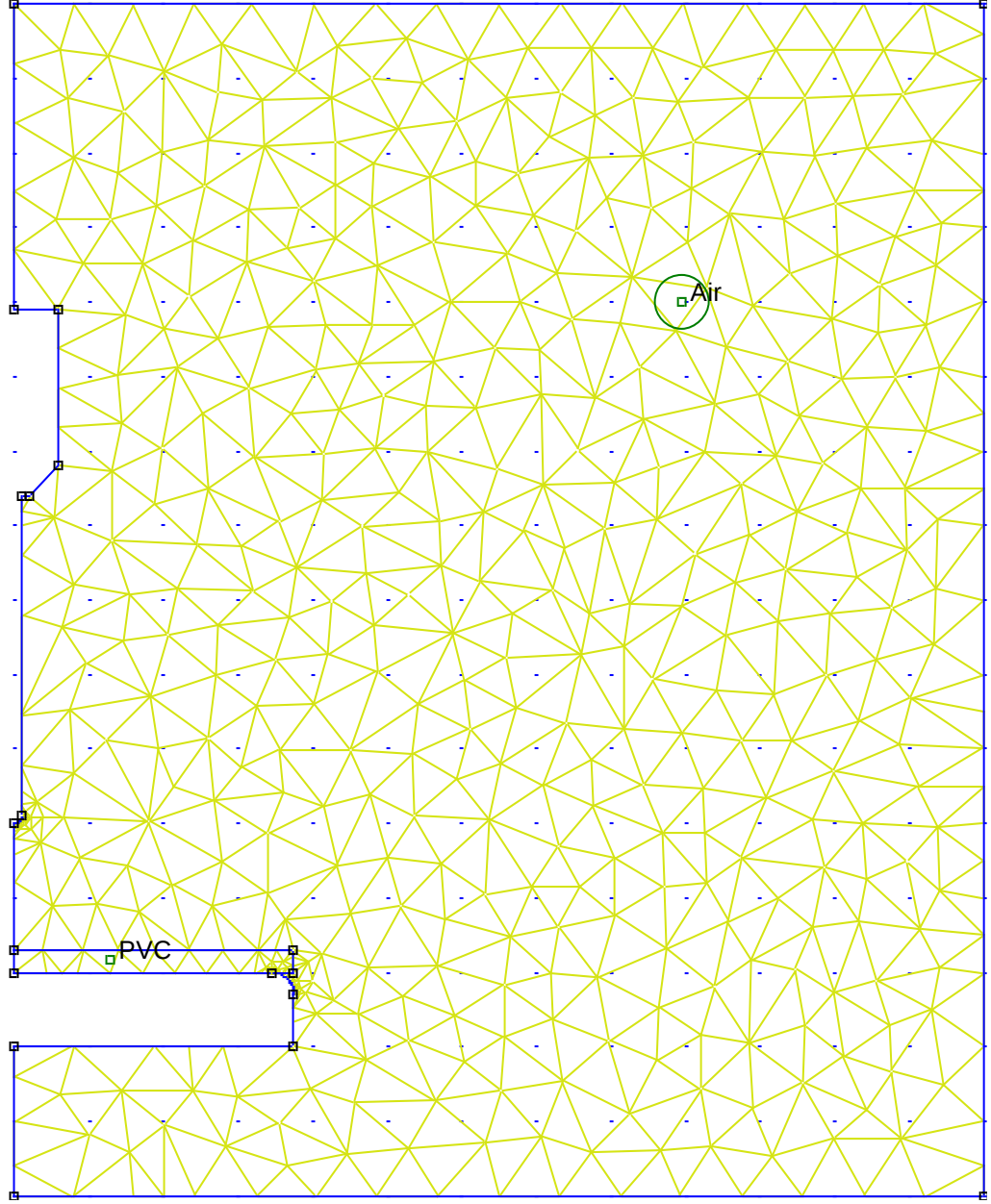
Şekil A.4. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 40 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 37.5 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



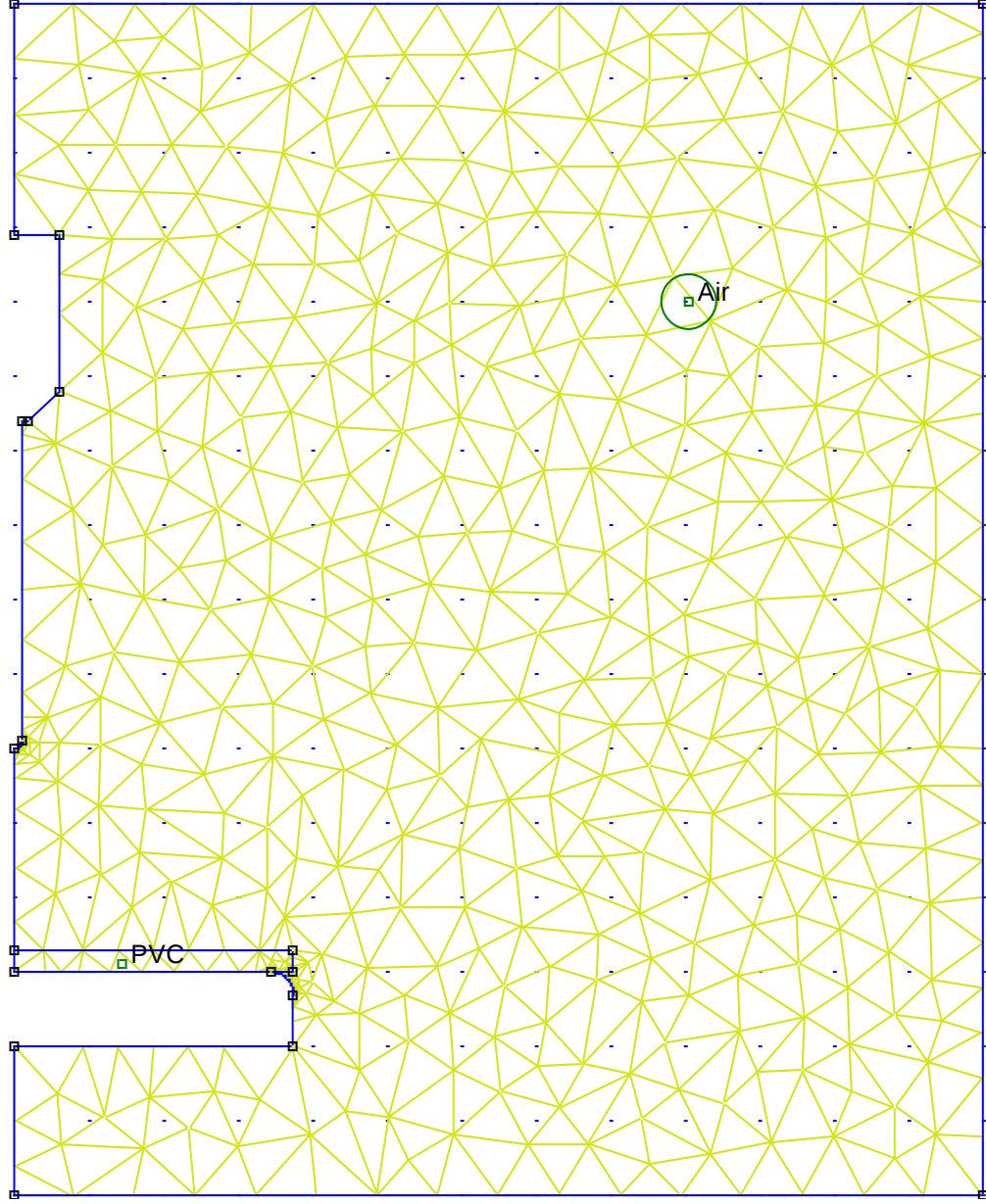
Şekil A.5. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 50 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 37.5 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



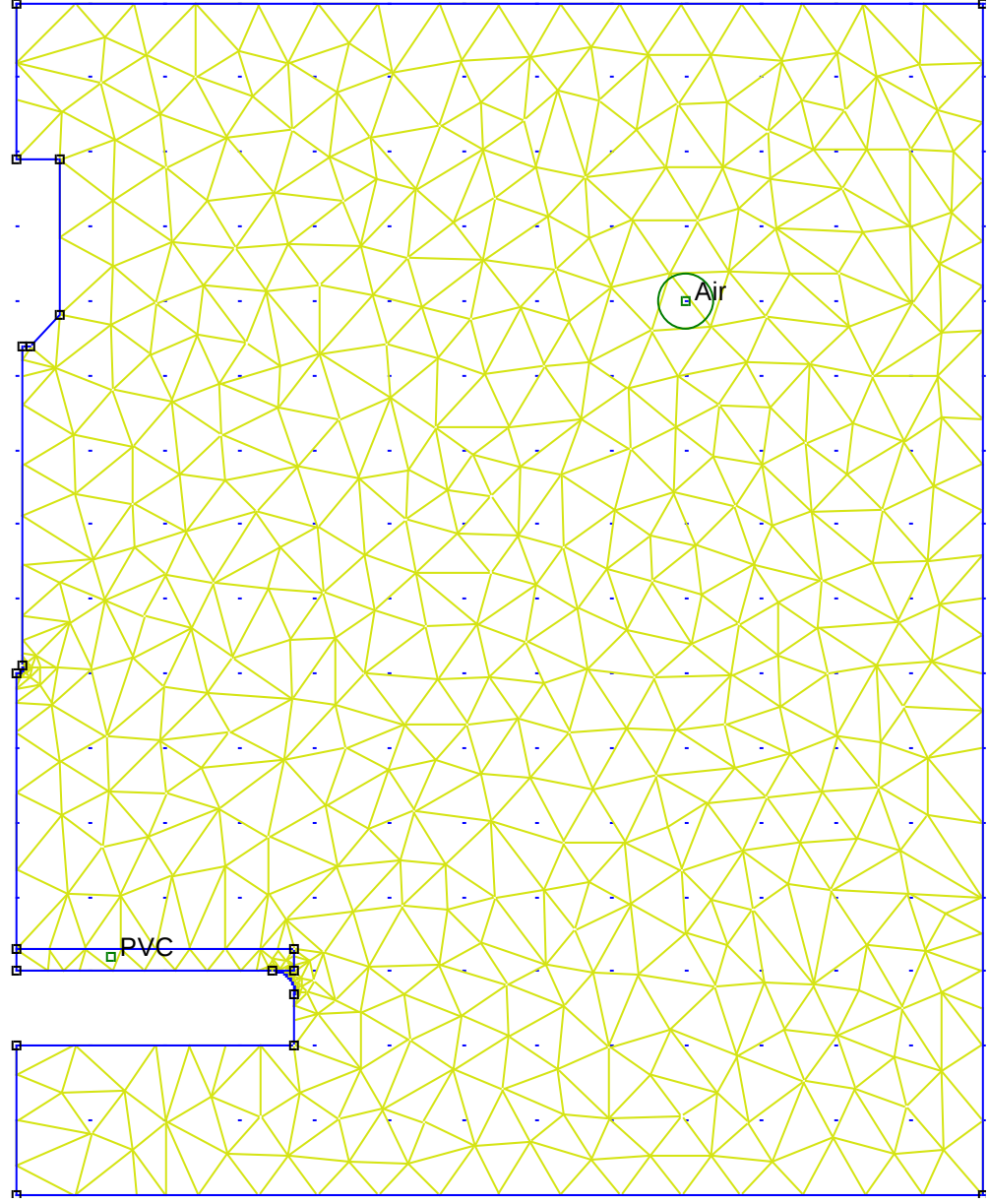
Şekil A.6. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 10 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 75 mm Çapındaki PVC Paravana



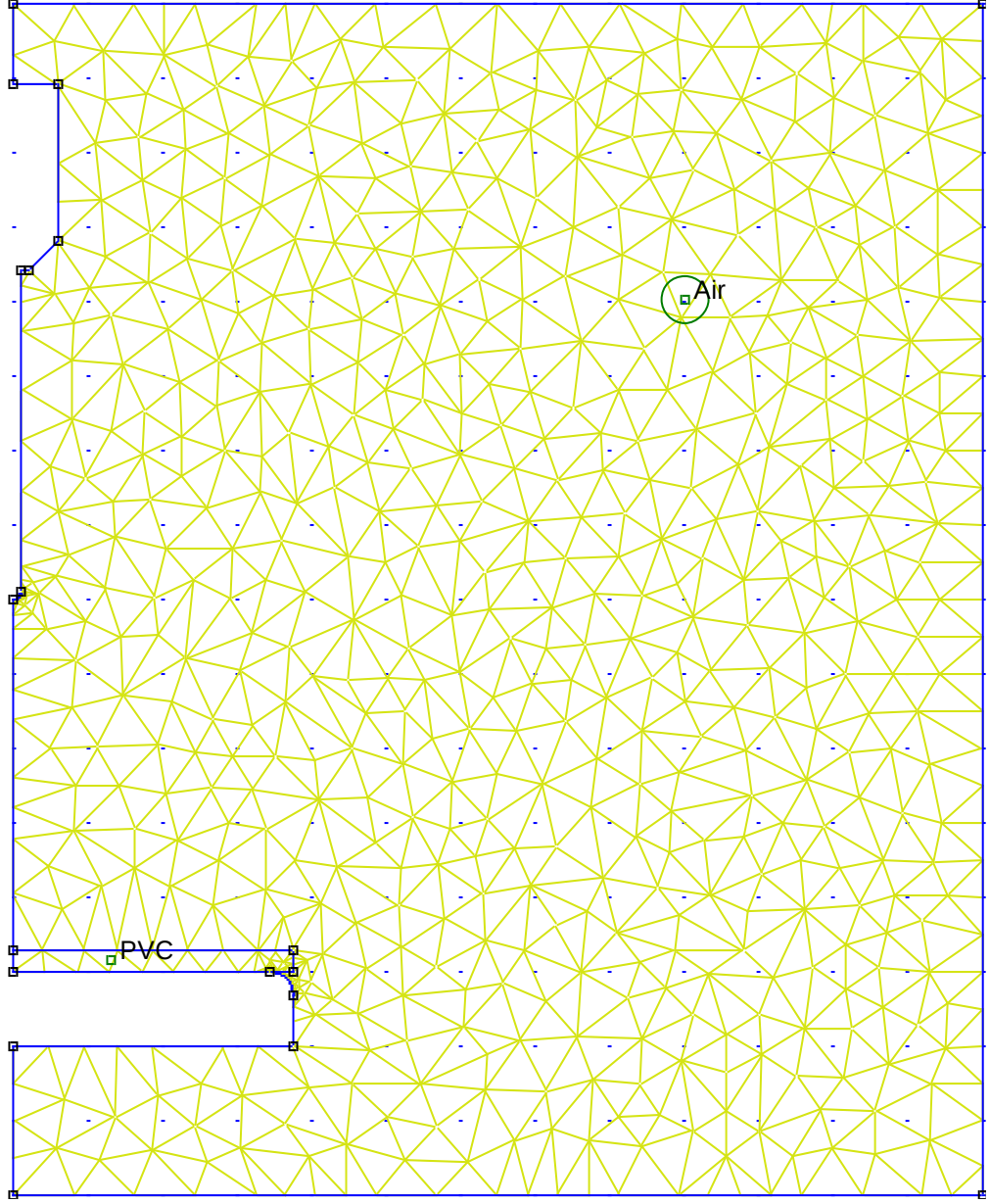
Şekil A.7. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 20 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot
Üzerine Yerleştirilen 75 mm Çapındaki PVC Paravana



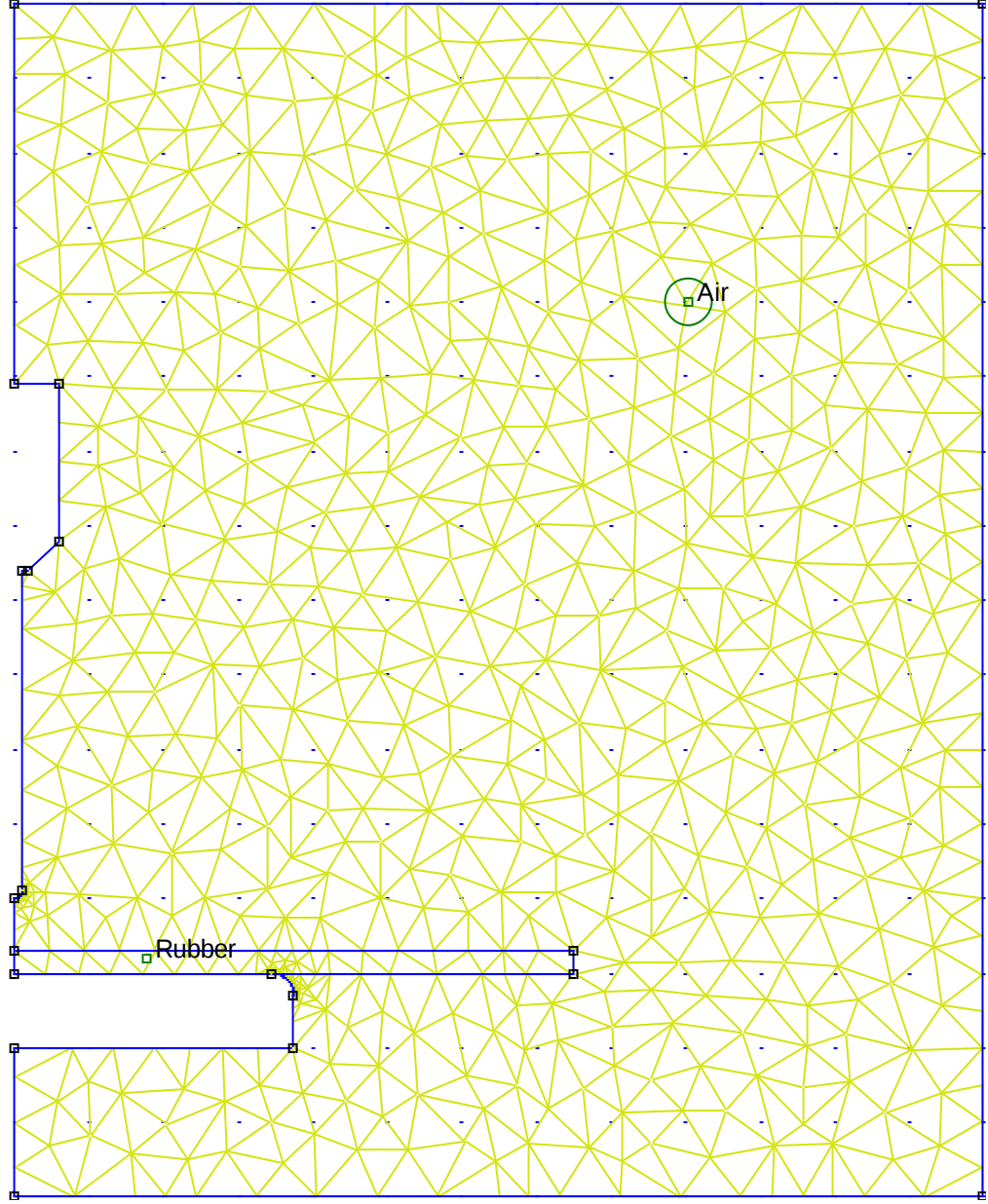
Şekil A.8. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 30 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot
Üzerine Yerleştirilen 75 mm Çapındaki PVC Paravana



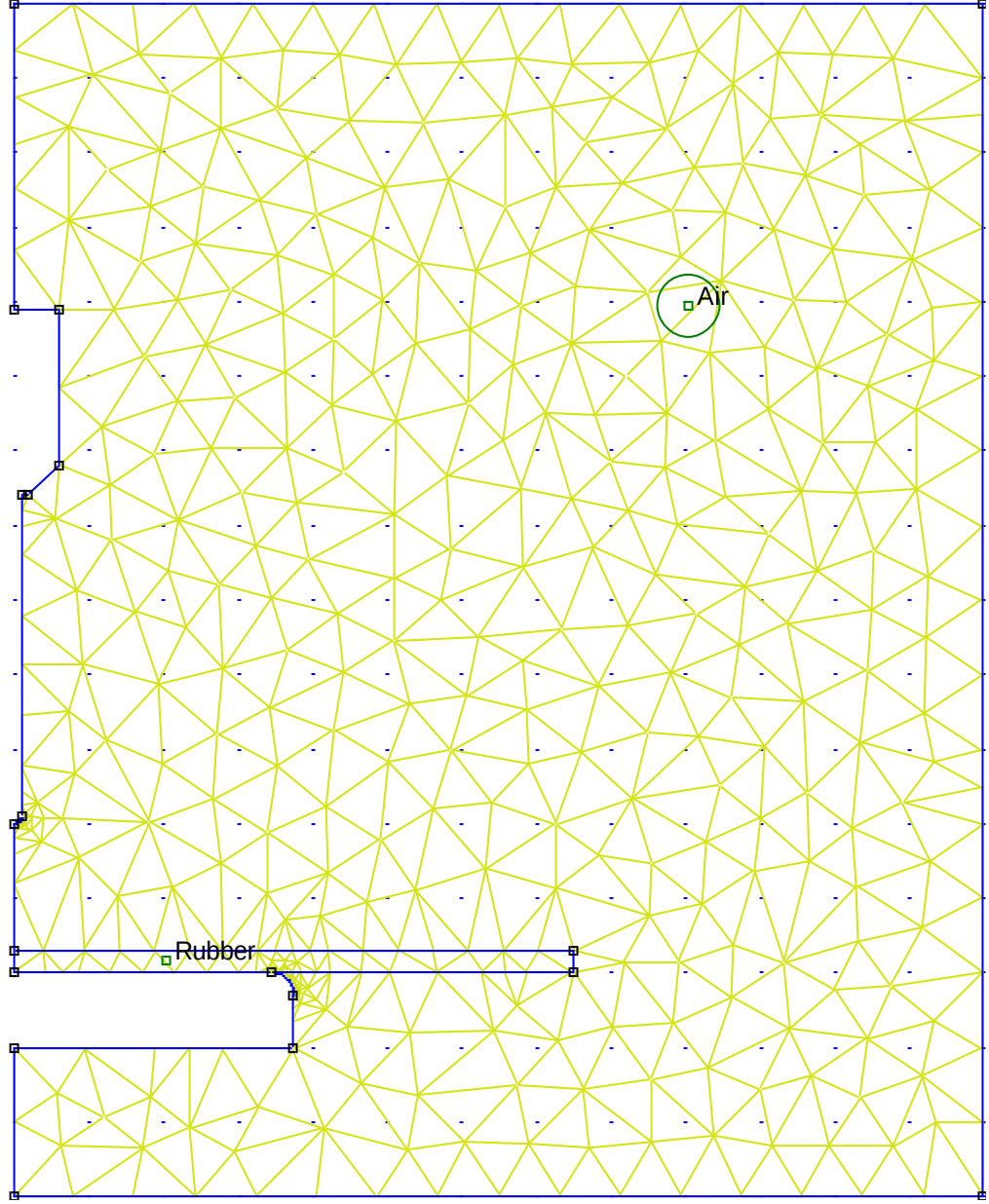
Şekil A.9. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 40 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 75 mm Çapındaki PVC Paravana



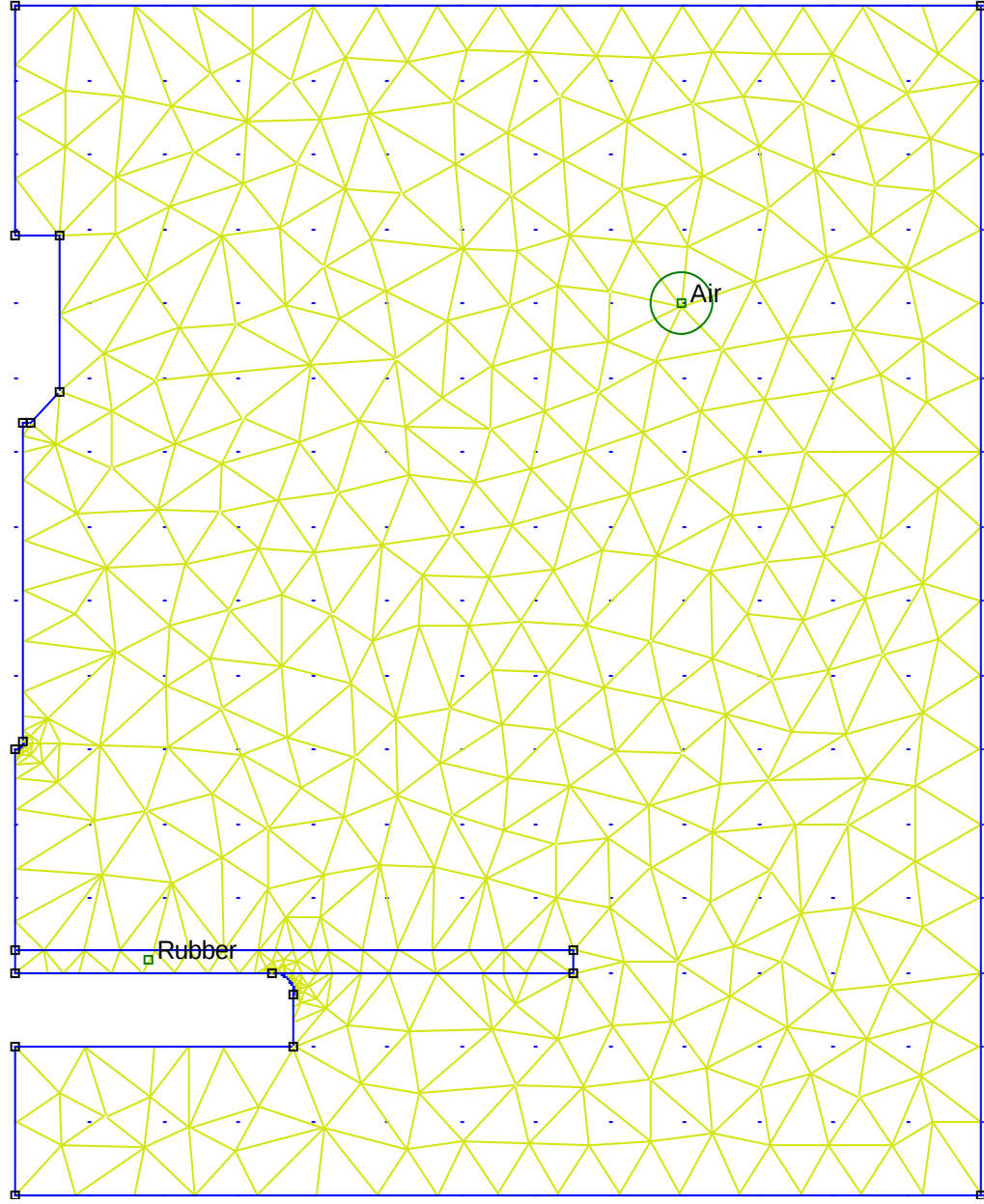
Şekil A.10. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 50 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 75 mm Çapındaki PVC Paravana



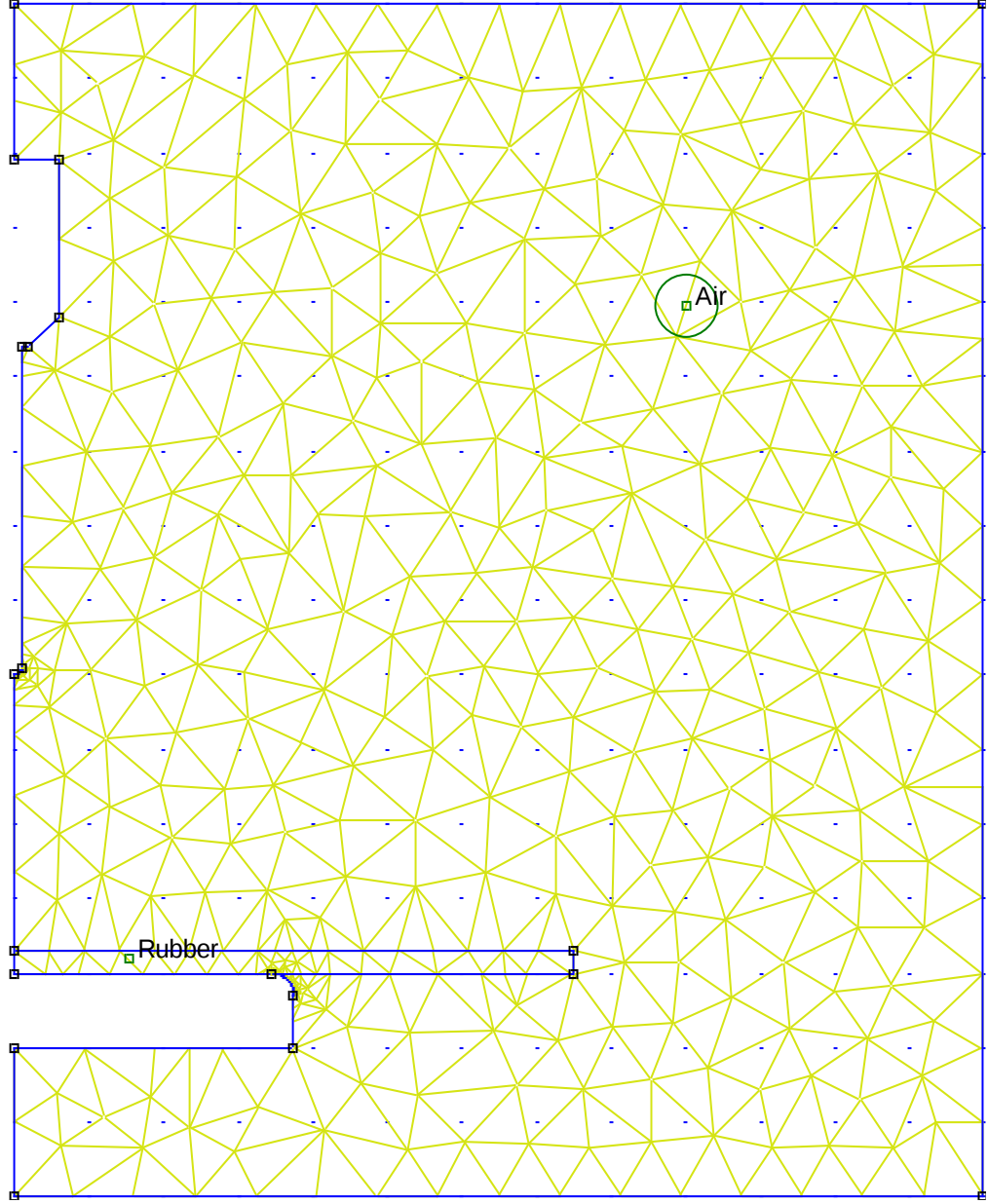
Şekil A.11. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 10 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 150 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



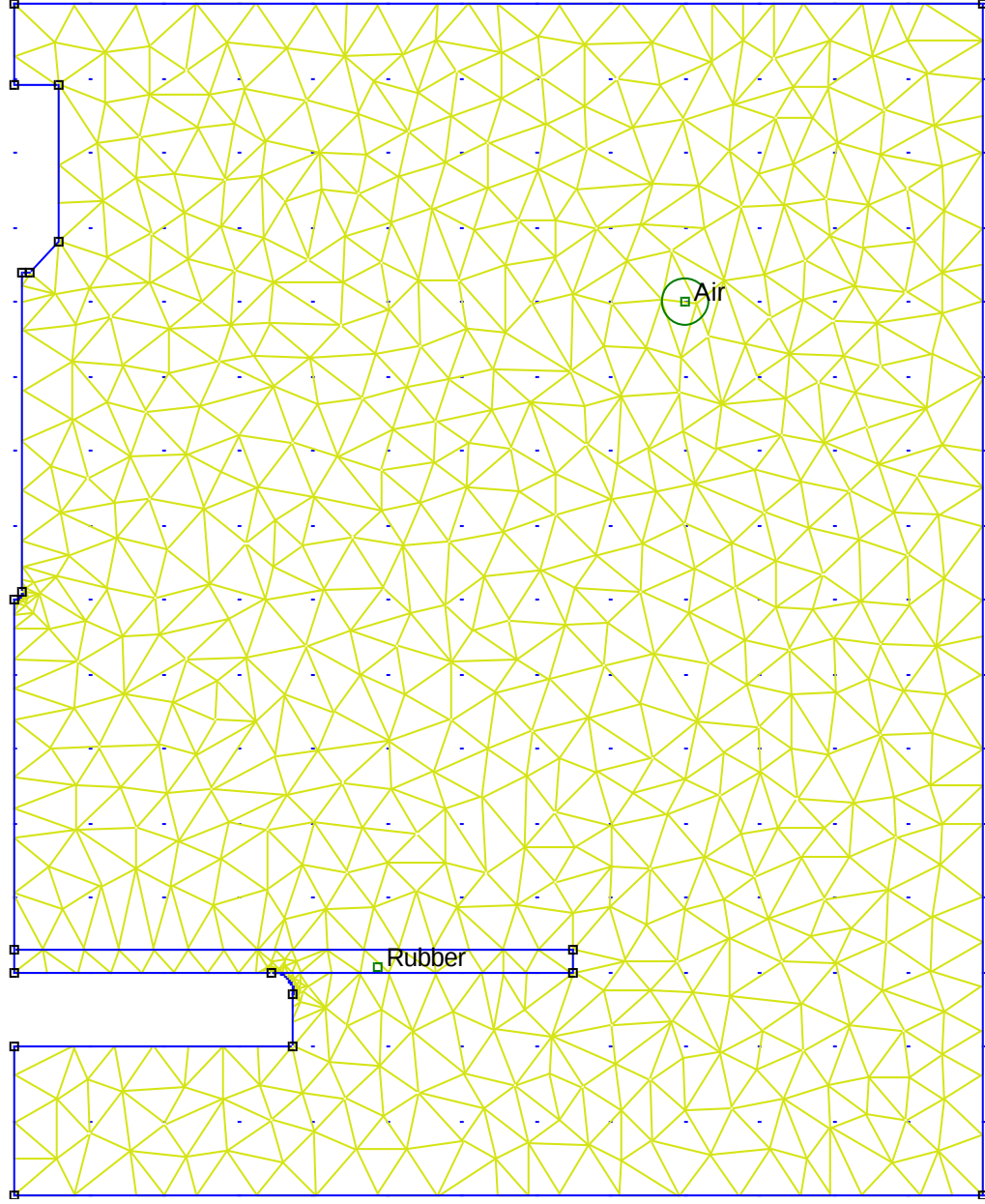
Şekil A.12. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 20 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 150 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



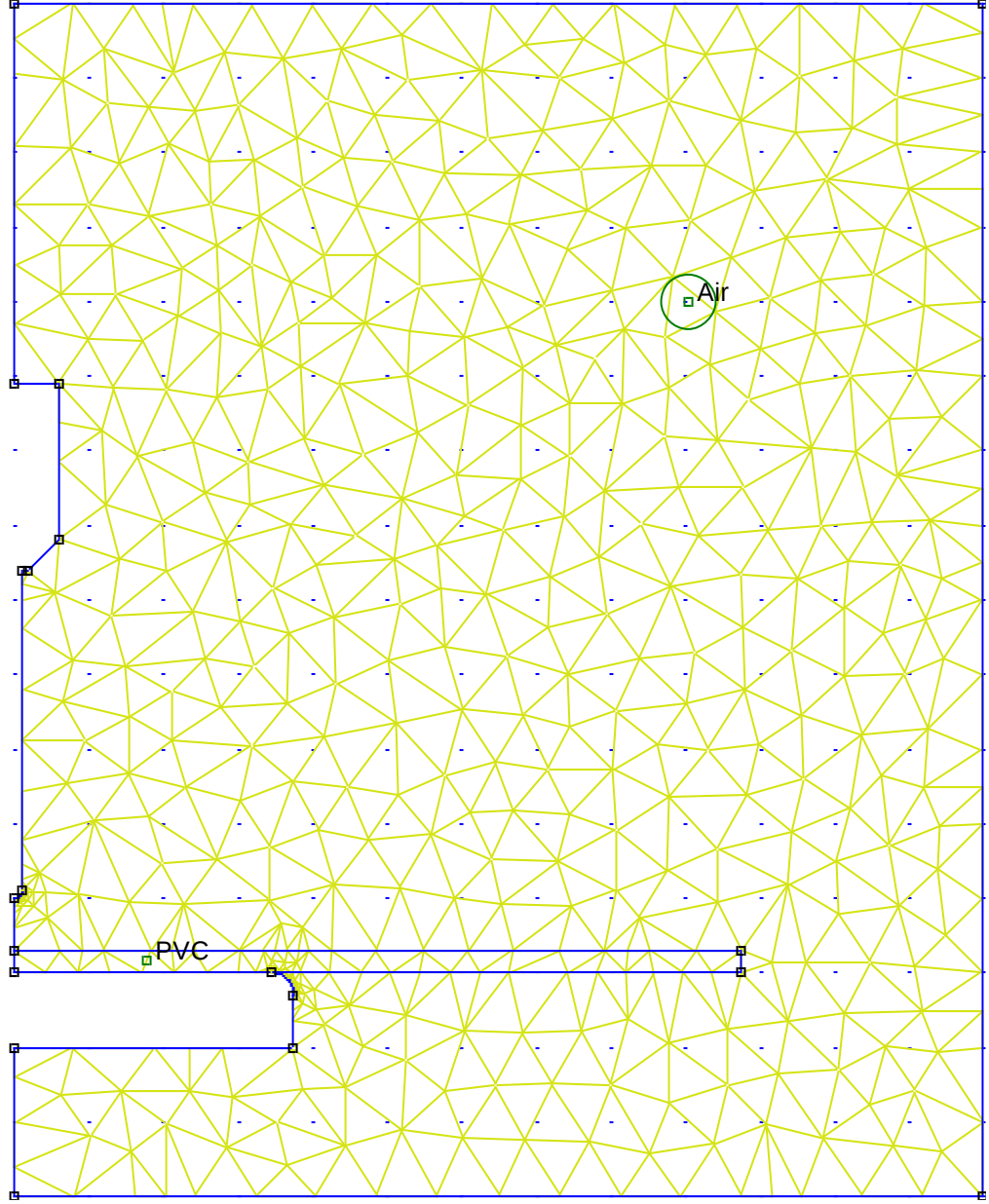
Şekil A.13. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 30 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot
Üzerine Yerleştirilen 150 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



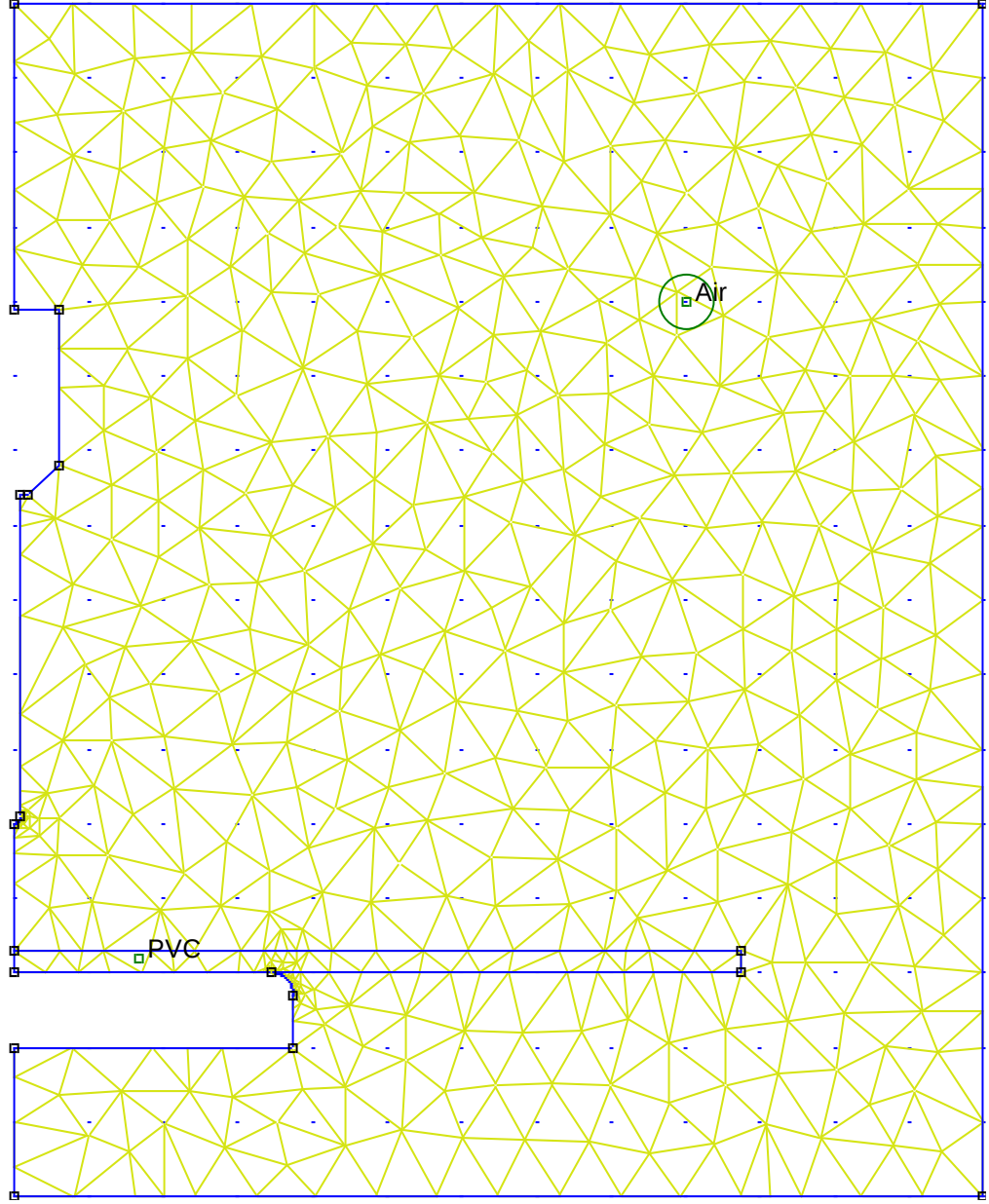
Şekil A.14. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 40 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 150 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



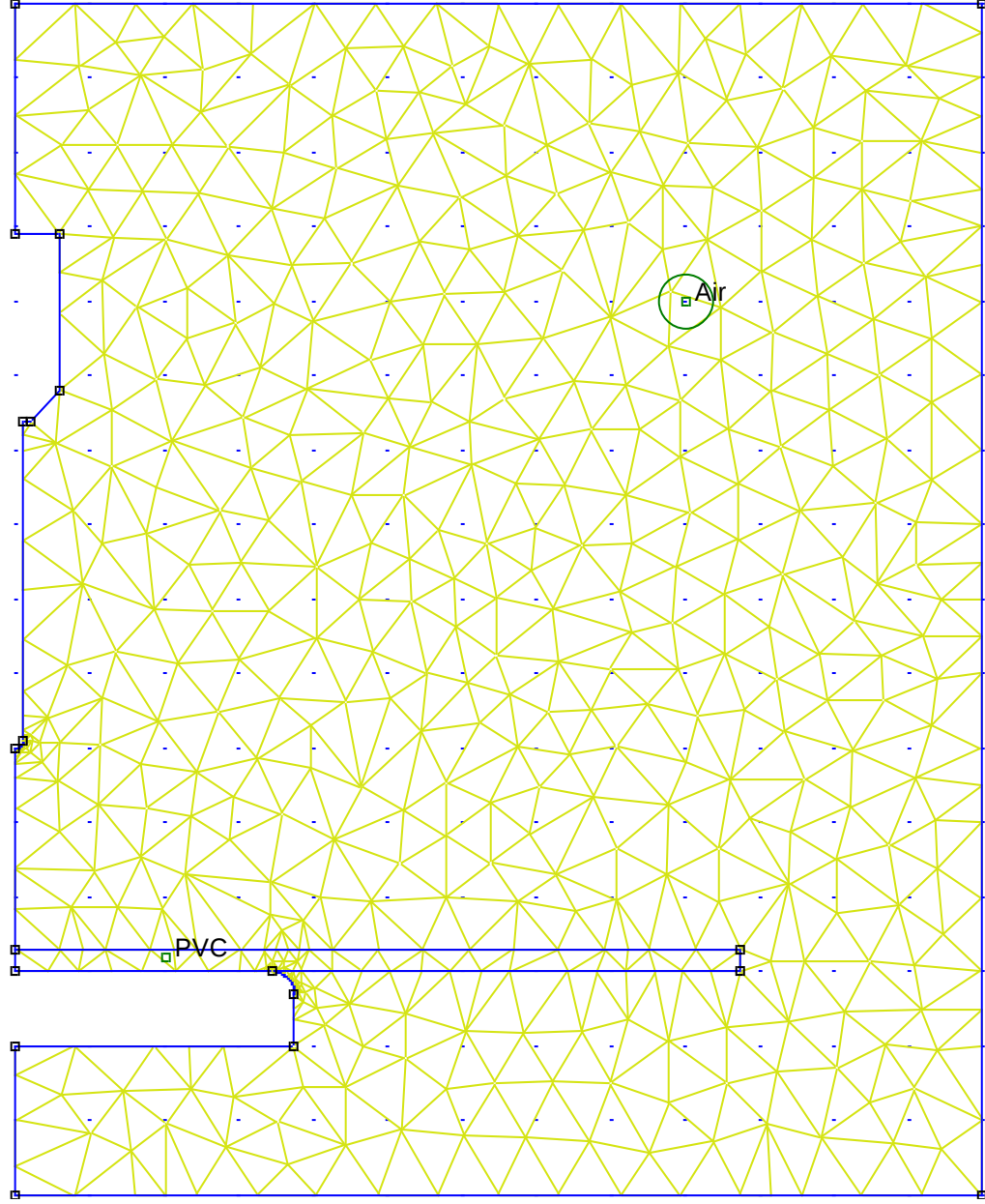
Şekil A.15. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 50 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 150 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



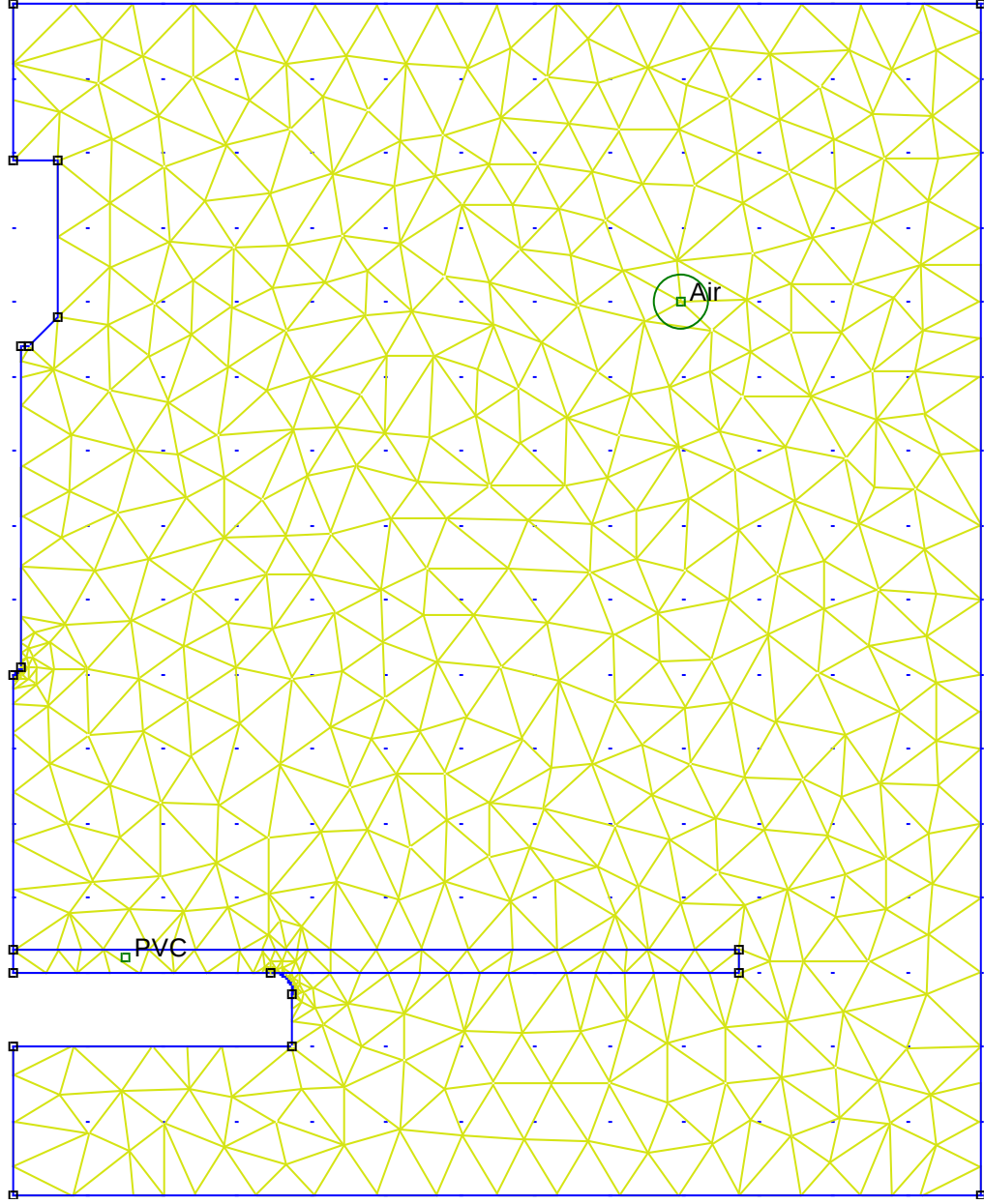
Şekil A.16. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 10 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 195 mm Çapındaki PVC Paravana



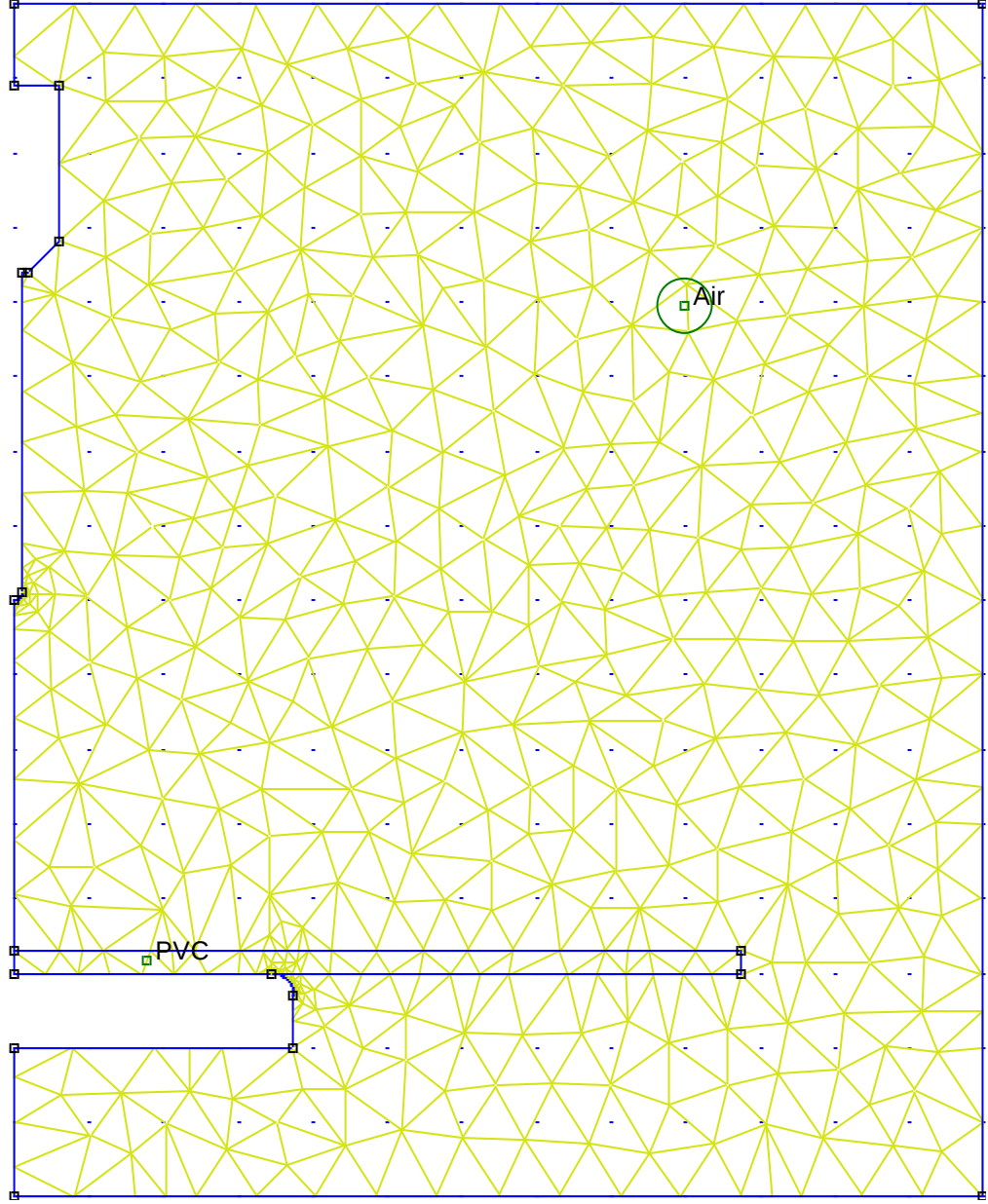
Şekil A.17. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 20 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 195 mm Çapındaki PVC Paravana



Şekil A.18. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 30 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot Üzerine Yerleştirilen 195 mm Çapındaki PVC Paravana

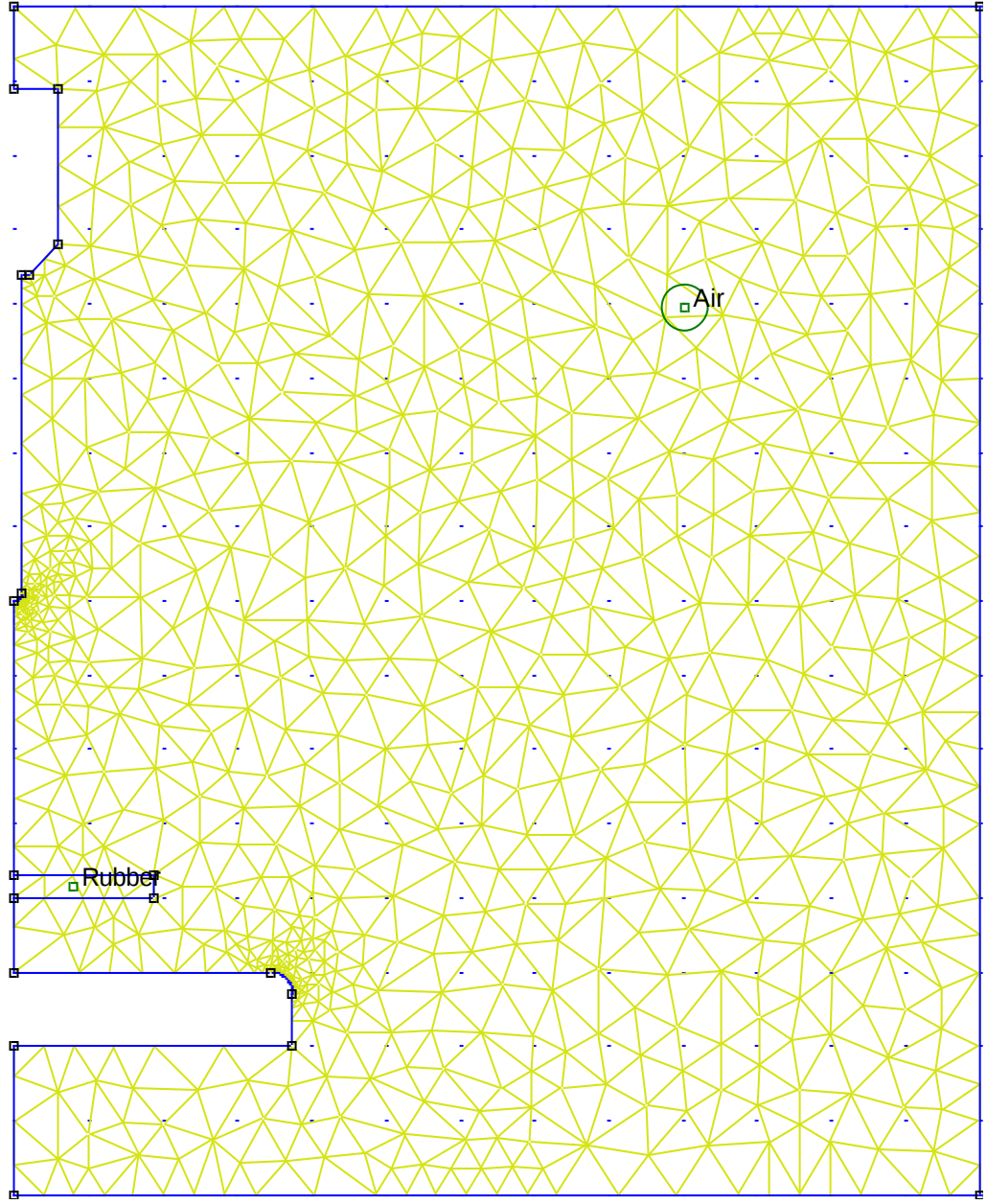


Şekil A.19. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 40 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot
Üzerine Yerleştirilen 195 mm Çapındaki PVC Paravana

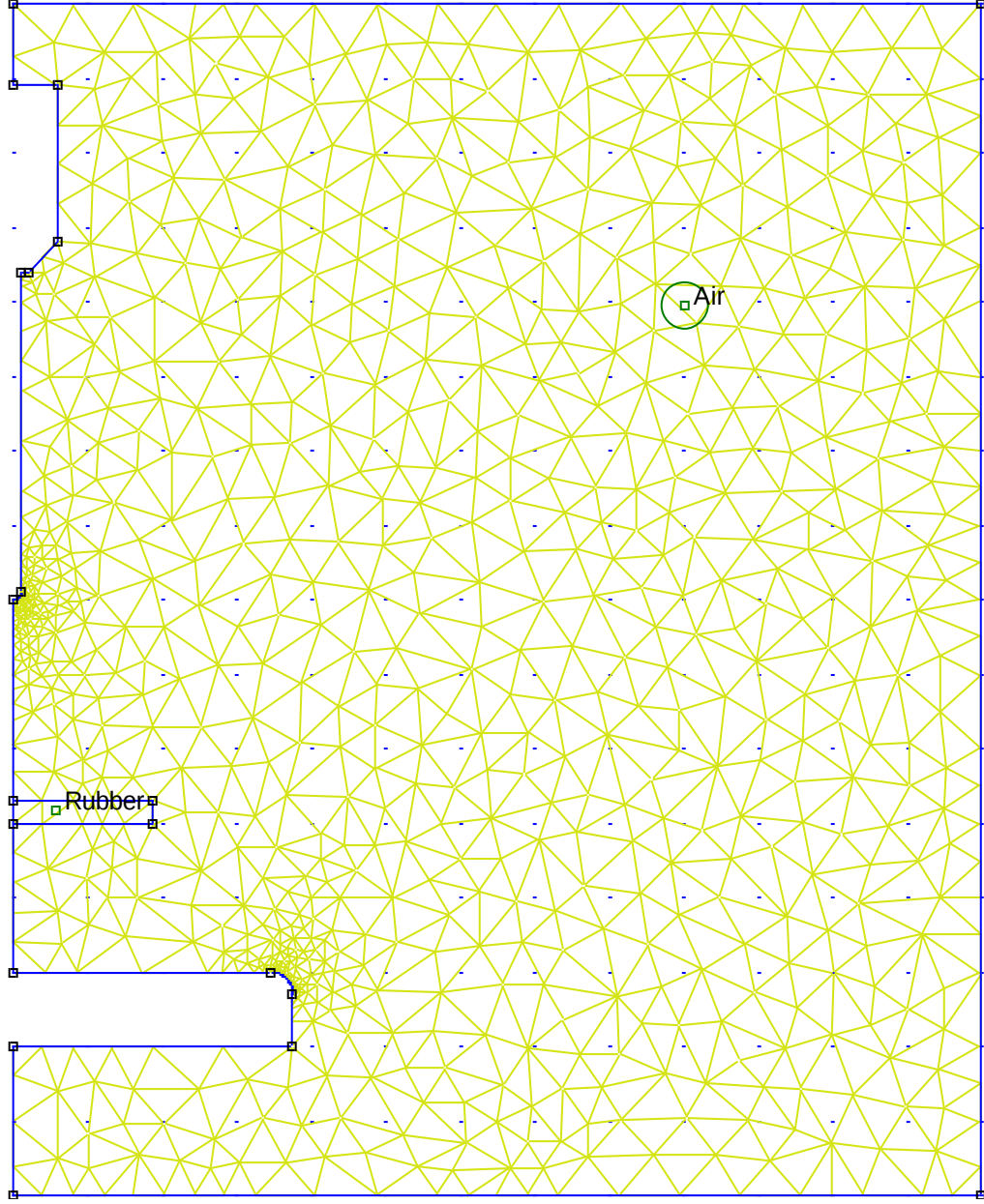


Şekil A.20. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde 50 mm Açıklıkta Düzlem Elektrot
Üzerine Yerleştirilen 195 mm Çapındaki PVC Paravana

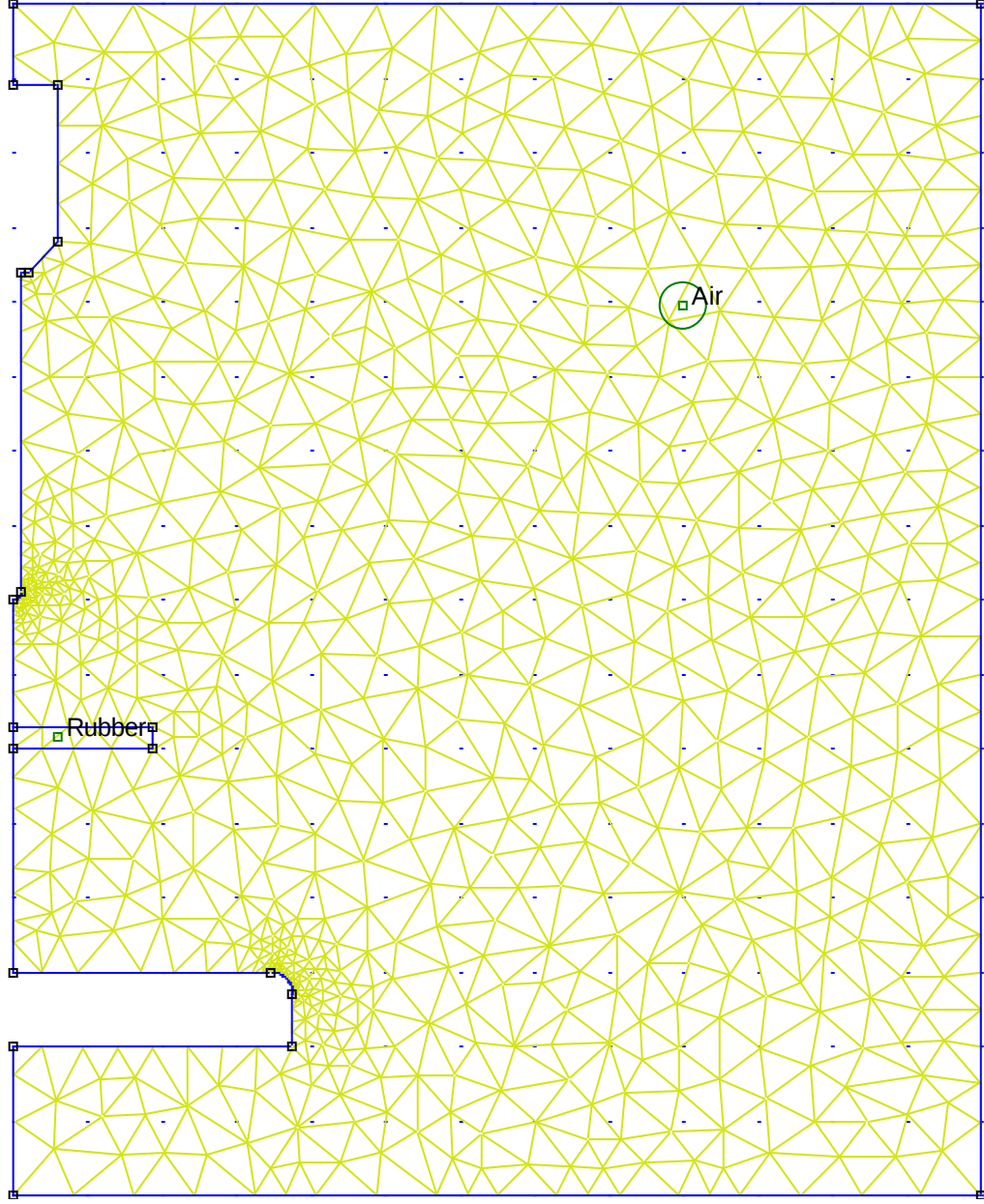
A.2. Paravanaların Havada Asılı Olduğu Durum



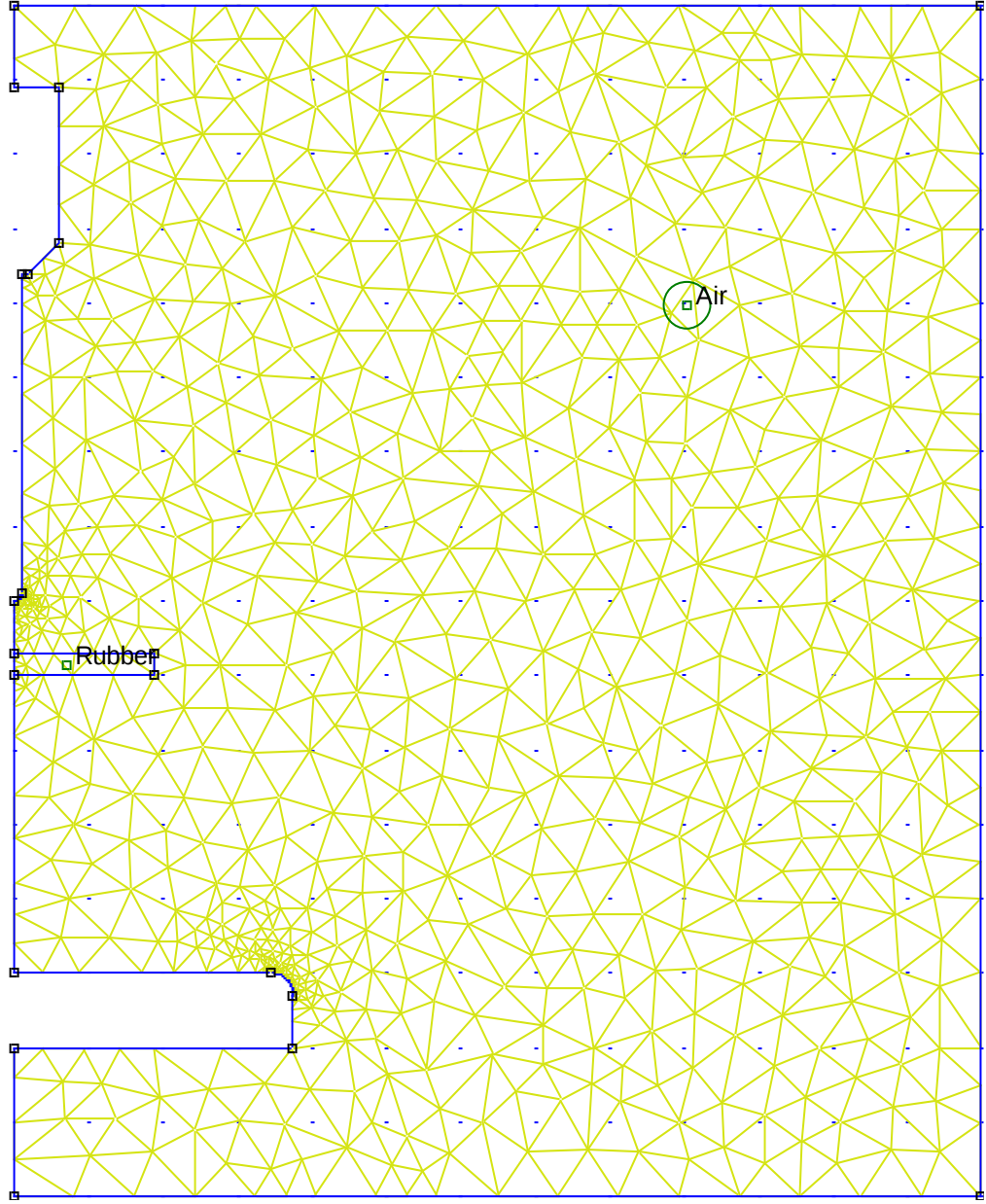
Şekil A.21. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 10 mm Uzaklığa Yerleştirilen 37.5 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



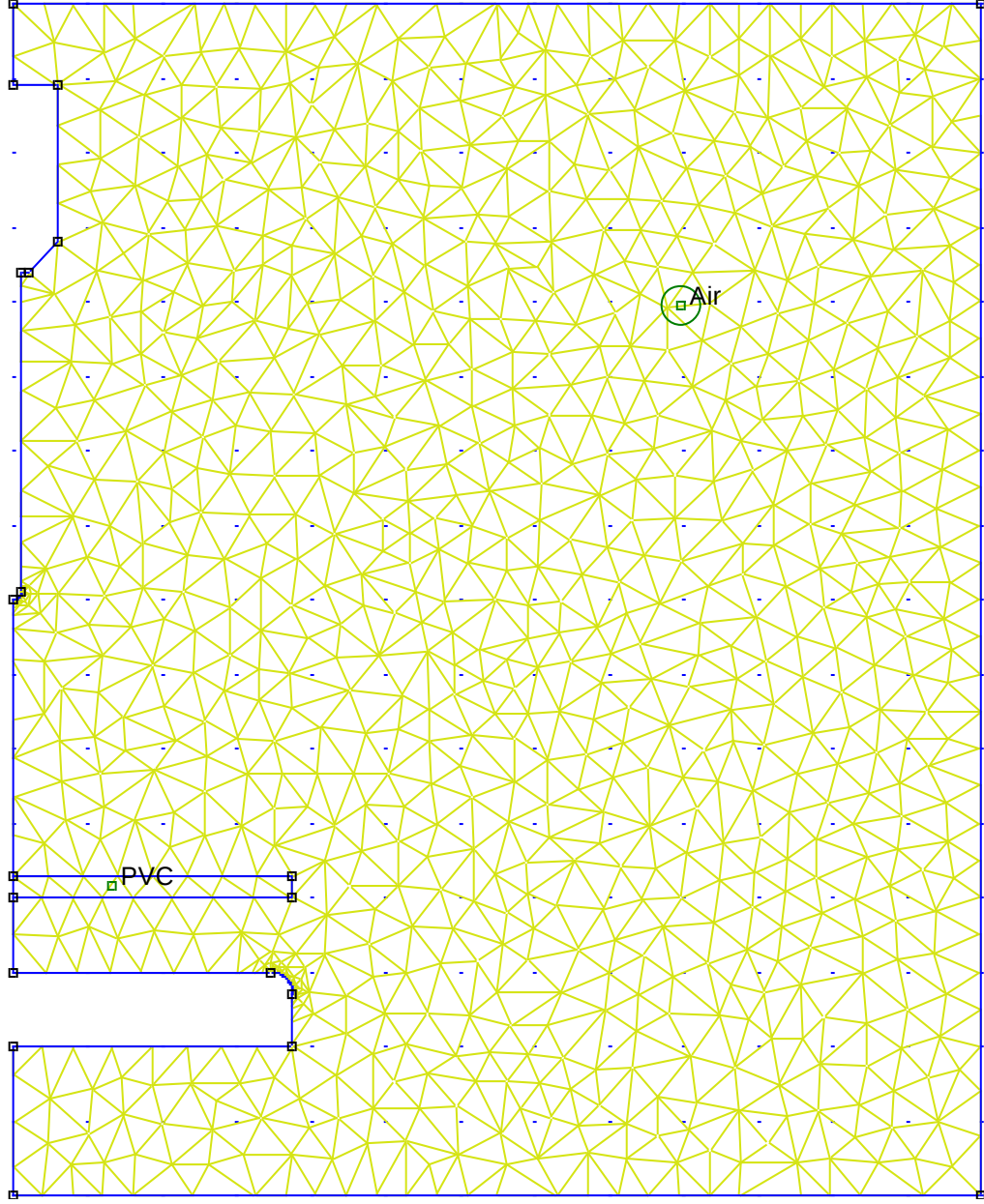
Şekil A.22. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 20 mm Uzaklığa Yerleştirilen 37.5 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



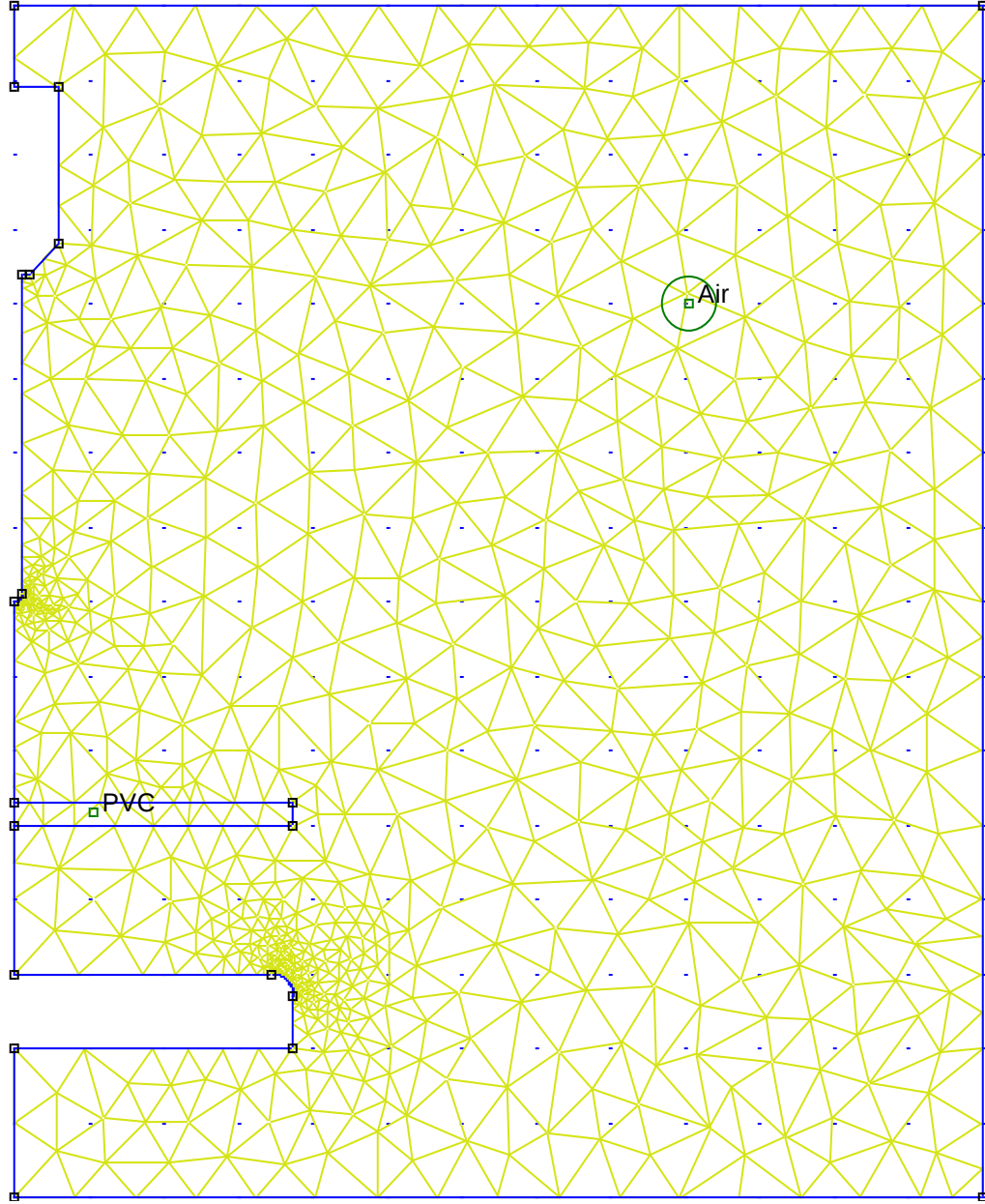
Şekil A.23. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 30 mm Uzaklığa Yerleştirilen 37.5 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



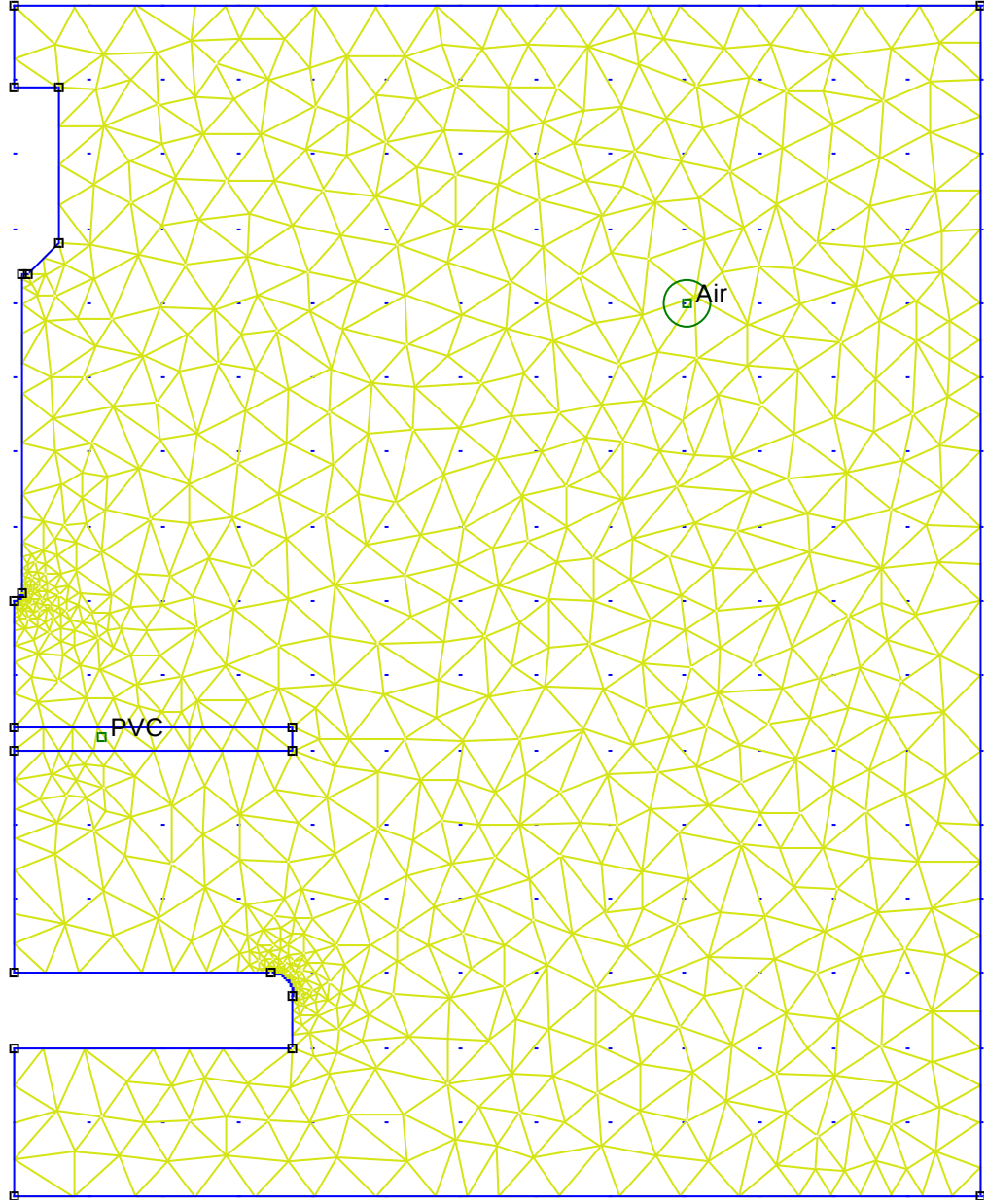
Şekil A.24. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 40 mm Uzaklığa Yerleştirilen 37.5 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



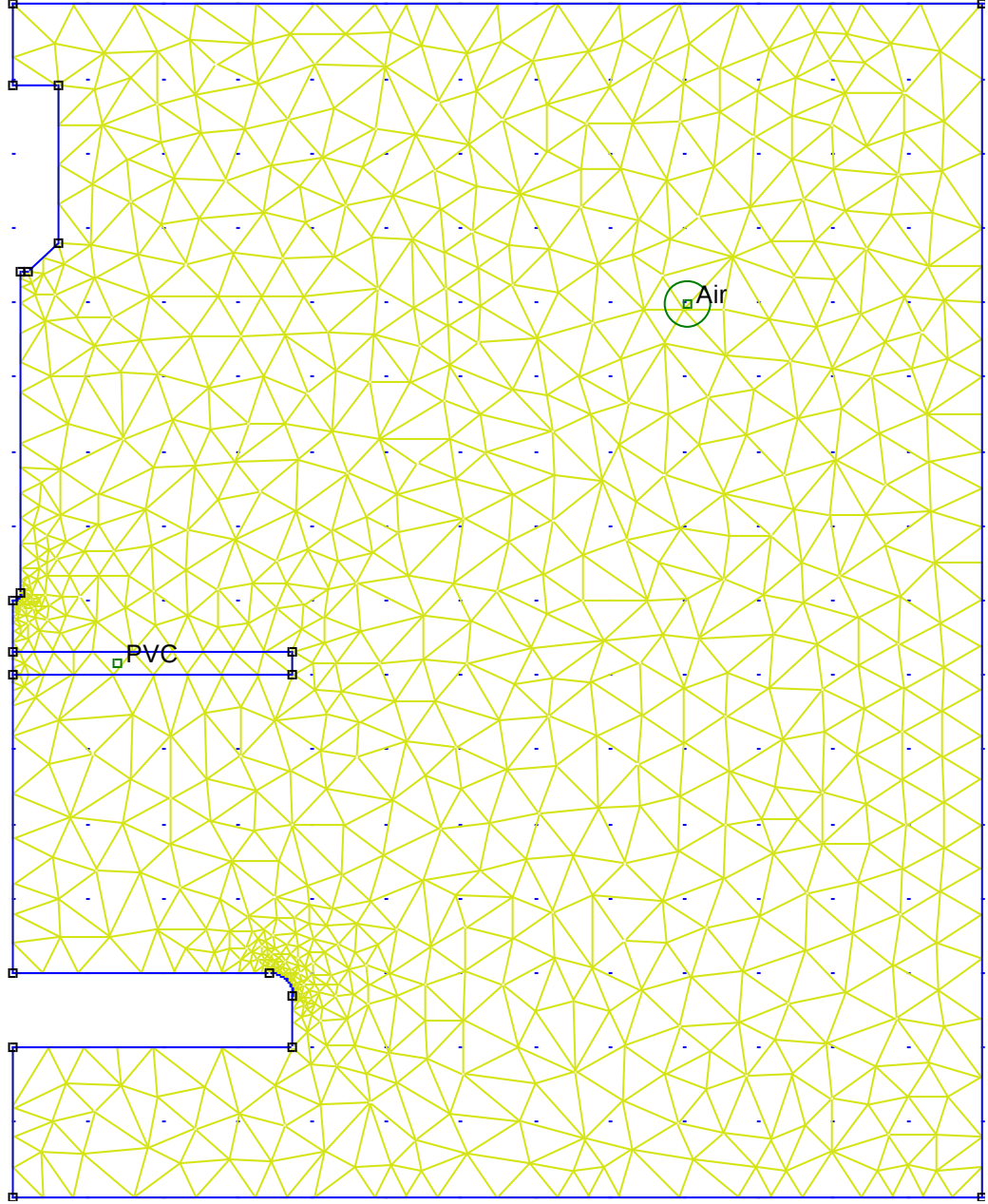
Şekil A.25. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 10 mm Uzaklığa Yerleştirilen 75 mm Çapındaki PVC Paravana



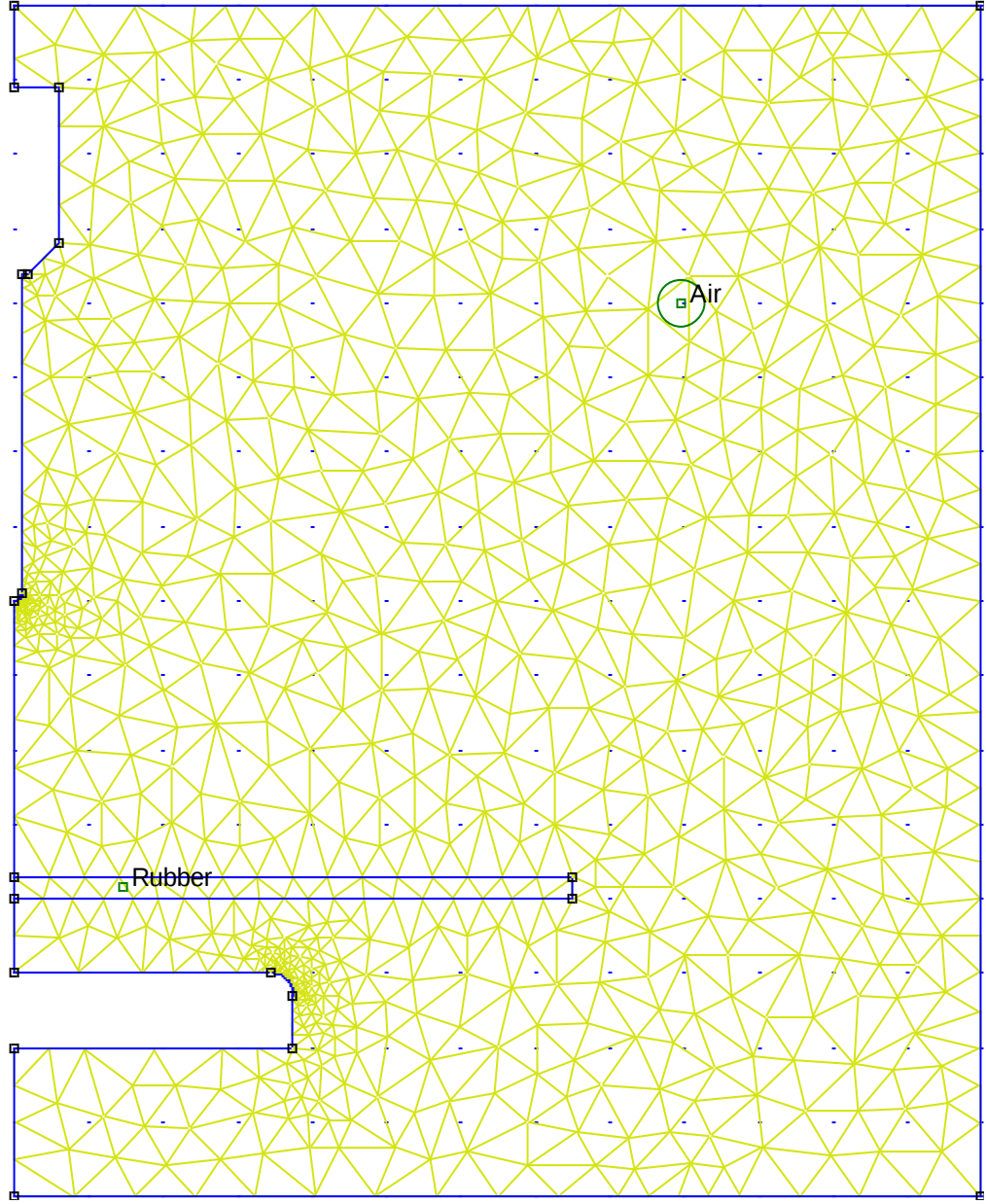
Şekil A.26. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 20 mm Uzaklığa Yerleştirilen 75 mm Çapındaki PVC Paravana



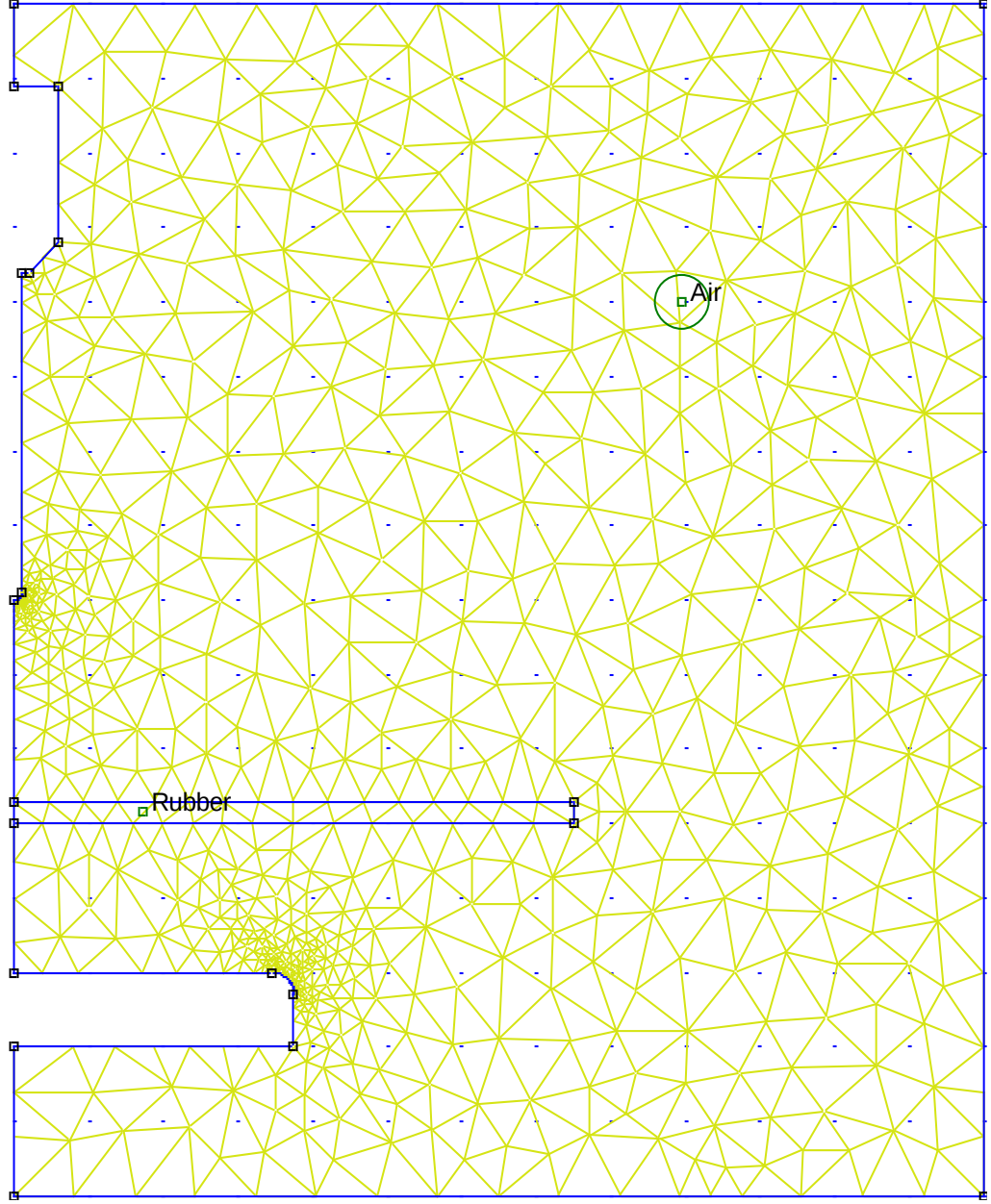
Şekil A.27. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 30 mm Uzaklığa Yerleştirilen 75 mm Çapındaki PVC Paravana



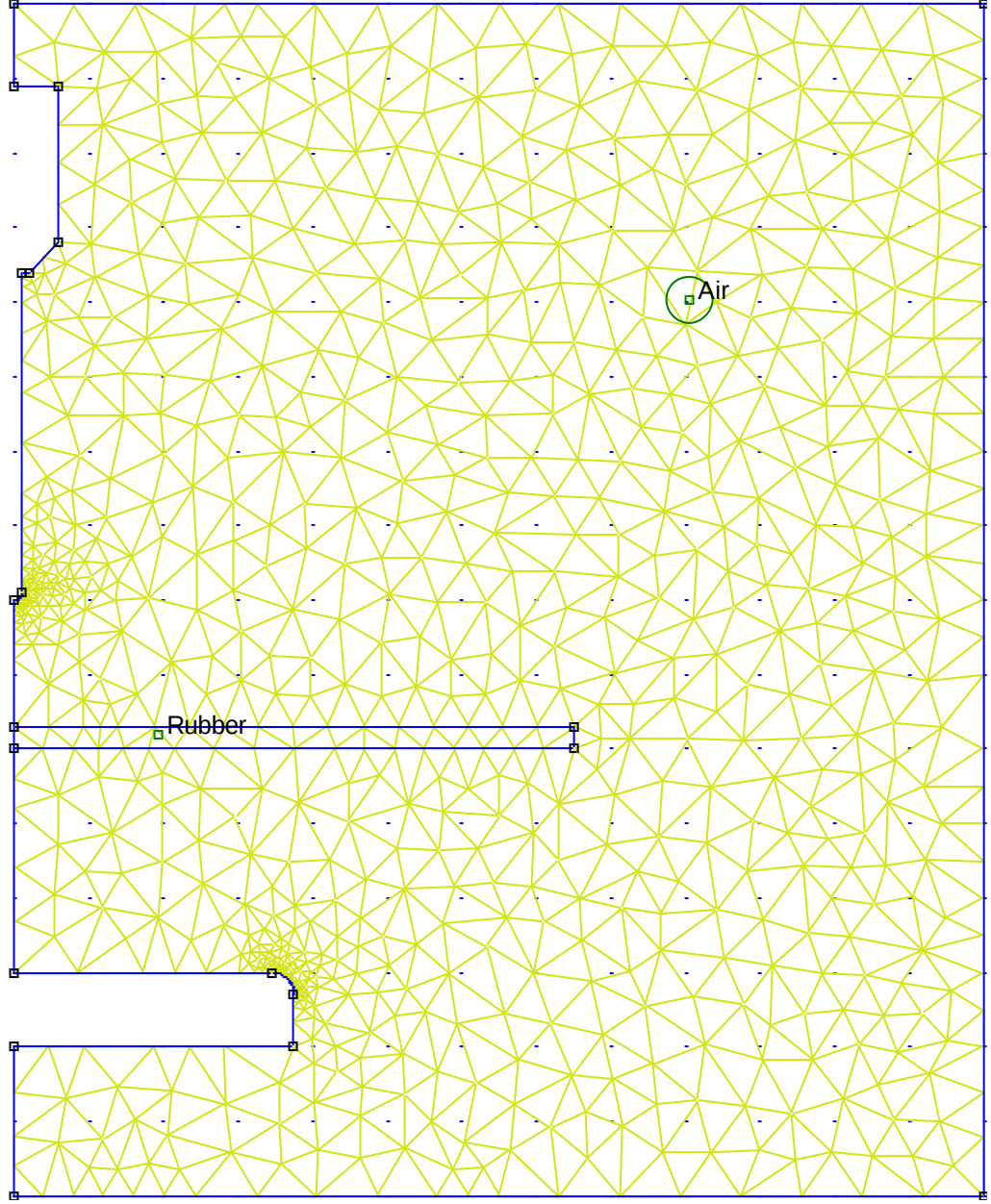
Şekil A.28. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 40 mm Uzaklığa Yerleştirilen 75 mm Çapındaki PVC Paravana



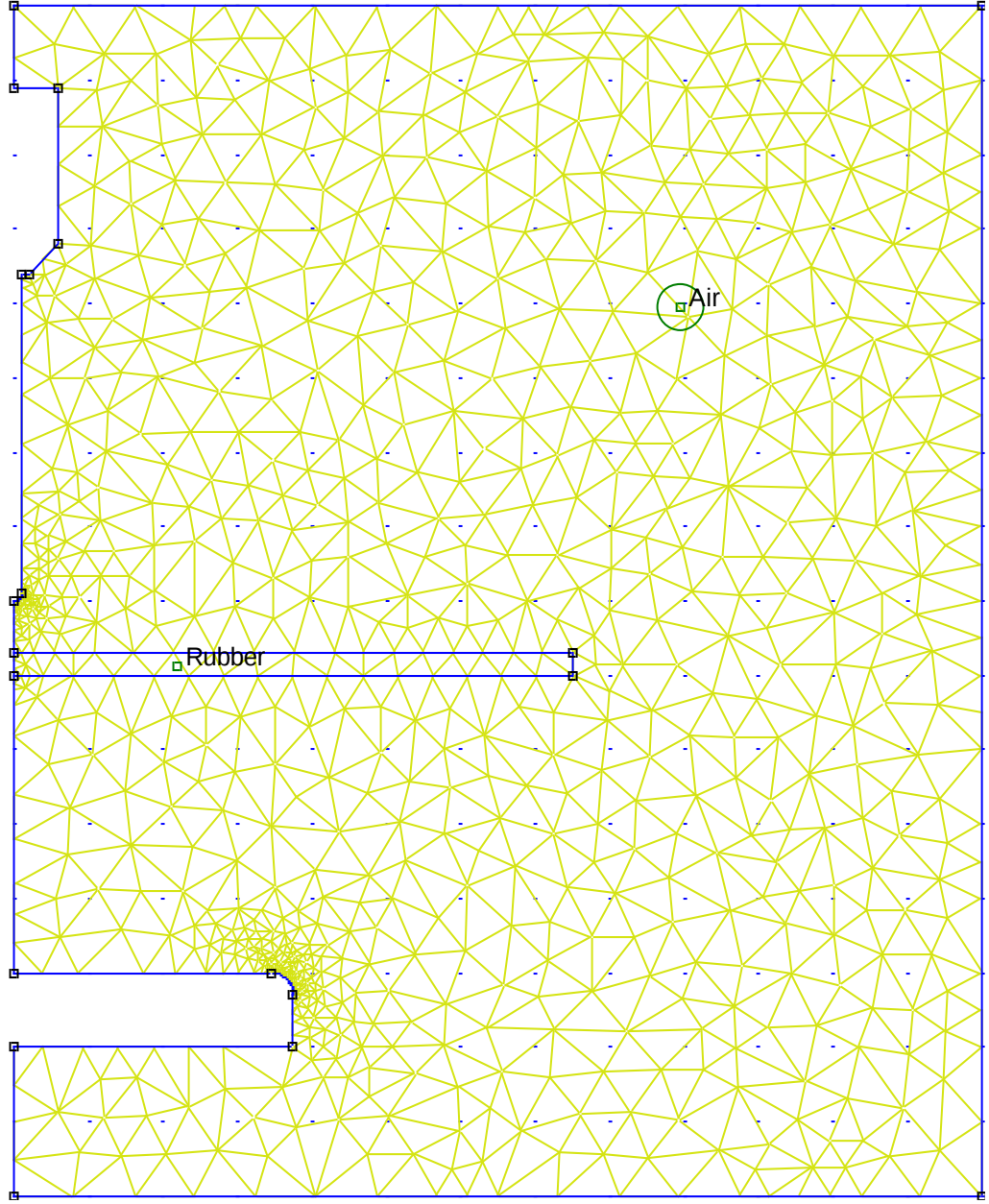
Şekil A.29. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 10 mm Uzaklığa Yerleştirilen 150 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



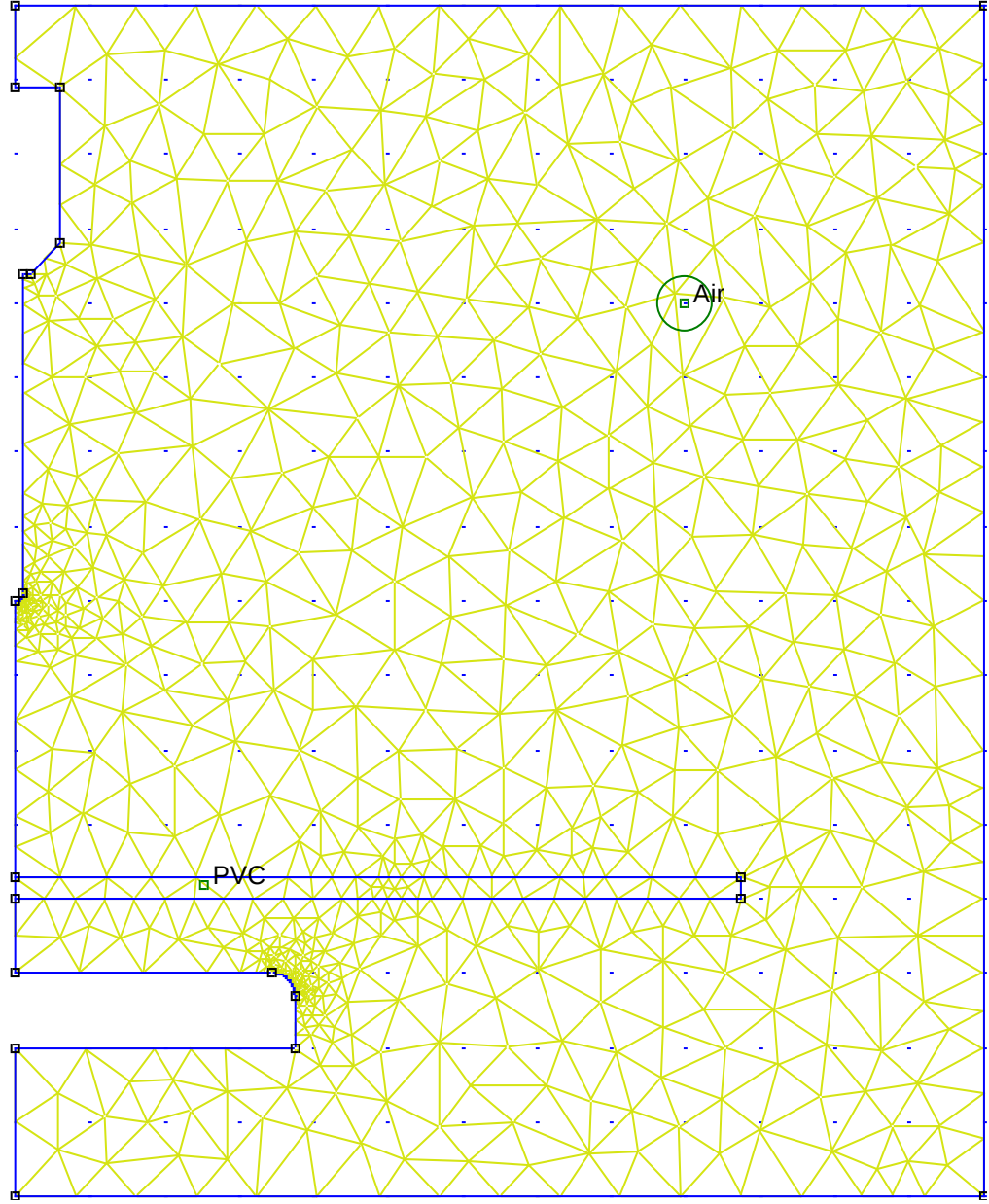
Şekil A.30. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 20 mm Uzaklığa Yerleştirilen 150 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



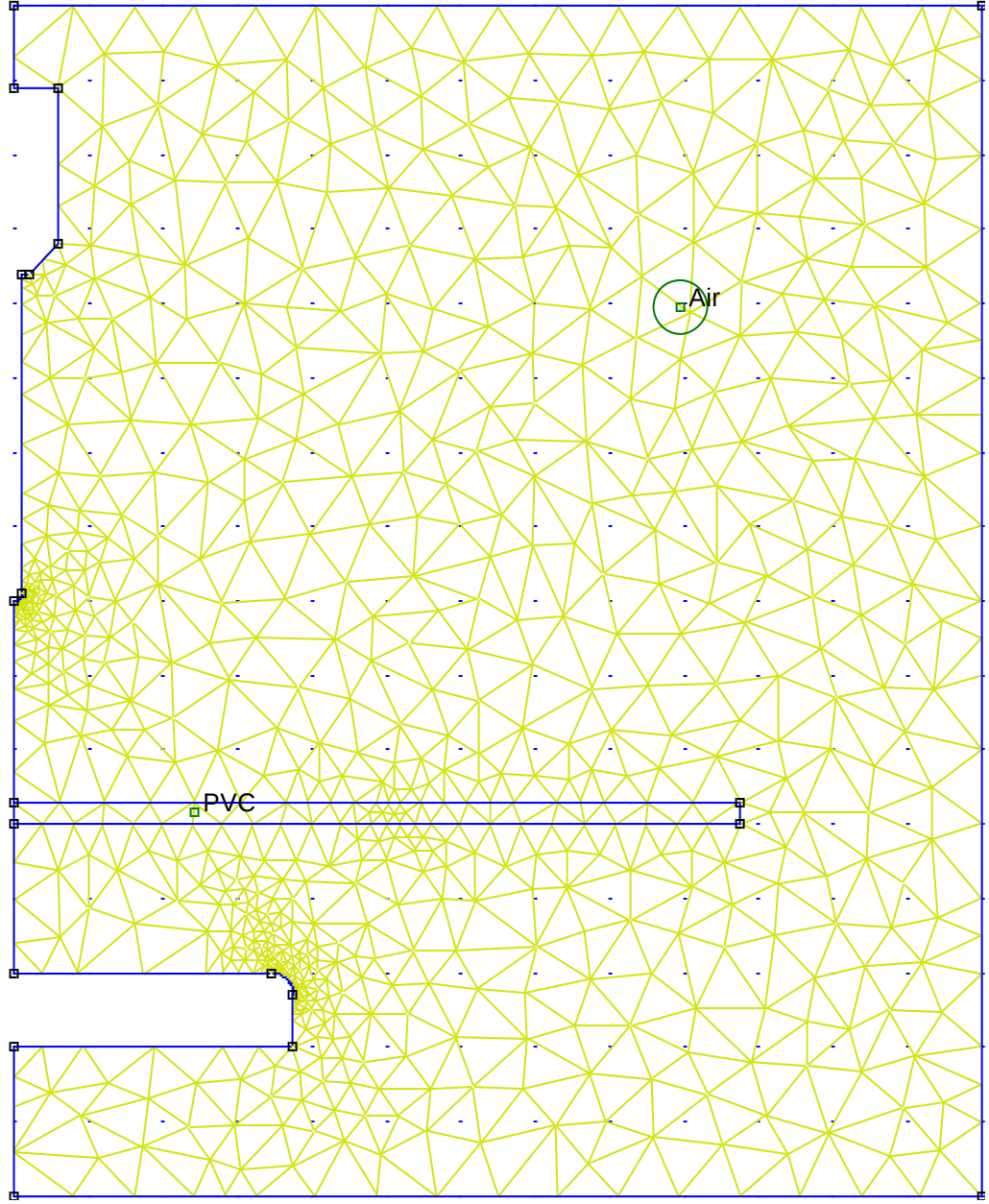
Şekil A.31. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 30 mm Uzaklığa Yerleştirilen 150 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



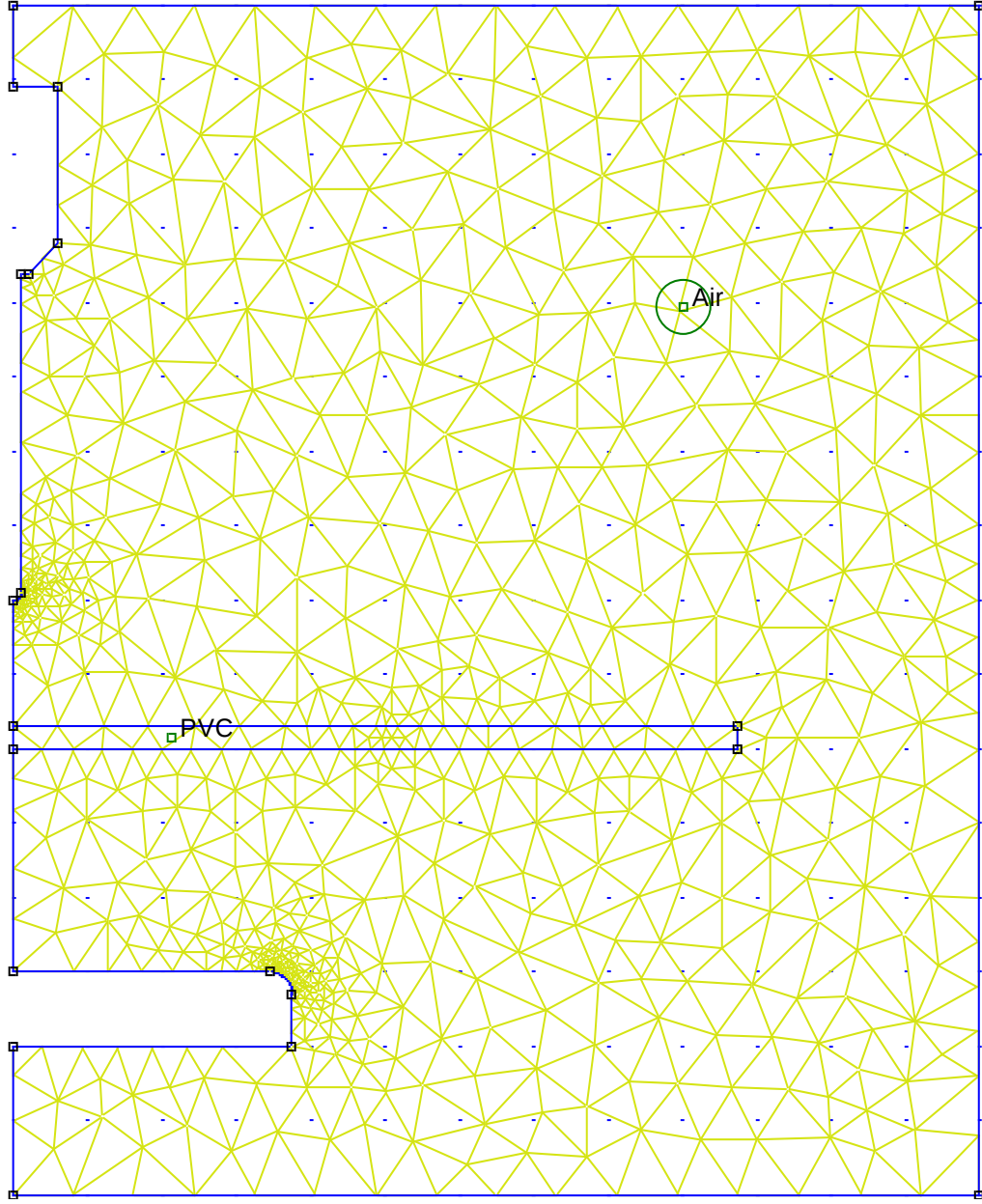
Şekil A.32. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 40 mm Uzaklığa Yerleştirilen 150 mm Çapındaki Kauçuk Paravana



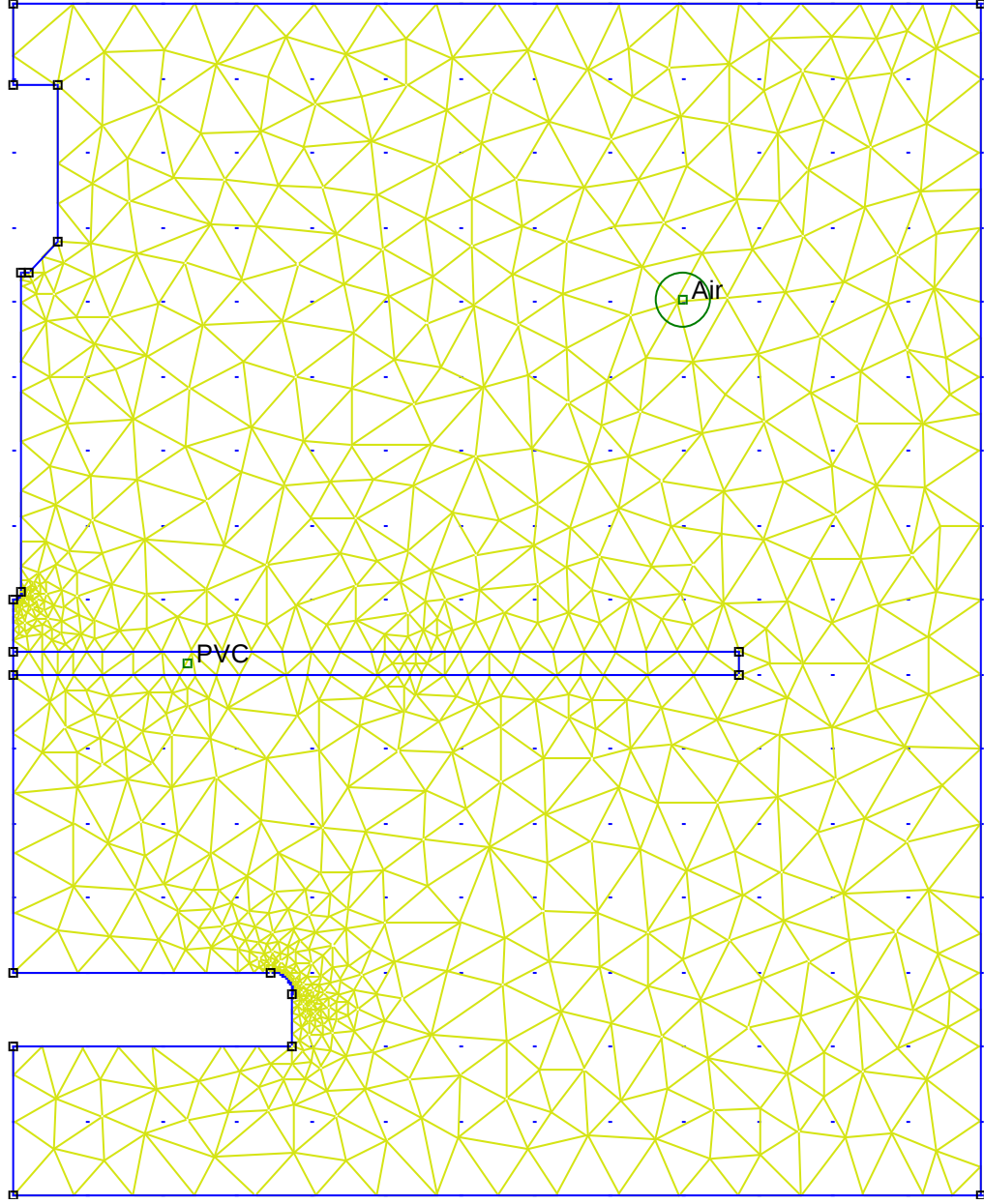
Şekil A.33. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 10 mm Uzaklığa Yerleştirilen 195 mm Çapındaki PVC Paravana



Şekil A.34. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 20 mm Uzaklığa Yerleştirilen 195 mm Çapındaki PVC Paravana



Şekil A.35. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 30 mm Uzaklığa Yerleştirilen 195 mm Çapındaki PVC Paravana



Şekil A.36. Çubuk-Düzlem Elektrot Sisteminde Düzlem Elektrottan 40 mm Uzaklığa Yerleştirilen 195 mm Çapındaki PVC Paravana

EK-B

DENEYSEL ÇALIŞMALARINA AİT VERİLER

B.1. Alternatif Gerilim Deneylerine Ait Havanın Delinme Gerilimi Değerleri

Tablo B.1. Alternatif Gerilim Deneylerinde Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerinde Bulunduğu Duruma Ait Deney Verileri

KAUÇUK					
a	BOŞTA	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	13 kV	18.5 kV	23 kV	38 kV	41 kV
20 mm	22 kV	21 kV	25 kV	40 kV	43 kV
30 mm	28 kV	24 kV	28 kV	43 kV	45 kV
40 mm	37 kV	28 kV	31 kV	45 kV	48 kV
50 mm	44 kV	32 kV	34 kV	48 kV	52 kV

BEYAZ PVC					
a	BOŞTA	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	13 kV	22.5 kV	25.5 kV	40 kV	45 kV
20 mm	22 kV	24 kV	26 kV	42 kV	48 kV
30 mm	28 kV	28 kV	29 kV	46 kV	50 kV
40 mm	37 kV	31.5 kV	32 kV	48 kV	53 kV
50 mm	44 kV	34 kV	36 kV	50 kV	54 kV

ŞEFFAF PVC					
a	BOŞTA	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	13 kV	23 kV	25.5 kV	39.5 kV	47 kV
20 mm	22 kV	25 kV	27 kV	42.5 kV	48 kV
30 mm	28 kV	29 kV	30 kV	46 kV	49.5 kV
40 mm	37 kV	33 kV	34 kV	48 kV	53 kV
50 mm	44 kV	36 kV	39 kV	51 kV	55 kV

Tablo B.2. Alternatif Gerilim Deneylerinde Paravanaların Havada Asılı Olduğu Duruma Ait Deney Verileri

KAUÇUK				
a	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	33 kV	34 kV	56 kV	59 kV
20 mm	42 kV	44 kV	56.5 kV	60 kV
30 mm	53 kV	54 kV	57 kV	62 kV
40 mm	60.5 kV	61 kV	62 kV	63 kV

BEYAZ PVC				
a	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	36 kV	38 kV	56 kV	61 kV
20 mm	47 kV	49 kV	57 kV	62 kV
30 mm	54 kV	55 kV	58 kV	63 kV
40 mm	60 kV	61 kV	61.5 kV	64 kV

ŞEFFAF PVC				
a	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	34 kV	36 kV	55 kV	61.5 kV
20 mm	44 kV	47 kV	57 kV	63 kV
30 mm	53 kV	55 kV	59 kV	64 kV
40 mm	61.5 kV	62 kV	63 kV	65 kV

B.2. Pozitif Doğru Gerilim Deneylerine Ait Havanın Delinme Gerilimi Değerleri

Tablo B.3. Pozitif Doğru Gerilim Deneylerinde Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerinde Bulunduğu Duruma Ait Deney Verileri

KAUÇUK					
a	BOŞTA	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	22 kV	26 kV	35 kV	82 kV	108 kV
20 mm	30 kV	30.5 kV	36.5 kV	84 kV	-
30 mm	41.5 kV	34 kV	38.5 kV	85.5 kV	-
40 mm	52 kV	39.5 kV	42.5 kV	88 kV	-
50 mm	62 kV	43 kV	46 kV	89.5 kV	-

BEYAZ PVC					
a	BOŞTA	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	22 kV	26 kV	34.5 kV	81.5 kV	106 kV
20 mm	30 kV	31 kV	35.5 kV	83 kV	107 kV
30 mm	41.5 kV	35 kV	36.5 kV	85 kV	108 kV
40 mm	52 kV	39 kV	39.5 kV	87 kV	109 kV
50 mm	62 kV	44 kV	44.5 kV	88 kV	110 kV

ŞEFFAF PVC					
a	BOŞTA	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	22 kV	27 kV	34.5 kV	82.5 kV	107 kV
20 mm	30 kV	30 kV	35.5 kV	84 kV	108 kV
30 mm	41.5 kV	33 kV	37 kV	87 kV	110 kV
40 mm	52 kV	38 kV	40 kV	89 kV	112 kV
50 mm	62 kV	43 kV	44 kV	90 kV	114 kV

Tablo B.4. Pozitif Doğru Gerilim Deneylerinde Paravanaların Havada Asılı Olduğu Duruma Ait Deney Verileri

KAUÇUK				
a	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	51 kV	57 kV	88 kV	-
20 mm	59 kV	68 kV	92 kV	-
30 mm	74 kV	77 kV	95 kV	-
40 mm	87.5 kV	88 kV	101 kV	-

BEYAZ PVC				
a	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	48 kV	52 kV	86 kV	104 kV
20 mm	52 kV	55 kV	89 kV	105 kV
30 mm	57 kV	59 kV	93 kV	107 kV
40 mm	62 kV	63 kV	99 kV	111 kV

ŞEFFAF PVC				
a	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	51 kV	57.5 kV	89 kV	106 kV
20 mm	61 kV	69 kV	92 kV	108 kV
30 mm	75 kV	79 kV	97 kV	111 kV
40 mm	87 kV	89 kV	103 kV	114 kV

B.3. Negatif Doğru Gerilim Deneylerine Ait Delinme Gerilimi Değerleri

Tablo B.5. Negatif Doğru Gerilim Deneylerinde Paravanaların Düzlem Elektrot Üzerinde Bulunduğu Duruma Ait Deney Verileri

KAUÇUK					
a	BOŞTA	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	23 kV	30 kV	39 kV	83 kV	-
20 mm	42 kV	33 kV	41 kV	85 kV	-
30 mm	58 kV	36.5 kV	43.5 kV	87.5 kV	-
40 mm	76 kV	41 kV	45.5 kV	89.5 kV	-
50 mm	89 kV	46 kV	48.5 kV	91 kV	-

BEYAZ PVC					
a	BOŞTA	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	23 kV	28.5 kV	38.5 kV	82 kV	108 kV
20 mm	42 kV	32 kV	39.5 kV	83.5 kV	109 kV
30 mm	58 kV	36 kV	41 kV	84.5 kV	110 kV
40 mm	76 kV	42 kV	44 kV	86 kV	111 kV
50 mm	89 kV	47 kV	48 kV	89 kV	113 kV

ŞEFFAF PVC					
a	BOŞTA	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	23 kV	29 kV	38.5 kV	83 kV	110 kV
20 mm	42 kV	32 kV	40 kV	85 kV	111 kV
30 mm	58 kV	36.5 kV	42 kV	87 kV	112 kV
40 mm	76 kV	43 kV	45 kV	90 kV	113.5 kV
50 mm	89 kV	49 kV	49 kV	93 kV	115 kV

Tablo B.6. Negatif Doğru Gerilim Deneylerinde Paravanaların Havada Asılı Olduğu Duruma Ait Deney Verileri

KAUÇUK				
a	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	62 kV	63 kV	96 kV	-
20 mm	71 kV	74 kV	99 kV	-
30 mm	80 kV	82 kV	103 kV	-
40 mm	88 kV	89 kV	106 kV	-

BEYAZ PVC				
a	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	54 kV	56 kV	93 kV	113 kV
20 mm	67 kV	68 kV	96 kV	115 kV
30 mm	76 kV	78 kV	100 kV	118 kV
40 mm	85 kV	86 kV	104 kV	121 kV

ŞEFFAF PVC				
a	37,5 mm	75 mm	150 mm	195 mm
10 mm	51 kV	57.5 kV	89 kV	106 kV
20 mm	61 kV	69 kV	92 kV	108 kV
30 mm	75 kV	79 kV	97 kV	111 kV
40 mm	87 kV	89 kV	103 kV	114 kV

ÖZGEÇMİŞ

Alper KARA, 23.02.1980 tarihinde İstanbul’da doğdu. İlk ve orta eğitimini sırasıyla, Faik Reşit Unat İlkokulu ve Ümraniye Anadolu Lisesinde tamamladı. 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2003 yılında buradan mezun olarak, aynı yıl kendi bölümünde yüksek lisansa kayıt oldu. İyi derecede İngilizce ve Almanca bilmektedir. Halen İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir.