

84014

**KOAKSİYEL, PARAKSİYEL VE ÇUBUK DÜZLEM
GEOMETRİLERDE KORONA BAŞLANGIÇ VOLTAJ VE ELEKTRİK
ALAN ANALİZİ**

Mehmet ZİLE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ A.B.D.)**

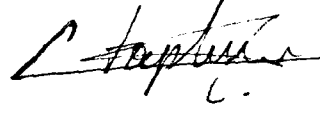
**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİSTON MERKEZİ**

Ocak 1999

ANKARA

Mehmet Zile tarafından hazırlanan KOAKSİYEL, PARAKSİYEL VE ÇUBUK DÜZLEM GEOMETRİLERDE KORONA BAŞLANGIÇ VOLTAJ VE ELEKTRİK ALAN ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Doç. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

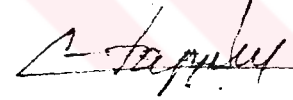
Başkan : Prof. Dr. M. Sezai DİNÇER



Üye : Y. Doç. Dr. K. Cem NAKİBOĞLU



Üye : Doç. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU



Üye :

Üye :



Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kuralına uygundur.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK ARAŞTIRMALAR.....	5
2.1 Delinme Teorileri.....	5
2.1.1. Townsend teorisi.....	5
2.1.2. Kanal delinme teorisi.....	8
2.2 Korona Deşarjı.....	13
2.2.1. Korona başlangıç gerilimi U_k 'ya etki eden faktörler.....	15
2.2.2. Dc korona modellemesi.....	21
3. KORONA DEŞARJI PARAMETRELERİ.....	25
3.1 Elektrod Sistemleri.....	25
3.1.1. Koaksiyel silindir elektrod sistemi.....	26
3.1.2. Paraksiyel silindir elektrod sistemi.....	28
3.1.3. Çubuk-düzlem elektrod sistemi.....	29
3.2 Korona Parametreleri.....	30
3.2.1. Korona başlangıç gerilimi ölçümü ve hesabı.....	30
3.2.2. Korona kayıp (I/V) karakteristik ölçümü ve hesabı.....	32
3.2.3. Akım yoğunluğu ölçümü.....	36
3.2.4. Elektrik alan ölçümleri.....	36
4. KOAKSİYEL VE PARAKSİYEL GEOMETRİLERDE KORONA BAŞLANGIÇ GERİLİM VE ELEKTRİK ALAN ANALİZİ.....	38
4.1. Koaksiyel Sistem Analizi.....	38
4.1.1. Korona başlangıç voltajı.....	38
4.1.2. I-V karakteristiği.....	42
4.1.3. Elektrik alanı ölçümü.....	44
4.2. Paraksiyel Sistem Analizi.....	45
4.2.1. Korona başlangıç voltajı.....	46
4.2.2. I-V karakteristiği.....	51
4.2.3. Akım yoğunluğu profilleri.....	52
4.2.4. Elektrik alan profilleri.....	55

5. GENİŞ ELEKTROD ARALIKLARINDA KORONA BAŞLANGIÇ GERİLİMLER ANALİZİ.....	58
5.1. Giriş.....	58
5.2. Hesaplamalar.....	59
5.3. Sonuç Analizi.....	72
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR	83
EK	86
ÖZGEÇMİŞ	113



KOAKSİYEL, PARAKSİYEL VE ÇUBUK DÜZLEM GEOMETRİLERDE KORONA BAŞLANGIÇ VOLTAJ VE ELEKTRİK

ALAN ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet ZİLE

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 1999

ÖZET

Korona Deşarjları, yüksek gerilim hatlarında sebep olduğu güç kayıplarının yanı sıra, elektro kimyasal olaylarla meydana getirdiği kimyasal bileşenler ile sadece elektriksel zararlara değil, malzemelerde mekanik arızalara ve canlılar üzerinde biyolojik etkilere sebep olmaktadır. Korona deşarjı esnasında meydana gelen ve sürüklenen uzay yüklerinin detaylı olarak bilinmesi yalnız teorik açıdan değil, aynı zamanda birçok endüstriyel uygulamalar için de oldukça önem taşımaktadır (yüksek hızlı basım cihazları ve elektrostatik sprey boyamaları) gibi. Meydana gelen bu uzay yüklerinin başlıca parametreleri: hızları, yönleri ve dağılımıdır. Uzay yükü olan bir ortamda, elektrik alanının ve akım yoğunluğunun ölçümü özellikle yeni ve hassas teknik ve cihazları beraberinde gerektirmektedir. Bu çalışmada öncelikle koaksiyel ve paraksiyel geometrilerde yapılmış ölçüm neticeleri kullanılarak teorik (analitik ve nümerik) hesaplamalarla karşılaştırılmıştır. Silindirik bir dış elektrodun yüzeyi boyunca doğrusal elektrik alan probu kullanılarak ölçümleri alınmış, koaksiyel ve paraksiyel (off-axis) geometrilerdeki deneysel veriler kullanılarak teorik modellemeler yapılmıştır. Ayrıca negatif dc korona başlangıç voltajları, elektrod mesafesi 2 m. kadar olan çubuk düzlem geometrileri için hesaplanmıştır. Korona başlangıç voltajları ölçülmüş ve hesaplamalarla karşılaştırılmıştır. Çubuk-düzlem geometriye ait korona başlangıç gerilimleri 50, 100, 150 ve 200 cm elektrod aralığında ölçülmüş değerleri kullanılmıştır. Korona başlangıç voltajının nümerik hesaplamasında bir yük simülasyon programı kullanılmış, programda Townsend çığ mekanizması göz önüne alınmış ve değişik etkin iyonizasyon katsayılarında hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesap ve analizlerin doğruluğu için elde edilen neticeler karşılaştırılmış ve birbiriyle çok yakın benzerlikler olduğu gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 608.02.07
 Anahtar Kelimeler : Korona deşarjı, Korona başlangıç gerilimi
 Sayfa Adedi : 113
 Tez Yöneticisi : Doç. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

**CORONA INCEPTION VOLTAGE AND ELECTRICAL FIELD
ANALYSIS FOR COAXIAL, PARAXIAL AND POINT-PLANE
GEOMETRIES**

(M. Sc. Thesis)

Mehmet ZİLE

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

January 1999

ABSTRACT

Corona discharge is responsible for considerable power losses from high voltage transmission lines and often leads to deterioration of insulation material by the combined action of the discharge ions bombarding the surface and the action of chemical components that are formed by the discharge. In addition, the biological effects of electrification, by ion flow on a person, animal or object are important. Investigation of the corona discharge is not only for the theoretical studies, but also for the industrial applications (such as high speed printers and electrostatic spray and painting etc.). The main parameters of the space-charges; velocity, direction, and distribution. The measurement of electric field and current density under corona needs new and sensitive techniques. In the present work, the obtained experimental results of coaxial and paraxial system are used and compared with the theoretical (analytical and numerical) computations. In literature, there is limited knowledge related to drift and distribution of the space-charge between the electrodes. Corona discharge has significant importance, since the space-charges affects the electric field and current density profiles especially for non-uniform field distributions. In addition, negative dc corona characteristics for electrode spacings of up to 2 meters have been determined for rod/plane geometries. The present study is confined only the corona inception voltages V_i measured in this study for rod/plane gaps. The measured corona inception voltage obtained for gap distance of 50, 100, 150 and 200 cm. and compared with both the analytical and numerical (computer) methods and closed relationships are obtained.

Science Code	: 608.02.07
Key Words	: Corona discharge, Corona inception voltage and field
Page Number	: 113
Adviser	: Associate Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardımlarıyla beni yönlendiren değerli hocam Doç. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU' na, maddi ve manevi desteklerinden dolayı başta Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi dekanı Prof. Dr. Halil BAŞ' a, fakültemin değerli akademik ve idari elemanları ile tüm aile fertlerime ve eşime teşekkürü bir borç bilirim.



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Pratik hesaplamalarda kullanılan bazı yüzey pürüzlülük katsayıları.....	20
Çizelge 4.1. Koaksiyel sistemde ölçülen ve hesaplanan başlangıç gerilimleri (kV) ($\phi = 0.56 \text{ mm.}$).....	40
Çizelge 4.2. Ölçülmüş ve koaksiyel sistem maksimum elektrik alan değeri yaklaşımıyla hesaplanmış başlangıç gerilimleri.....	48
Çizelge 5.1. Çubuk elektrod ucunda hesaplanan normalleştirilmiş elektrik alanı (cm^{-1}). (ii) sonsuz uzunluktaki çubuk.....	60
Çizelge 5.2. $\int (\alpha-\eta)dl = 20$ durumu için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin karşılaştırılması.....	61
Çizelge 5.3. Farklı $\int (\alpha-\eta)dl$ değerleri için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin (kV) karşılaştırılması.....	64
Çizelge 5.4. Farklı $\int (\alpha-\eta)dl$ değerleri için çubuk çaplarının $(1/32)''$ ile $10''$ arasındaki değerlerinde hesaplanan başlangıç gerilimleri (kV).....	67
Çizelge 5.5. $\int (\alpha-\eta)dl = 7$ durumu için değişik sınır şartlarında hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin karşılaştırılması.....	69
Çizelge 5.6. Farklı $\int (\alpha-\eta)dl$ değerleri için hesaplanan çığ uzunluğu (cm).....	74

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Uzak yükünün dış elektrik alanına etkisi.....	8
Şekil 2.2. a)Anot kanalı b)Katot kanalı.....	10
Şekil 2.3. a)Negatif kutuplu sivri uç b) Pozitif kutuplu sivri uç.....	11
Şekil 2.4. Raether ' e göre Townsend ve Kanal Teorilerinin kıyaslanması.....	13
Şekil 2.5. Korona ve delinme gerilimi.....	14
Şekil 2.6. İyonizasyon bölgesi ve elektrik alan profili.....	16
Şekil 2.7. V, E, ρ ve J arasındaki ilişki.....	22
Şekil 3.1. Koaksiyel silindir elektrot sistemi.....	25
Şekil 3.2. E, V ve E_{max} 'ın değişimi.....	27
Şekil 3.3. Paraksiyel silindir elektrot sistemi.....	28
Şekil 3.4. Çubuk-düzlem elektrot sistemi.....	29
Şekil 4.1. Koaksiyel silindir geometrisi.....	38
Şekil 4.2a. Koaksiyel sistemde ölçülmüş başlangıç gerilimleri (kuru, normal ve nemli hava için).....	40
Şekil 4.2b. Koaksiyel sistemde Peek formülü ile hesaplanmış başlangıç gerilimleri (pürüzlülük faktörü $m=1$ ve $m=0.95$ için), ($\phi = 0.56$ mm.).....	41
Şekil 4.2c. Koaksiyel sistemde Waters formülü ile	

hesaplanmış başlangıç gerilimleri (pürüzlülük faktörü $m=1$ ve $m=0.95$ için), ($\phi = 0.56$ mm.).....	41
Şekil 4.2d. Koaksiyel sistemde ölçülmüş ve hesaplanmış (Peek ve Waters formülü ile) başlangıç gerilimleri ($\phi = 0.56$ mm. ,normal hava, $m=1.0$).....	42
Şekil 4.3. Hava ve N_2 içinde farklı iletken çapları için korona akım-voltaj karakteristiği.....	43
Şekil 4.4. Değişik iletken çapları için Elektrik alanının gerilime göre grafiği.....	44
Şekil 4.5. Paraksiyel geometri.....	45
Şekil 4.6. Deneysel düzenek.....	46
Şekil 4.7. Δ' nın fonksiyonu olarak korona başlangıç geriliminin grafiği.....	48
Şekil 4.8a. Farklı basınç ve Δ değerleri için ölçülmüş korona başlangıç gerilimler grafiği.....	49
Şekil 4.8b. Farklı basınçlarda farklı Δ değerleri için hesaplanmış başlangıç gerilimler grafiği.....	49
Şekil 4.8c. Başlangıç geriliminin basınca göre değişim grafiği.....	50
Şekil 4.9. Farklı basınçlar için İletkenlik-Voltaj grafiği.....	52
Şekil 4.10. Değişik Δ değerleri için $J/J_{max} - \theta$ grafiği.....	54
Şekil 4.11. Değişik Δ değerleri için Maximum Akım Yoğunluğu Gerilim grafiği.....	54
Şekil 4.12a. $\Delta = 15$ mm için normalize edilmiş Elektrik Alan Profili.....	55

Şekil 4.12b. $\Delta = 21$ mm için normalize edilmiş Elektrik Alan Profili.....	56
Şekil 4.12c. $\Delta = 30$ mm için normalize edilmiş Elektrik Alan Profili.....	56
Şekil 4.13. Değişik Δ değerleri için maksimum Elektrik Alan Şiddetinin Gerilime göre değişimi.....	57
Şekil 5.1. Ölçülmüş başlangıç gerilimleri.....	58
Şekil 5.2. Hesaplanmış ve ölçülmüş başlangıç gerilimleri. Sonsuz uzunlukta çubuk-düzlem geometrisi (ii durum). Çıg integral değeri 20.....	61
Şekil 5.3a. $\int(\alpha-\eta)dl = 20$ durumu için hesaplanan ve ölçülen korona başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında ve sınır şartlarında değişim grafığı (S=50 cm.).....	62
Şekil 5.3b. $\int(\alpha-\eta)dl = 20$ durumu için hesaplanan ve ölçülen korona başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında ve sınır şartlarında değişim grafığı (S=100cm.).....	62
Şekil 5.3c. $\int(\alpha-\eta)dl = 20$ durumu için hesaplanan ve ölçülen korona başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında ve sınır şartlarında değişim grafığı (S=150cm.).....	63
Şekil 5.4a. Farklı $\int(\alpha-\eta)dl$ değerleri için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında değişimi (S=50cm.).....	65
Şekil 5.4b. Farklı $\int(\alpha-\eta)dl$ değerleri için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında değişimi (S=100cm.).....	65

Şekil 5.4c. Farklı $\int(\alpha-\eta)dl$ değerleri için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında değişimi (S=150cm.).....	66
Şekil 5.5a. Farklı $\int(\alpha-\eta)dl$ değerleri için hesaplanan başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında değişimi (S=50cm.).....	67
Şekil 5.5b. Farklı $\int(\alpha-\eta)dl$ değerleri için hesaplanan başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında değişimi (S=100cm.).....	68
Şekil 5.5c. Farklı $\int(\alpha-\eta)dl$ değerleri için hesaplanan başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında değişimi (S=150cm.).....	68
Şekil 5.6a. $\int(\alpha-\eta)dl = 7$ durumu için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk elektrodlarında değişimi (S=50 cm.).....	69
Şekil 5.6b. $\int(\alpha-\eta)dl = 7$ durumu için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk elektrodlarında değişimi (S=100 cm.)	70
Şekil 5.6c. $\int(\alpha-\eta)dl = 7$ durumu için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk elektrodlarında değişimi (S=150 cm.)	71
Şekil 5.7. Çubuk elektrod ucunda hesaplanan normalleştirilmiş elektrik alanı (cm^{-1}) farklı çubuk elektrod çaplarındaki değişim grafiği. (ii) sonsuz çubuk.....	71
Şekil 5.8. Başlangıç geriliminin iyonizasyon katsayı integral değerine göre değişimi (S=100cm).....	71
Şekil 5.9. Normalleştirilmiş başlangıç gerilimlerinin iyonizasyon katsayı integraline göre değişimi (S=100 cm.).....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
α	Etkin iyonizasyon katsayısı
β	Alınan bir noktanın dış silindir merkezine göre açısı
δ	Bağıl hava yoğunluğu
σ	Yüzeysel yük yoğunluğu , Coulomb / cm ²
Δ	Eksenel yer değiştirme (off-axis), mm
$\Delta\ell$	Adım büyüklüğü
$\Delta\phi$	Adım gerilimi
E	Elektrik alan, V/cm
ϵ_0	Havanın permeabilitesi
ϕ	Gerilim, Volt
I	Akım, Amper
J	Akım yoğunluğu, A/cm ²
ℓ	akı tüpünün merkeze mesafesi, mm
μ	Mobilite, cm ² /Vs
N	Güç, Watt
n_e	elektron sayısı
η	Yapışma sabiti
n_{ion}	pozitif iyon sayısı
P	Basınç, Torr
Q	Yük, Coulomb
R	Dış silindir yarıçapı, mm
r_0	İç iletken yarıçapı, mm
ρ	Yük yoğunluğu , Coulomb / cm ²

S	Akı tüpü yüzey alanı, mm²
θ	Dönme açısı (teta), derece, radyan
V,U	Gerilim, Volt
v_e	elektron hızı, cm/s
v_{ion}	pozitif iyon hızı, cm/s

Kısaltmalar

ac	Alternatif akım
dc	Doğru akım
YSM	Yük simülasyon metodu



1. GİRİŞ

Korona Kavramı

Özellikle küçük yarıçaplı elektrotlarda (eğrilik yarıçapı küçük elektrotlarda) tam olmayan kısmi, ama kendini besleyen boşalmaya “Korona Boşalması” denir. Yüksek gerilim enerji iletim hatlarında sıkça görülen ve iletkenin etrafında ışıklı bir zar olarak ortaya çıkan korona boşalmaları, yüksek gerilim hatlarında sebep olduğu güç kayıpları yanısıra elektrokimyasal olaylarla meydana getirdiği kimyasal bileşenler ile sadece elektriksel zararlara değil, malzemelerde mekanik arızalara ve canlılar üzerinde biyolojik etkilere sebep olmaktadır.

Korona boşalması esnasında meydana gelen ve sürüklenen uzay yüklerinin detaylı olarak bilinmesi gerek teorik araştırmalar ve gerekse birçok endüstriyel uygulamalar için oldukça önem taşımaktadır. Bu endüstriyel uygulamalara yüksek hızlı basım cihazları ve elektrostatik spreyci boyamaları v.b. verilebilir. Meydana gelen bu uzay yüklerinin başlıca parametreleri: hızları, yönleri ve dağılımlardır. Uzay yükü olan bir ortamda, elektrik alanının ve akım yoğunluğunun ölçümü özellikle yeni ve duyarlı teknikleri ve araştırmaları beraberinde getirmektedir.

Korona deşarjının fiziksel mekanizması ve uzay yüklerinin dağılım ve hareketi, uygulanan gerilimin dalga şekli, polaritesi ve atmosferik şartlar gibi birçok faktöre bağlıdır. Örneğin, doğru (dc) gerilim altındaki korona deşarjı, alternatif (ac) gerilim altındakinden oldukça farklıdır. Alternatif gerilim durumunda, elektrik alanının polaritesinin periyodik olarak değişmesinden dolayı elektrot etrafında ek bir elektrikli zorlama oluşur. Ancak dc gerilim durumunda tek yönlü elektrik alanı altında, uzay yükleri aktif elektrottan uzağa sürüklenir ve böylece elektrotlar arasını doldurur. Pozitif elektrotta, elektrik

alanın oluşturduğu baskı sonucundaki iyonlaşma elektronların ve negatif iyonların pozitif elektrotta gelmesiyle başladığı, negatif elektrotta ise, pozitif iyonların negatif elektrotta çarpması sonucunda elektronların salıverilmesi ile başladığı bilinmektedir [1,2]. Korona deşarjları özellikle homojen olmayan (non-uniform) alanların kaçınılmaz olduğu yüksek gerilim mühendisliği uygulamalarında, özel bir öneme sahiptir. Ayrıca insan, hayvan veya nesne üzerine iyon akışıyla oluşan elektrifikasyonun biyolojik etkileri de son zamanlarda oldukça tartışılmaktadır.

Korona yüklü parçacıkların taşınması, ozon oluşumu ve iletim hatlarının çevresinde kompleks nitrojen oksitlerin oluşumu gibi kimyasal ve elektriksel akustik gürültü, radyo ve TV işaretlerinin karışması ve birçok çevresel problemlere de sebep olduğu bilinmektedir [1]. Bunlara karşın koronanın, iletim hatlarında yüksek gerilim dalgalarının dikliğini zayıflatarak ve bozarak, yüksek gerilim cihazlarının korunmasında faydası bulunmaktadır [3].

Korona deşarjı üzerine yapılan deneysel çalışmalar tam- veya indirgenmiş- ölçekli sistemlerde gerçekleştirilmiştir. Tam-lekli deneyler korona davranışı hakkında direkt bilgi verseler de pahalı, zaman alıcı ve bazen de kontrolsüz atmosferik etkilerden dolayı yanlı bilgi elde edilmesine sebep olabilmektedirler. Ayrıca benzer konfigürasyonlardaki sistemlerde alınan ölçümlerin arasında büyük ayrılıklar (farklar) ortaya çıktığından dolayı genellikle bu sonuçlara istatistiksel yaklaşım gerekmektedir. Sistematik istatistiksel çalışmalar ise pahalı ve çoğu zaman gerçekleştirilmesi oldukça zordur. Bu sistemlerden elde edilen verilerin çoğu kurulan bu özel konfigürasyona aittirler. Diğer taraftan indirgenmiş ölçekli modeller, deneysel çalışmalar için daha uygun olup düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilir. Deneysel neticelerden anlaşıldığı gibi, indirgenmiş ölçekli modeller aynı geometrilerin tam-ölçekli halinin birçok karakteristiğini başarıyla tahmin edebilmektedirler [4].

Korona deşarjının başlangıç voltaj ve elektrik alan değerleri çok önemlidir. Örneğin, herhangi bir gaz yalıtkanlı yüksek gerilim cihazının tasarımı bu gerilim seviyesinin altında kalacak şekilde gerçekleştirilir.

Korona deşarjını, iyonizasyon etkisi ile kimyasal bileşenler, enerji kaybına sebep olan ısıma ve benzeri diğer olaylar takip ettiği halde, literatürde araştırmaların çoğunluğu dış bölgedeki iyon hareketliliğindedir.

Mevcut çalışmada, silindirik bir dış elektrodun yüzeyi boyunca doğrusal elektrik alan probu ile koaksiyel ve paraksiyel (off-axis) geometrilerde kullanılacak bir korona deney seti oluşturulmuş, korona başlangıç testleri gerçekleştirilmiştir.

Korona başlangıç voltaj ve elektrik alanı üç tip elektrot sisteminde incelenmiştir. Bunlar ;

- i) Koaksiyel silindir sistemi,
- ii) Paraksiyel silindir sistemi,
- iii) Çubuk düzlem sistemi 'dir.

Mevcut Çalışmanın Temel Amacı

Gelişmiş ülkelerde kullanılan ve hızla geliştirilen Gaz İzoleli Şalt Sahaları, Türkiye’de de uygulanmaya başlanmıştır. Bu yüksek teknoloji güç merkezlerinin avantajları arasında; özellikle kalabalık ve yer problemi olan bölgelerde az yer kaplıyor olmaları, kullanılan alet ve cihazların bu Gaz İzoleli ($\text{SF}_6\text{-N}_2$) ortamlarda daha uzun ömürlü olmaları ve çevre koruması sağlamalarıdır. Bu sistemlerde korona boşalmaları ve kayıpları bu istasyonlardaki malzemelerin tasarımında, kullanımında ve ömürleri üzerinde etkilidirler. Bu deşarjlar sistemin bozulup enerji üretimi ve dağıtımını tümüyle etkilemesine neden olabilmektedirler. Bu kısmi deşarja ait tüm parametreler;

korona başlangıç gerilimi ve elektrik alanı, akım-gerilim bağıntısı, akım yoğunluğu ve elektrik alan dağılımı olup, bu parametrelerin deşarj ortamında bilinmesi gereklidir. Mevcut çalışmada basınç, rutubet ve sıcaklık gibi bazı parametreler laboratuvar ortamında duyarlı ve birbirinden bağımsız olacak şekilde değiştirilmiş, test neticeleri bilgisayar neticeleriyle karşılaştırılmış ve uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Gelecekteki araştırmaların temel konusu, değişik ortamlarda ve basınçlarda özellikle SF_6 - N_2 karışımlarında korona parametrelerinin analizi olacaktır.



2. TEORİK ARAŞTIRMALAR

2.1. Delinme Teorileri

2.1.1. Townsend teorisi

Bir elektronun elektrik alanı doğrultusunda 1 cm'lik yol gitmesi halinde çarparak oluşturduğu iyon çifti sayısına *elektronun iyonlaştırma sayısı* veya katsayısı adı verilir ve α ile gösterilir. Elektronun kinetik enerjisi gaz moleküllerinin iyonizasyon enerjisinden büyük ise iyonizasyon oluşur. Ortalama serbest yolu $\bar{\lambda}$ olan bir elektronun çarpışmadan λ_i yolunu alma olasılığı $\exp(-\lambda_i / \bar{\lambda})$, birim uzunluktaki çarpışma sayısı $1 / \bar{\lambda}$ alındığında ;

$$\alpha = \frac{1}{\bar{\lambda}} e^{-\lambda_i / \bar{\lambda}}$$

$$1 / \bar{\lambda} = A \cdot p, \quad \lambda_i = U_i / E, \quad B = A \cdot U_i$$

$$\alpha = A \cdot p \cdot e^{-B \cdot p / E} \quad (2.1)$$

ifadesi bulunur.

Denklem

$$\frac{\alpha}{p} = A \cdot e^{-B / (E / p)} \quad (2.2)$$

biçiminde yazılabilir.

Eş. 2.2 'α' iyonlaştırma sayısının alan şiddetine göre değişimini ifade etmektedir. Burada p gaz basıncı, A ve B ise gazın cinsine ve sıcaklığına bağlı sabitlerdir.

Birim zamanda katodun 1 cm^2 ' lik yüzeyinden n tane elektron çıktığını varsayalım. Bir elektrik alanının etkisi altında elektronlar çarpma suretiyle iyonizasyona sebep olurlar ve zamanla elektron sayısında oluşan bu artışa *elektron çığı* denir. Katotdan başlayarak x uzunluğundaki bir elektron çığında elektron sayısı

$$n_x = n_0 \cdot e^{\alpha \cdot x} \quad (2.3)$$

olup, anotdaki $x=a$ da elektron sayısı da,

$$n_a = n_0 \cdot e^{\alpha \cdot a} \quad (2.4)$$

olur. Katodu terk eden her elektron ,anoda vardığında $e^{\alpha a}$ adet elektron ve $(e^{\alpha a} - 1)$ adet pozitif iyon oluşur. Kararlı halde birim zamanda anoda varan pozitif iyon sayısı, anoda ulaşan elektron sayısına eşittir ve elektrotlar arasında akan akım,

$$I = I_0 \cdot e^{\alpha \cdot a} \quad (2.5)$$

biçiminde bulunur.

I_0 : Başlangıç anında katotdaki foto elektrik akımıdır.

Bir pozitif iyon tarafından katotdan koparılan elektron sayısını γ ile gösterelim. Eğer $(e^{\alpha a} - 1)$ adet pozitif iyon katoda ulaştığında 1 adet elektron koparıyorsa, boşalmanın kendi kendini beslediği söylenir.

$$\gamma \cdot (e^{\alpha \cdot a} - 1) = 1 \quad (2.6)$$

eşitliğinin sağlanması halinde boşalma kendi kendini besler ve elektrotlar arasındaki bu gerilim değerine *boşalma gerilimi* denir.

Pozitif iyonların katot yüzeyinden kopardığı elektron sayısı gözönüne alındığında başlangıçtaki elektron sayısı Δn kadar artarak, $n_k = n_0 + \Delta n$ olur.

Kararlı halde elektrotlar arasından akan akım,

$$I = \frac{I_0 e^{\alpha a}}{1 - \gamma(e^{\alpha a} - 1)} \quad (2.7)$$

biçiminde ifade edilir.

Eş. 2.7, delinme olayından önce, elektrotlar arasından geçen akımın büyümesini göstermektedir. $1 - \gamma(e^{\alpha a} - 1) = 0$ şartı sağlandığında, boşalma kendi kendini besler. Elektrotlar arasındaki I akımı aniden yükselerek, sadece güç kaynağının iç direnci ve iletim halindeki gazın direnci ile sınırlanan değere ulaştığında elektrotlar arasındaki gaz delinir.

Böylece, boşalmanın kendi kendini beslemesi veya Townsend delinme koşulu şu şekilde yazılır.

$$\alpha a = \ln(1 + 1/\gamma) \quad (2.8)$$

Düzgün olmayan alanda boşalmanın kendi kendini besleme şartı ,

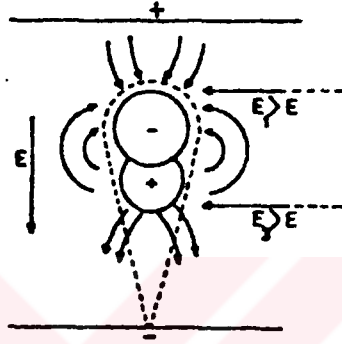
$$\int_{x=0}^{x=a} \alpha dx = \ln(1 + 1/\gamma) \quad x=0 \text{ katod, } x=a \text{ anod} \quad (2.9)$$

biçimini alır [1,5,6,7].

2.1.2. Kanal delinme teorisi

Bu teoriye göre, katotdan itibaren başlayan bir tek elektron çığı yol boyunca gelişerek uzay yükünün etkisiyle önce ısıtılı ince bir plazma biçimini alır,

sonra da iletkenliğin artmasıyla çığın anoda ulaşması sonucunda gazın delinmesine sebep olur. Boşalmanın kendi kendini beslemesinde çarpma suretiyle iyonizasyondan başka, foto ve termik iyonizasyon olayları da önemli rol oynarlar. Çığın uç kısmında biriken uzay yükleri dış elektrik alanına etki ederek bozulmasına sebep olurlar (Şekil 2.1).



Şekil 2.1.Uzay yükünün dış elektrik alanına etkisi

Pozitif iyonların kendilerine göre çok hızlı hareket eden elektronların yanında durdukları varsayılırsa, elektron çığının arkasında pozitif iyonlardan meydana gelen uzay yükünü bırakarak anoda doğru geliştiği söylenebilir. Çığın arkasındaki ve önündeki elektrik alanının uzay yükleri tarafından kuvvetlendirilmiş olur.

Pozitif iyonlar tarafından çığın başında oluşturulan E_r radyal elektrik alan şiddeti dış alan şiddetine yaklaştığında boşalmanın çığ safhasından kanal safhasına geçtiği söylenebilir. Uzay yüklerinin oluşturduğu E_r alan şiddetini hesaplamak için toplam yükleri Q olan uzay yüklerinin çığın başında r yarıçaplı kürenin merkezinde bulundukları varsayılırsa, küre yüzeyindeki E_r alan şiddeti ,

$$E_r = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2} \quad (2.10)$$

pozitif iyonların toplam yükü ,

$$Q = \frac{4}{3}\pi r^3 N_i q \quad (2.11)$$

iyon yoğunluğu ,

$$N_i = \frac{\alpha e^{\alpha x} dx}{\pi r^2 dx} = \frac{\alpha e^{\alpha x}}{\pi r^2} \quad (2.12)$$

olup, Eş. 2.10'da yerine koyarsak ,

$$E_r = \frac{q\alpha e^{\alpha x}}{3\pi\epsilon r} \quad (2.13)$$

bağıntısı bulunur. Difüzyon teorisine göre, çığın yayılma süresi $t=x/v$
 $r = \sqrt{2Dt}$ alındığında, hava için

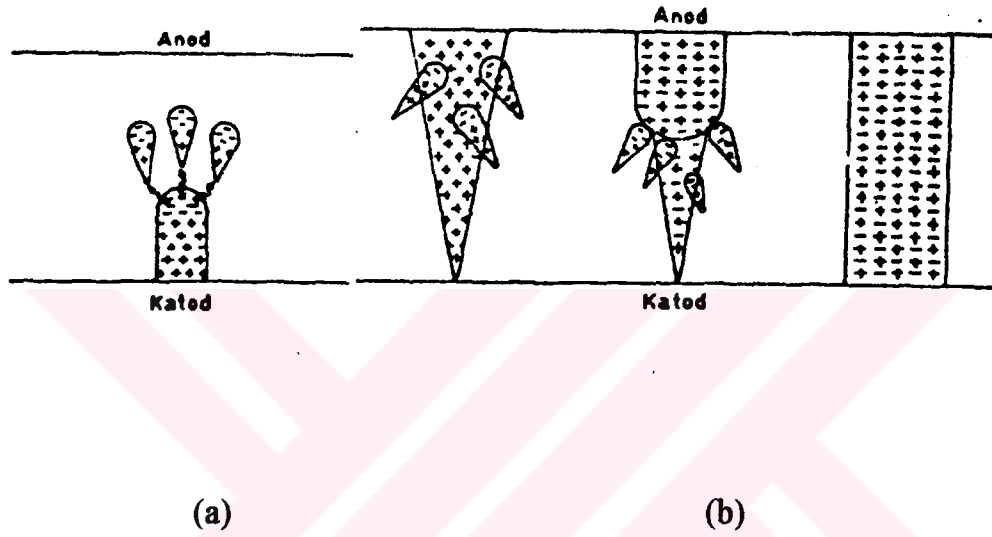
$$E_r \cong 5,27 \cdot 10^{-7} \frac{\alpha e^{\alpha x}}{\sqrt{x/p}} \quad (2.14)$$

elde edilir. Burada x çığ uzunluğu , p gaz basıncıdır. Düzgün alanda , katot kanalının oluşumu için gerekli şart $E_r \cong E$ şeklinde ifade edilmiştir [1,7]. Anot kanalı için ise benzer bir kriter aşağıdaki gibi belirtilmiştir [5,6] ;

$$E_r \cong 1,9 \cdot 10^{-19} \frac{e^{\alpha x}}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (2.15)$$

Kanal boşalmasının gelişebilmesi için uzay yüklerinin neden olduğu elektrik alanının yaklaşık olarak elektrotlara uygulanan alan şiddetine eşit olmalıdır. Elektron çığındaki $e^{\alpha x}$ tane elektron yaklaşık olarak 10^8 kritik değerine

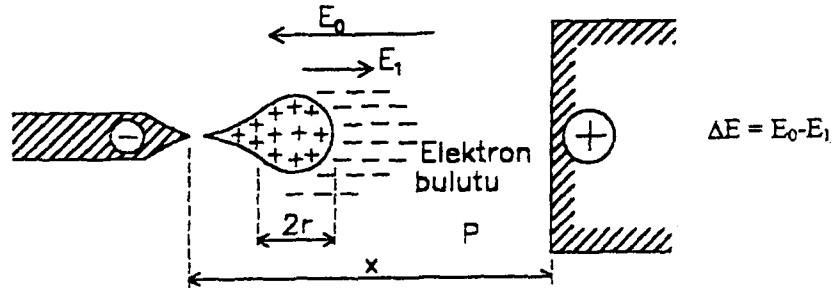
ulaştığında uzay yükünün sebep olduğu kanal boşalması anoda doğru yayılır (Şekil 2.2) .



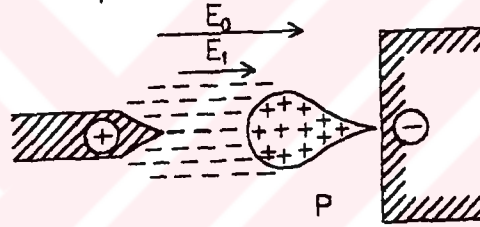
Şekil 2.2. a)Anot kanalı b)Katot kanalı

Elektrotlar arasındaki ortalama alan şiddetinin maksimum alan şiddetinden farklı olduğu ve elektrotların polaritesinin delinme gerilimini etkilediği alanlara *düzgün olmayan alan* denir. Pratikte sivri uç-düzlem (nokta-düzlem), hat-düzlem veya çubuk-düzlem elektrot sistemleri kullanılarak düzgün olmayan bir alan elde edilir.

Sivri uçlu elektrotun negatif olması durumunda ilk elektron çıkışı katotdan başlar ve buradan itibaren alan doğrultusunda büyür (Şekil 2.3).



a)



b)

Şekil 2.3. a) Negatif kutuplu sivri uç b) Pozitif kutuplu sivri uç

Bu sırada çığ başının arka tarafında kalan pozitif yükler alanı katot doğrultusunda kuvvetlendirir ve anot doğrultusunda zayıflatır. Böylece iyonizasyon bölgesi katota kayar ve kanalın gelişmesi zorlaşır.

Boşalmanın başlayabilmesi için elektrotlara uygulanan geriliminin artması gerekir. Gerilim arttığında, pozitif yükler alanı anot doğrultusunda çok fazla

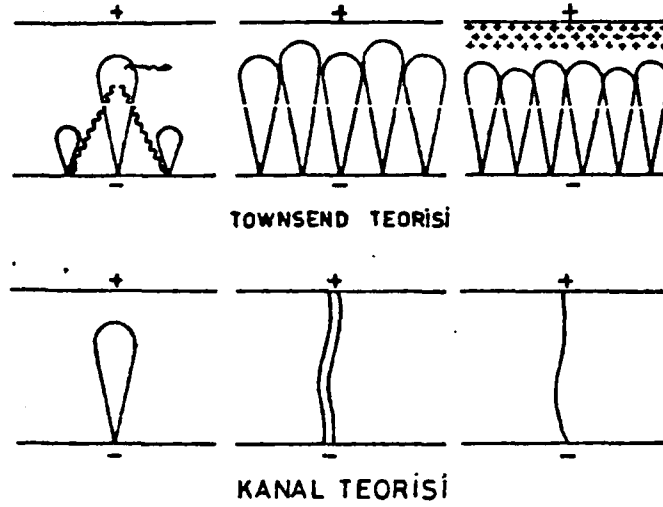
zayıflatmazlar. Oluşan kanal katotun anoda doğru yaklaşmasına sebep olur. Kanalin arka tarafındaki ucunda alan şiddeti tekrar büyür ve buradan başlayarak katoda doğru yayılan yeni bir elektron çığı oluşur. Oluşan çığ belirli bir yolu aldıktan sonra ikinci bir kanalın meydana gelmesi için gerekli şartlar sağlanmış olur. İkinci kanal, ikinci çığın başından birinci kanalın anot ucuna kadar uzanır. Böylece her iki elektron çığının kapladığı uzay plazma ile dolar ve katot anoda doğru çok yaklaşmış olur. Bu olay çığın başındaki elektronlar anoda ulaşınca kadar kendi kendine sürer.

Sivri uçlu elektrotun pozitif olması durumunda boşalmanın gelişmesi farklılık gösterir (Şekil 2.3). İlk elektron çığı anotdan belirli bir uzaklıkta oluşur ve elektronlar anoda doğru giderken pozitif iyonlar katoda doğru hareket eden bir kanalın oluşmasını kolaylaştırırlar. İlk çığın pozitif yükleri, alan şiddetinin büyük olduğu bölgeyi içe doğru genişleterek yeni elektron çığlarının meydana gelmesine sebep olurlar. Kanalin sivri uç anotdan itibaren gelişmesi ani değilde sürekli ve hızlı bir biçimde olduğunda, negatif sivri uç durumuna oranla daha küçük bir gerilim yeterli olur. İletken kanal sivri ucun polaritesine bağlı olarak değişik biçimde oluşmasına rağmen, sonuç değişmez. Plazma ile dolu olan iletken kanal karşı elektroda doğru yaklaşır iletken kanal elektrotlar arasındaki boşalma yolunu kapladığı anda, elektrotlara uygulanan gerilim düşer. [1,5,6,7]

Özet olarak bir gaz boşalmasının üç ana evresi ;

- i) Çığ evresi (başlangıçta oluşan serbest elektronların ortaya çıkma evresi),
- ii) Plazma ve kanal oluşum evresi,
- iii) Ana boşalma evresidir.

Townsend ve kanal delinme teorileri Şekil 2.4 karşılaştırılmıştır.



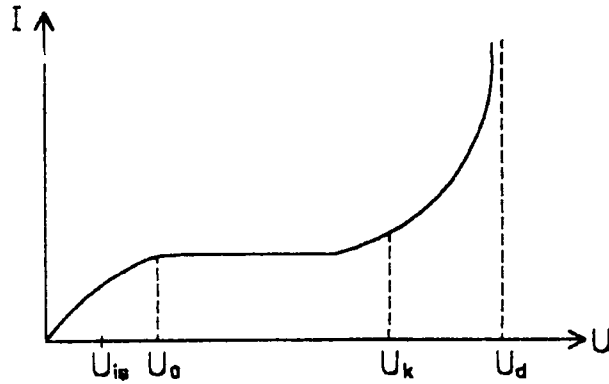
Şekil 2.4. Raether'e göre Townsend ve Kanal teorilerinin kıyaslanması [1]

Birinci şekil Townsend ' e göre katotdan itibaren başlayarak çoğalan elektron çığlarının anoda ulaşmalarını, ikinci şekil ise Kanal Teorisi'ne göre katotdan başlayan bir tek elektron çığının gelişerek elektrotlar arasında iletken bir kanala dönüşmesini göstermektedir.

2.2. Korona Deşarjı

Korona deşarjı, yüksek gerilim altındaki elektrodun çevresindeki gaz ortamın iyonizasyonu neticesinde oluşan ve ortama uzay yükü enjeksiyonuyla ortaya çıkan bir kısmi deşarjdır.

Korona boşalmasına ait Akım-Gerilim değişimi Şekil 2.5'deki gibidir.



Şekil 2.5. Korona ve delinme gerilimi [8]

$U_{i\phi}$:İşletme gerilimi

U_0 :Çarpma suretiyle oluşan boşalmanın başladığı andaki gerilimi

U_k :Korona gerilimi

U_D :Delinme gerilimi

İletkene uygulanan gerilim yavaş yavaş yükseltilecek olursa U_0 gibi bir gerilim değerinde çarpma suretiyle iyonizasyon başlar. Bu boşalma ışıklı olmadığı için görünmez. Bu durum yaklaşık olarak normal hava koşullarında 29.8 kV/cm civarında bir elektriksel alan şiddetinde ortaya çıkar. Gerilim daha arttırılacak olursa boşalmanın ışıklı hale geldiği ve hattın etrafında ışıklı bir zar oluştuğu görülür. U_k geriliminden daha fazla bir gerilim uygulandığında bu sefer tam boşalma devresine girilmiş olur. Yani elektriksel delinme ortaya çıkar.

2.2.1. Korona gerilimi U_k 'ya etki eden faktörler

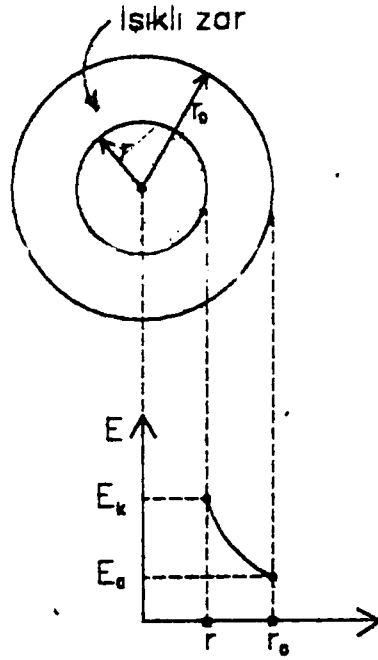
Bunlar; eğrilik yarıçapı, iletim hatları arası açıklık, iletim hatlarının yüzeylerinin pürüzlülük durumu ve sıcaklık, nem, basınç gibi hava koşullarıdır. Korona geriliminin ampirik olarak ifadesi;

$$U_k = U_0 \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0.3}{\sqrt{r \cdot \delta}} \right) \quad (2.16)$$

$$E_k = E_0 \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0.3}{\sqrt{r \cdot \delta}} \right) \quad (2.17)$$

ile ifade edilir [8].

Normal hava ortamında $E_0=29.8$ KV/cm olup etkin değeri $E_{0(et)}=29,8/\sqrt{2}=21,1$ kV/cm 'dir [8]. Bağıntılarda (δ) bağıl hava katsayısı $\delta = 0,386 \cdot (P/273 + t)$, (r) iletim hattının cm olarak yarıçapını göstermektedir. Bu bağıntılar F.W. Peek tarafından verilmektedir [8]. Şekil 2.6'de bir iletkenin etrafındaki ışıklı zar (iyonizasyon bölgesi) gösterilmektedir.



Şekil 2.6. İyonizasyon bölgesi ve elektrik alan profili

$a = r_0 - r$; zar kalınlığı ve

$$E_k = \frac{q}{2\pi \cdot \epsilon \cdot r} \quad , \quad E_0 = \frac{q}{2\pi \cdot \epsilon \cdot r_0} \quad (2.18)$$

bağıntılarından

$$E_k \cdot r = E_0 \cdot r_0$$

ve

$$a = r_0 - r = r \left(\frac{r_0}{r} - 1 \right)$$

elde edilir. Bu iki bağıntı ve Eş. 2.17' den

$$a = r \left(\frac{E_k}{E_0} - 1 \right) = r \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0,3}{\sqrt{r \cdot \delta}} \right) - r \quad (2.19)$$

Normal hava koşullarında $\delta=1$ olduğu için iyonizasyon bölgesi kalınlığı

$$a = 0,3 \cdot \sqrt{r} \quad (2.20)$$

olarak iletken yarıçapına bağlı olarak bulunur.

E_k (kritik alan şiddeti) ve U_k (kritik korona gerilimi) teorik olarak,

$$E_k = E_{\max} = \frac{U}{2r \cdot \ln(a/r)} \quad (2.21)$$

$$U = U_k = E_k \cdot 2r \cdot \ln(a/r) \quad (2.22)$$

formüllerinden hesaplanmasına rağmen ampirik olarak

$$E_k = E_o \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0,3}{\sqrt{r\delta}} \right)$$

yi Eş. 2.22' de yerine koyarak korona gerilimi,

$$U_k = E_o \cdot \delta \cdot 2r \cdot \left(1 + \frac{0,3}{\sqrt{r\delta}} \right) \cdot \ln(a/r) \quad (2.23)$$

olur.

Korona deşarjı yüksek gerilim altındaki elektrodun çevresindeki gaz ortamın iyonizasyonu neticesinde oluşur ve ortama uzay yükü enjeksiyonuyla ortaya çıkar. Silindiriksel geometrilerde, yüklü iletken (anot) üzerindeki gerilim gradiyenti maksimumdur ve yüklü iletkeniden uzaklaştıkça logaritmik olarak azalır. İletkene uygulanan gerilim arttıkça gerilim gradiyenti de o oranda artar. Belli bir gerilim değeriinden sonra iletkenin çevresindeki havanın yalıtımı kırılır ve iyonize iletim ortamı haline gelir. Uzay yükleri bu iyonize iletim ortamında oluşurlar. Bunlar, özellikle doğrusal olmayan sistem konfigürasyonlarında, hesaplama ve ölçüm zorluklarına yol açacak şekilde Laplas elektrik alan dağılımını değıştirirler.

Korona yapısının tam bir çözümü, uygulanan gerilim ile korona akımı, elektrik alanı, uzay yük yoğunluğu dağılımı ve akım yoğunlukları arasındaki ilişkiyi kapsamalıdır. Korona deşarj etkisinin fiziksel mekanizmasını ve elektrot aralığındaki dağılımını etkileyen ana faktörler polarite (pozitif parıldama ve negatif trichel darbeleri), sistem konfigürasyonu, iletken boyutları, atmosfer şartları, iletken tipi, yüzey pürüzlülüğüdür.

Farklı polaritede uygulanan gerilimler altındaki iletkenlerdeki korona deşarjının görüntüleri arasında büyük farklar vardır. Pozitif gerilim altında, korona, iletkenin tüm yüzeyinde mavimsi-beyaz zar olarak görülür. Negatif gerilim altındaki iletkenlerde ise, korona iletken üzerinde dağılmış kırmızı parıldayan benekler şeklindedir. Pozitif ve negatif korona deşarjının mekanizması birbirinden farklı olduğu halde, korona deşarjı her iki halde de diğer bütün şartlar aynı kalmak üzere aşağı yukarı aynı elektrik alan şiddetinde oluşur. Negatif korona deşarjında elektronlar çarpma suretiyle iyonizasyon bölgesinden dışarı doğru hareket ederler ve negatif iyon üretirler. Pozitif iyonlar ise daha küçük bir hızla elektroda doğru gelirler ve burada nötrale olurlar. Pozitif korona deşarjında ise, pozitif iyonlar çarpma suretiyle iyonizasyon bölgesinden uzaklaşırlar, elektronlar ise hızla elektroda varırlar.

Her iki polarite halinde gerilim daha fazla yükseltirse, elektrot yüzeyindeki iyonizasyonun muhafazası için gerekli alan şiddeti sabit kaldığı halde iyonizasyon dışındaki bölgede uzay yükü miktarı artar. Bir iletkene uygulanan ve korona başlangıç geriliminden yüksek olan gerilimlerde, iletken yüzeyinde kritik bir alan şiddeti (E_{kr}) oluşur. Kritik alan şiddeti elektrostatiğin kanunlarına göre U_{kr} gerilimiyle Q_{kr} yük miktarını oluşturur. Bu sırada iyonizasyon bölgesi dışında Q_a uzay yükü üretilir. Buradaki gerilim (U), iyonizasyon bölgesi dışındaki gerilim (U_a) ile iletkendeki kritik gerilimi (U_{kr}) nin toplamına eşittir. Uzay yükünün elektrikli parçacıkları, iletkeniden uzaklaşacak şekilde hareket ettiklerinden ve korona deşarjına ait I_{kr} akımı aktığından, kararlı durumda çarpma suretiyle iyonizasyon bölgesinden uzaklaşan elektrikli parçacıkların yerine devamlı olarak yenilerinin gelmesi gerekir. I_{kr} akımı ve iletkene uygulanan U gerilimi $N = I_{kr} \cdot U$ güç kaybını verir. İyonize olmuş bölgenin küçüklüğü dolayısıyla, bu bölgedeki gerilim düşümü toplam U gerilimi yanında çok küçüktür [9,10].

Doğru gerilim gibi alternatif gerilimde de benzer görünüşler mevcuttur [6]. Alternatif gerilimde hatların yakınındaki insanlar ve nesneler üzerindeki elektriksel indükleme etkisi iletkenlerdeki korona iyonlarının yere akış etkisine göre daha önemlidir. Asıl bu indükleme kapasitif kuplajlama tarafından oluşturulur. Diğer taraftan, gerilimin sabit doğasından dolayı, kapasitif kuplajlama etkileri dc hatlarda hemen hemen yoktur [11].

Elektrot yüzeyinin durumu, korona deşarjın başlangıç safhası için önemli bir rol oynar. Yüzey pürüzlülük faktörü m ile gösterilir. Yüzey pürüzlülük katsayıları Çizelge 2.1 de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı pratik hesaplamalarda kullanılan yüzey pürüzlülük katsayıları

Yüzey Durumu	m
Parlatılmış Yüzey	1
Düz ve yeni yüzey	0,93 - 0,98
Uzun süre hava içinde kalmış yüzey	0,88 - 0,93
Örgülü eski iletken	0,87 - 0,88
Örgülü eski Alüminyum iletken	0,9

Elektrot yüzeyindeki kirler ve pürüzler kararlı bir karaktere sahip olmamakla beraber zayıf ve yer yer meydana gelen öndeşarjların kaynağını teşkil ederler. Başlangıç safhasında budeşarjlar kendi kendilerini besleyemezler, yani dış kaynaklı iyonlaştırıcıya bağlıdırlar. Yer yer meydana gelen bu gibideşarjların oluşturduğu akımlar küçük ve kesiklidir. Bununla beraber yeter derecede uzun bir iletken bu gibi akımlar toplanarak az veya çok kararlı bir korona kaybına neden olurlar. Bu şartlarda, başlangıç alan şiddetini veya başlangıç gerilimini tayin etmek zordur. Ancak iyi parlatılmış ve temiz elektrotlarda, alanın şekli, gazın cinsi ve yoğunluğu, rutubet gibi etkenler için belirli ve sabit değerler alınarak, koronadeşarjının başladığı başlangıç veya kritik gerilimden bahsedilebilir. Gerilim yavaş yavaş yükselmeye devam ederse, akım çok küçük değerlerden, ölçülebilecek değerlere sıçar. Bu arada iletken de ışıklı bir zarla örtülür ve gürültüler (cızırtılar) işitilir. Gerilim daha da yükseltirse akım çok hızlı artar ve ışık belirtileri kuvvetlenir, demet şeklindeki öndeşarjlar ve kıvılcımlar oluşur. Sonucunda akımın esas itibarıyla uygulanan gerilim ve güç kaynağının iç direnciyle belirlenen tamdeşarj olayı gerçekleşir.

Pratik uygulamalarda korona modellemesinin kompleks yapısından dolayı birçok kez ampirik çözüm metotları araştırmacılarca sıkça kullanılmıştır. Ampirik gösterimler elektrottaki korona başlangıç alan şiddeti ile voltajının tahmini ve korona akımının gerilimle değişiminin (I-V karakteristiği) analizi

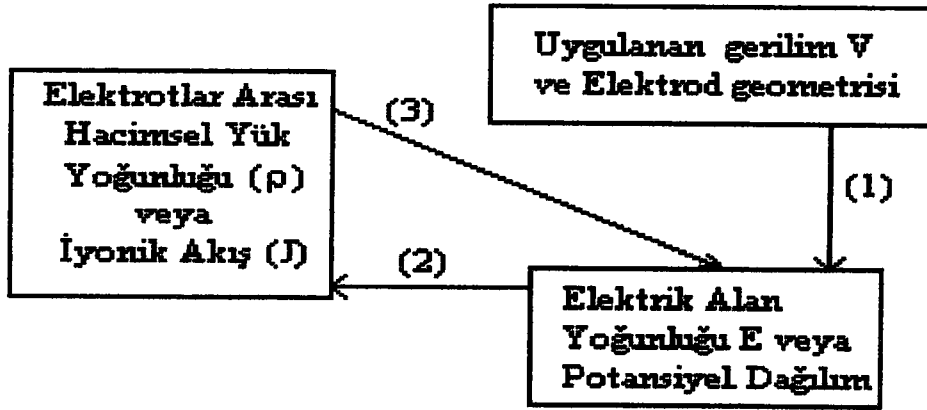
için kullanılmışlardır. Korona akım yoğunluğu ve elektrik alanın aralıktaki dağılımı birbirinden bağımsız değildirler. Her ikisi de uzay yük yoğunluğunun aralıktaki değişimine bağlıdır. Paraksiyel geometriler için maksimum değerlere göre normalize edilmiş elektrik alanı ($\bar{E} = E/E_{\max}$) ile akım yoğunluğu ($\bar{J} = J/J_{\max}$) arasındaki bağıntıların aşağıdaki biçimde olduğu görülmüştür.

$$\bar{J} = \bar{E}^n \quad (2.24)$$

burada paraksiyel geometri için $n=2.5-3$ arasında bulunmuştur. Bu değerlerin diğer geometrilerle karşılaştırılması literatürde mevcuttur [12,13].

2.2.2. DC korona modellemesi

Uygulanan gerilim korona başlangıç değerini aştığında, dc korona aktif elektrottan uzağa doğru tek yönlü kararlı iyon akışı, iyonizasyon katmanından sonraki boşlukta kendini gösterir. Bu iyonların polaritesi iletkenle aynıdır. Bölgesel elektrik alan altındaki bu iyonik uzay yüklerinin sürüklenmesi elektrot geometrisi ve boşluğa dağılmış tüm yüklerin etkisinin süperpozisyonu sonucudur. Bu durumun neticesinde Şekil 2.7' de görülen alan (veya gerilim) ile hacimsel yük yoğunluğu arasındaki karşılıklı ilişki verilebilir. Elektrik alan ve uzay yükleri arasındaki bu karşılıklı etkileşim kompleks konfigürasyonlar için analitik çözümleri zor, doğrusal olmayan diferansiyel eşitlikler tarafından tanımlanır.



Şekil 2.7. V, E, ρ ve J arasındaki ilişki grafiği

Havadaki tek polariteli dc koronanın matematiksel modeli:

Korona boşamasının başlaması neticesinde meydana gelen uzay yükü (ρ) Laplas denklemini değiştirir ve tek kutuplu korona deşarjını ifade eden denklemler aşağıdaki biçimde yazılır. Elektrik alanın diverjansının yük yoğunluğu ile ilgisi;

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (\text{Poisson denklemini}) \quad (2.25)$$

'dir. Burada (ϵ_0) serbest uzayın dielektrik katsayısıdır. Akımın sürekliliğinden;

$$\nabla \cdot J = 0 \quad (\text{Akımın sürekliliği denklemini}) \quad (2.26)$$

'dir. Akım yoğunluğu ise elektrik alan cinsinden;

$$J = \rho \mu E \quad (2.27)$$

'dir. Burada μ iyonların ortalama hareketliliğidir. Elektrik alanı ise potansiyel cinsinden

$$E = -\nabla\phi \quad (2.28)$$

biçiminde olup, bu denklemlerin kombinasyonu ise ,

$$\nabla \cdot (\nabla\phi \nabla^2\phi) = 0 \quad (2.29)$$

olarak ifade edilir. Bu diferansiyel denklem, basit sistemler haricinde analitik olarak çözülemez.

Eş. 2.29' u çözmek için genellikle iki grup basitleştirici varsayım kullanılır. 1. grup genelde daha az öneme sahip varsayımları içerir. Mesela uzay yükü polaritesi, bunların mobilitesi, iyonizasyon bölgesi kalınlığı ve atmosferik şartlar ve difüzyon gibi faktörlerin etkisi bu grupta sayılabilir. Fakat 2. grup, korona aktivitesi esnasındaki uzay yük etkisi ve iletkenin yüzeyindeki alanla ilişkili daha hayati önem taşıyan varsayımları içerir. Sıkça kullanılan üç varsayım Deutsch, Townsend ve Kaptzov' un yaklaşımlarıdır [14].

Deutsch yaklaşımına göre koronanın enjekte ettiği uzay yükleri elektrik alanın yönünü değil sadece değerini değiştirir. Bu yaklaşım ilk defa, hat-düzlem sisteminde dc iyonize alan problemini çözmek için Deutsch tarafından 1933' te ortaya atılmıştır [10]. Bu yaklaşım koaksiyel silindir gibi simetrik konfigürasyonlarda ve elektrotlar arasındaki uzay yük yoğunluğunun az olduğu homojen olmayan durumlarda geçerli varsayılabilir. Avantajı iki boyutlu iyonize problemine tek boyutta inceleyebilme imkanı vermesidir.

Townsend ve Kaptzov yaklaşımları ise korona esnasındaki aktif elektrot üzerindeki elektrik alan dağılımı ile ilişkilidir. Townsend yaklaşımına göre uygulanan gerilimden bağımsız olarak, maksimum elektrik alan değeri korona elektrotu üzerinde her yerde korona başlangıç değerine eşittir. Kaptzov yaklaşımında ise elektrik alanının aktif elektrotta korona başlangıcındaki

($V=V_i$) değerlerindeki Laplas profiline eşit olduğunu belirtilmiştir. Bu yaklaşımlar birçok yazar tarafından doğrusal olmayan korona denklemini çözebilmek için kullanılmıştır. Townsend ve Kaptzov varsayımlarının doğruluğu korona aktiviteleri esnasında aktif elektrot üzerindeki elektrik alan değerleri ölülebilmesiyle test edilmiştir [11].

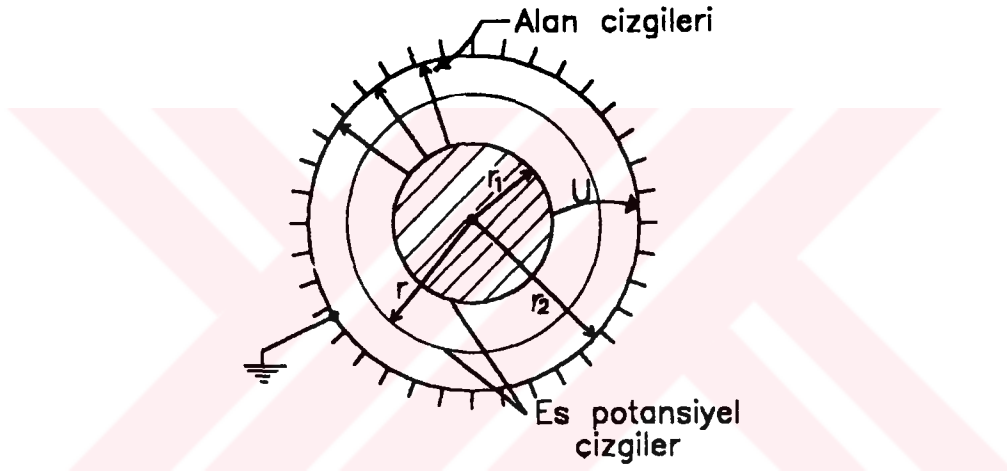


3. KORONA DEŞARJI PARAMETRELERİ

3.1. Elektrot Sistemleri

3.1.1. Koaksiyel silindir elektrot sistemi

Bu geometride, elektrik alanının analitik çözümü mümkün olduğundan, literatürde sıkça kullanılan bir konfigürasyon olmuştur. Silindirik koordinat sisteminde tek boyutlu formülasyon ile ifade edilebilecek simetriye sahip bir geometridir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Koaksiyel silindir elektrot sistemi

Uzunluğu ℓ ile göstereceğimiz bu elektrot sisteminde silindirik simetriden dolayı, alan radyal yönde değişir. Şekil 3.1 deki gibi r yarıçaplı bir silindir alacak olursak Gauss teoreminden,

$$(2\pi r.\ell)D = Q \quad (3.1)$$

yazabiliriz . Buradan, alan şiddeti ve uygulanan gerilim

$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon\ell} \cdot \frac{1}{r} \quad (3.2)$$

$$U = \int_{r_1}^{r_2} E \cdot dr = \frac{Q}{2\pi\epsilon\ell} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (3.3)$$

Bu iki bağıntıdan sırasıyla alan şiddeti, potansiyel ve kapasite

$$E = \frac{1}{\ln(r_2/r_1)} \cdot \frac{U}{r} \quad (3.4)$$

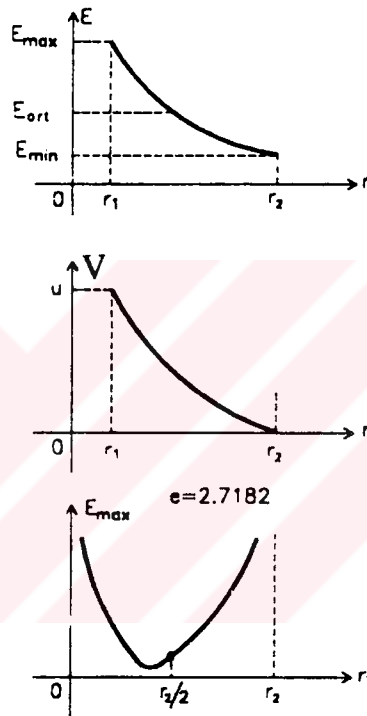
$$V = U \cdot \frac{\ln(r_2/r)}{\ln(r_2/r_1)} \quad (3.5)$$

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{2\pi\epsilon\ell}{\ln(r_2/r_1)} \quad (3.6)$$

olarak bulunur. Şekil 3.1' de ortalama alan şiddeti,

$$E_{ort} = \frac{U}{r_2 - r_1} \quad (3.7)$$

olmak üzere E ve V ' nin sabit bir U için r ' ye göre değişimleri ile E_{max} ' ın r_2 ' ye göre değişimleri Şekil 3.2'de verilmektedir.



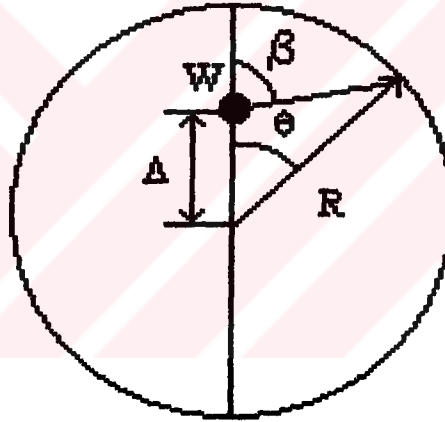
Şekil 3.2. E, V ve E_{max} 'ın değişimi [1]

Deneysel olarak ilk kullanılan geometri nokta-düzlem ise de Walburg 1899, bilimsel temelli korona çalışmalarına, teorik olarak en çok hizmet edeni koaksiyel silindir sistemidir [16]. Ancak, elektrotlar arası genişliğin korona deşarjına etkisi, nokta veya hat-düzlem geometrilerindeki kadar kolaylıkla araştırılamadığından dolayı limitli bir geometridir.

3.1.2. Paraksiyel silindir elektrot sistemi

Kabloların analizinde istenilmeyen durum olarak belirtilse de, korona çalışmalarında daha önce kullanılmayan bir sistem olup, avantajları şöyle sıralanabilir [17];

- 1) Paraksiyel sistemde iki boyutlu elektrik alanı düzgün-değildir, ancak elektrotlar arası bölgenin her noktasında hesaplanabilir.
- 2) Alan dağılımının kontrolü basitçe Δ eksenel yer değişimi ile elde edilir (Şekil 3.3).



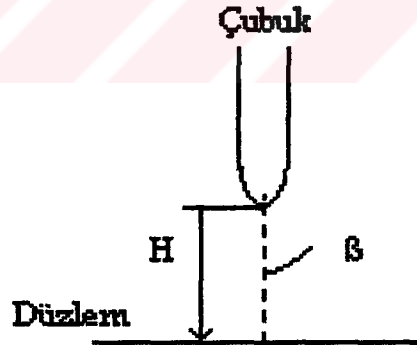
Şekil 3.3. Paraksiyel silindir elektrot sistemi

- 3) $\Delta=0$ değerinde sistem koaksiyel silindir geometrisindedir. $\Delta \rightarrow R$ yaklaşık olarak önemli pratik konfigürasyon hat-düzlem elde edilir.

- 4) Alanın düzgün olmama (nonuniformity) seviyesi $E_{\max}/E_{\min}$ parametreleri ile ifade edilebilir.
- 5) Korona şartları altında sınır şartları kompleks değildir dolayısıyla paraksiyel sistem nümerik elektrik alan hesaplamaları için oldukça uygundur.
- 6) Akım yoğunluğu ve elektrik alan profilleri dış silindir üzerindeki ölçüm probunun basitçe döndürülmesi ile elde edilebilir.

3.1.3. Çubuk-düzlem elektrot sistemi

Çubuk-düzlem sistemi korona analizinde ilk kullanılan geometrilerden birisidir [16]. Bu sistemi oluşturmak oldukça kolaydır ve tek kaynaklı koronayı iyi temsil ettiğinden literatürde sıkça kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Çubuk-düzlem elektrot sistemi

Aktif elektrotun uç kısmının yarıçapı değiştirilerek değişik derecelerdeki elektriksel alan değişimi sağlanabilir [1].

Bu geometride elektrostatik alan dağılımı genellikle analitik olarak hesaplanamaz ve dolayısı ile nümerik metotlara ihtiyaç duyulur. Çubuk-düzlem elektrot geometrileri arasındaki fark, çubuk elektrodunun şeklinden ortaya çıkmaktadır.

3.2. Korona Parametreleri

3.2.1. Korona başlangıç gerilimi ölçümü ve hesabı

Korona deşarjı başlangıcı elektrot aralığında ani akım artışı ile koronanın optik ve akustik etkilerinin ortaya çıkışıdır. Bu olayların ilk tespit edildiği gerilime korona başlangıç gerilimi (inception, onset voltage) denir. Korona başlangıç gerilimi, kararlı bir akım oluştuğu zamanki gerilim olarak da kabul edilir. Şiddeti genellikle 10^{-6} ve 10^{-7} A civarındadır.

Bir koaksiyel silindir sisteminde korona başlangıcı Laplas elektrik alanının korona teli etrafında radyal dağılımından dolayı simetrik olarak yer alır. Bundan dolayı başlangıç gerilimi öncelikle korona tel kesitine bağlıdır. Bir nokta-düzlem sisteminde korona Laplas alanının daha ıraksak (divergent) olduğu yerde başlar ve değişimi elektrodun uç şeklinin ve elektrot aralığının fonksiyonudur. Paraksiyel sistem durumunda, Laplas alan dağılımı tel üzerinde düzgün değildir ve korona başlangıç değeri tel kesitine ve Δ eksenel yer değişimine (off-axis) bağlıdır.

Yapılan deneylerden E_{kr} kritik elektrik alan şiddetinin polariteye çok az bağlı

olduğu tesbit edilmiştir. Polaritenin negatif olması halinde, pürüzsüz iletkenlerde E alan şiddeti biraz daha yüksektir. Böylece pozitif polaritedeki elektrik alan şiddetine göre fark, sıkça kullanılan iletken çapları için (1-5 cm) oldukça küçüktür ve birçok kez teorik araştırmalarda önemsenmemiştir [18].

Korona deşarjı başlama gerilimi ve kritik elektrik alan şiddetinin hesabı için çeşitli araştırmacılar tarafından sunulan değişik ampirik formüller birbirlerine oldukça yakındırlar [14]. Çoğunda sadece katsayılar farklıdır. Peek' e göre R yarıçaplı bir dış silindir içinde bulunan, eş eksenli ve r yarıçaplı bir iletkenenden meydana gelmiş koaksiyel silindir sistemi için kritik elektrik alan şiddeti;

$$E_{kr} = 31.\delta \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{r_0.\delta}} \right) \quad (3.8)$$

olarak bulunmuştur [8]. Burada δ ; 760 torr ve 25 °C ye göre hesaplanmış bağıl hava yoğunluğudur. Aktif iletken ve bir nötr yüzey arasındaki kritik alan şiddetine karşılık gelen U kritik gerilimi, elektrostatikten bilinen bağıntılar yardımıyla bulunur;

$$U_{kr} = E_{kr} r_0 \cdot \ln \frac{R}{r_0} \quad (\text{Eş eksenli silindir}) \quad (3.9)$$

3.2.2. Korona kayıp (I/V) karakteristik ölçümü ve hesabı

Akım üç bileşene sahiptir; yer değiştirme akımı (displacement current), iletim akımı (conduction current) ve konveksiyon akımı (convection current). Yer değiştirme akımı elektrot aralığı kapasitansı ve değişken elektrik alanı ile bağıntılıdır. İletim akımı, elektrik alan yönünde yüklerin hareketi sonucu oluşur. Yüklerin hızı, hareketliliği ve alan şiddetiyle orantılıdır. Konveksiyon akımı elektriksel olarak yüklenmiş parçacıkların taşınması sonucu oluşur. Bu bileşenlerin mevcudiyeti yüksek gerilim dalga şekli ve ölçüm şekline bağlıdır. Örneğin yüksek dc gerilimli korona deneylerinde yalnız iletim akımı bulunur. Ancak korona deşarjı kendi kendine konvektif etkiler oluştursa da çoğu kez ihmal edilebilir seviyelerdedir.

Korona Akım-Gerilim karakteristiği koronanın önemli bir parametresidir. Elektrik alan ölçüm tekniklerinin geliştirilmesinden önce, teorik modellerin tek kontrol parametresi idi (optik sonuçlar dışında). Değişik konfigürasyon ve şartlar için birçok araştırmacı korona deşarjının Akım-Gerilim karakteristiklerini ölçmüştür [19]. Sistem geometrisi ve ortam şartlarından bağımsız olarak korona Akım-Gerilim değişiminin ikinci dereceden bağımlılığı olduğu $[I = f(V^2)]$ tespit edilmiştir.

Akım - gerilim karakteristiğinin hesabı, korona bölgesinin dışındaki uzay yüklerinden dolayı çok zordur. Bu zorluk, elektrik alan çizgilerinin aldığı yolun, uzay yükünün var olduğu veya olmadığı durumlarda eş eksenli silindir ve eş merkezli küreler sistemlerinde aynı olsa da, başka geometrilerde birbirlerinden oldukça farklıdır. Ayrıca analitik formüllerin türetilişinde bazı kabullerin yapılması gerekir. Mesela, bir elektrik alan çizgisi boyunca sadece $J \cdot d\sigma$

çarpımının değil, aynı zamanda $E.d\sigma$ çarpımının da sabit olduğu kabul edilir. Aslında $E.d\sigma$ çarpımı uzay yüklerinden dolayı farklılaşır. Burada “J” akım yoğunluğunu ve “ $d\sigma$ ” da akım çizgilerine dik yüzey elemanını gösterir.

Eş eksenli silindirik sistem için akım-gerilim karakteristiği hesap edilebilir. Fakat hesaplamalarda R yarıçapının, r_0 yarıçapından en az 10 kat daha büyük olduğu kabul edilmiştir. Aksi durumda koronadeşarj gerilimi ile kıvılcımlı arkdeşarj gerilimi hemen hemen aynı olur.

Havadaki eş eksenli silindirik sistem için polar koordinat sisteminde Poisson denklemi;

$$\nabla E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

olup, silindirik simetrik sistemlerde

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial E(r)}{\partial r} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (3.10)$$

yazılabilir. Eğer belirli bir I akımı için silindirik sistemin birim uzunluğuna düşen uzay yük yoğunluğu sabit olduğu kabul edilirse;

$$I = J.2\pi r = \rho.v.2\pi r = \rho.\mu.E.2\pi r \quad (3.11)$$

eşitliklerinden $E \cdot r$ 'nin de sabit olduğu görülür.

μ : ortalama iyon hareketliliği

ρ : yük yoğunluğu 'dur.

Şimdi Eş. 3.10' un, değişken r yarıçapı ile r_0 iletken yarıçapı arasında integrali alınırsa;

$$E \cdot dr - E_{kr} \cdot \frac{r_0}{r} \cdot dr = \frac{\rho}{2 \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{(r^2 - r_0^2)}{r} \cdot dr \quad (3.12)$$

olur. Daha önce belirtilen $R \gg r_0$ kabulünü dikkate alarak, yukarıdaki denklemi r_0 ve R sınırları arasında integre edersek, yukarıdaki kabul ile, aynı zamanda denklemin sağ tarafındaki r_0^2 / r terimi küçük olduğundan dolayı ihmal edilebilir.

$$\int_{r_0}^R E \cdot dr - E_{kr} \cdot r_0 \cdot \int_{r_0}^R \frac{1}{r} \cdot dr = \frac{\rho}{2 \cdot \epsilon_0} \cdot \int_{r_0}^R r \cdot dr \quad (3.13)$$

olur.

Eğer elektrotlar arasındaki potansiyel farkı U ile gösterilirse ;

$$U - E_{kr} r_0 \cdot \ln \frac{R}{r_0} = \frac{\rho}{4 \cdot \epsilon_0} \cdot (R^2 - r_0^2) \quad (3.14)$$

$$U - U_{kr} \approx \frac{\rho}{4 \cdot \epsilon_0} \cdot R^2 \quad (3.15)$$

olarak bulunur.

Dış silindirin iç yüzeyinde (burada tekrar uzay yüklerinin hesaba girmediğini ve dolayısıyla $E \cdot d\sigma$ 'nin sabit kaldığını kabul ediyoruz) akım ve gerilim arasındaki son bağıntı ise,

$$I = \frac{8 \pi \cdot \epsilon_0 \cdot k}{R^2 \cdot \ln(R/r_0)} \cdot U \cdot (U - U_{kr}) \quad (3.16)$$

olur.

Townsend'in bulduğu bu formül, yukarıda yapılan kabullerle oluşturulmuş olup, halen araştırmacılarca kullanılmaktadır.

3.2.3. Akım yoğunluğu ölçümü

Akım yoğunluk dağılımının belirlenmesi iletim hatlarının ve iyon kaynağı olarak korona deşarjında kullanan cihazların performansının analizinde temel teşkil eder. Akım yoğunluk profilleri korona parametrelerinin teorik testi için de önemlidir.

Bir elektrotta akım yoğunluğu ölçümü genellikle elektrik alan ölçümünden daha kolaydır. Yalnızca tek bir bileşen ölçülecekse (iletim veya konveksiyon) olay çok daha kolaydır ve tek bir prob sistemi kullanılarak ölçüm yapılabilir [20].

3.2.4. Elektrik alan ölçümleri

Korona deşarjı öncesinde elektrik alanını, Laplas elektrik alanı olarak adlandırıldığı daha önce belirtilmişti. Korona başlangıcı, ikinci bir bileşenin vektörel süperpozisyonu neticesinde, toplam elektrik alan dağılımını değiştirir. Bu bileşenler; elektrot geometrisine uygulanan gerilim neticesinde oluşan uzay yükünden bağımsız elektrostatik alan " E_L " ikincisi ise tüm aralıkta dağılmış olan uzay yüklerinin meydana getirdiği uzay yük alanı " E_P " dir. Akım yoğunluğunu ölçmek çok basit olduğu halde, uzay yükü altında elektrik alan ölçümleri çok özel metotlar gerektirir. Geçen on yılda elektrotlardaki elektrik alan ölçümleri için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir [9]. Kullanılacak ölçme metodunun seçiminde şu faktörler gözönüne alınır.

a) Aralık geometrisi ; Kullanılan cihaz, geometrideki elektrik alanını alabildiğince az etkilemelidir. Mesela bir silindiriksel akımetre, korona teli

üzerindeki alan ölçümleri için uygun iken, dairesel tabanlı prob nokta-düzlem sistemi için daha uygundur.

b) Deşarjın tipine ; Bir kapasitif prob, hızlı değişen elektrik alan ölçümleri için daha uygundur. Ama iletim akımı hallerinde kullanılamaz, statik problemler bu işlem için daha uygundur.

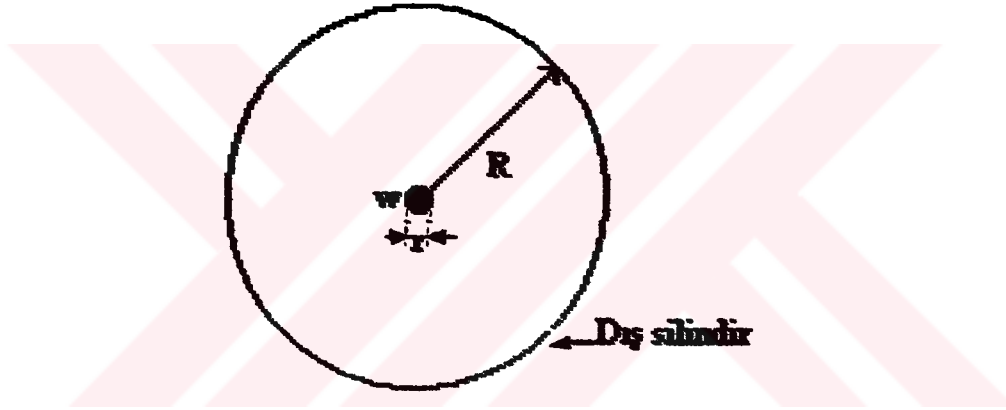
c) Gerilim dalga şekli ; Uygulanan gerilimin frekansına cevap verecek uygun prob kullanılmalıdır.

Elektrod yüzeyinde elektrik alan profilleri ölçümünde önemli bir diğer etken ise probun yerinin kolay ve uygun bir şekilde değiştirilebilmesidir. Bu araştırmada paraksial sistem için elektrik alan ve akım yoğunluğu profilleri farklı gerilimlerde, değişik korona teli yer değişimlerinde dış elektrod yüzeyi ile aynı seviyede bir statik elektrik alan probu ile ölçülmüştür.

4. KOAKSİYEL VE PARAKSİYEL GEOMETRİLERDE KORONA BAŞLANGIÇ GERİLİM VE ELEKTRİK ALAN ANALİZİ

4.1. Koaksiyel Sistem Analizi

Bu sistem, daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, elektrik alanının analitik çözümün yapılabilirliğinden dolayı teorik çalışmalarda birçok araştırmacı tarafından cazip olmuştur. Silindiriksel koordinat sisteminde, bir boyutlu formülasyon ile tanımlanabildiğinden ve kolaylığından ötürü koaksiyel sistem literatürde sıkça kullanılmış korona ve uzay yükü sorularına yanıt aranmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Koaksiyel silindir geometrisi

4.1.1. Korona başlangıç voltajı

Bu çalışmada korona başlangıç voltajına en fazla etki eden etkenlerden iletken çapı ve gaz cinsi koaksiyel sistem için test edilmiştir.

Koaksiyel korona için Peek' in başlangıç elektrik alanı ile iletken çapı ve hava yoğunluğu arasındaki bağıntısı ;

$$E_i = E_0 \delta m \left(1 + \frac{0,308}{\sqrt{\delta r_0}} \right) \quad (4.1)$$

'dir. Burada $E_i=31,25$ kV/cm , $B=0,308$ ve

$$\delta = 0,386 \cdot (P/273 + t) \quad (4.2)$$

' dir.

Literatürdeki diğer bir formül ise Townsend kriterini ve deneysel sonuçları kullanarak Waters tarafından verilmiştir [15].

Hava basıncı da dikkate alınarak Peek'e benzer olarak düzenlenmiş Waters' in formülü ise ;

$$E_i = 23,8 \delta m \left(1 + \frac{0,67}{\sqrt{\delta r_0}^{0,4}} \right) \quad (4.3)$$

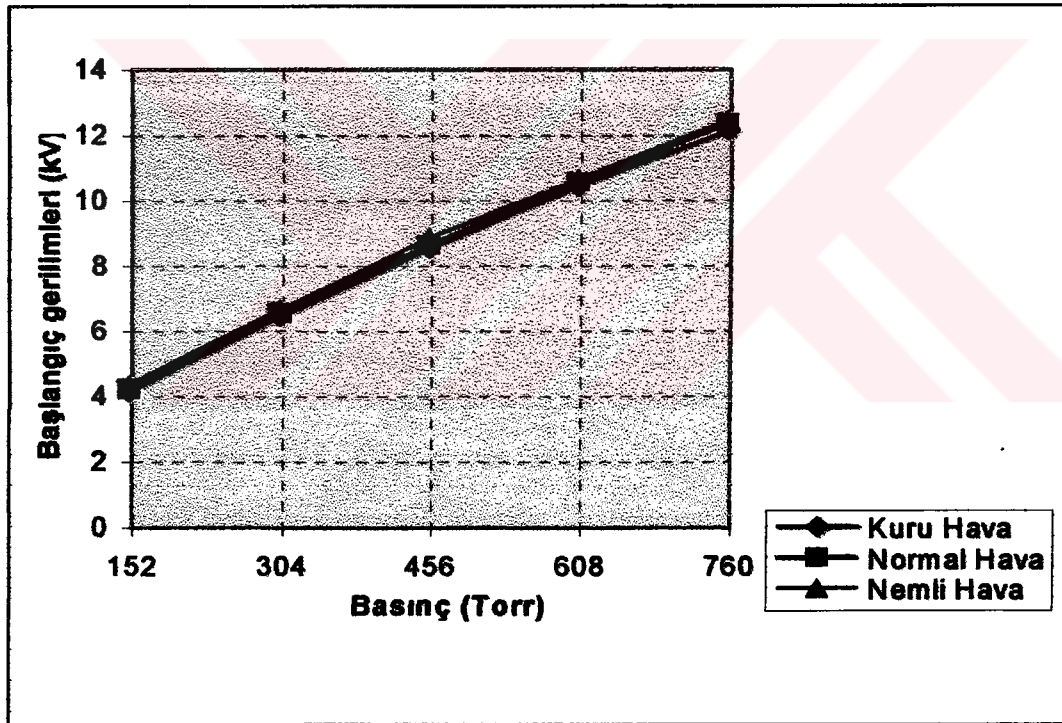
'dir. Buradan korona başlangıç voltaj değeri kolaylıkla bulunabilir. İlave bir test ise Townsend kriteri kullanılarak ve Harrison & Gabelle' e ait etkin iyonlaşma katsayısı ($\alpha - \eta$) değerleri ampirik olarak;

$$\alpha(E/p, P) = P \cdot 10^{-4} [(1,047) \cdot (E/p - 28,5)^2 - 12,6] \quad (4.4)$$

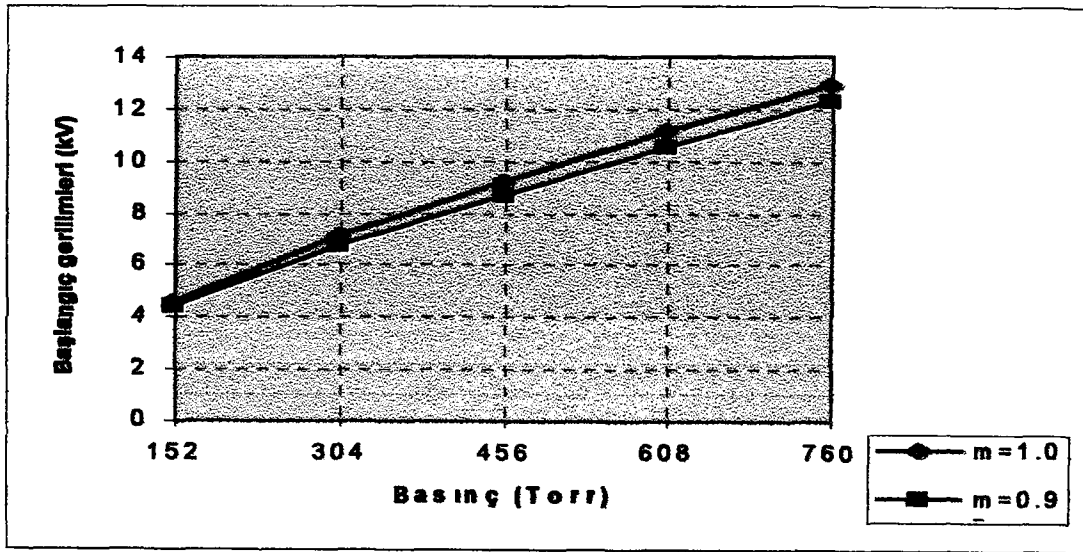
ifade edilen bir Yük-Simülasyon programı yardımıyla korona başlangıç değerleri hesaplanmıştır. Hava içerisindeki korona başlangıç voltajı ölçüm değeri ile integre edilmiş iyonlaşma katsayısı ($\alpha=7$) için bulunmuş, korona başlangıç voltaj değerleri iletken çapı 0,56 mm için yapılan ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Ölçümler ile hesaplamaların birbiriyle uyum içinde olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.1. Koaksiyel sistemde ölçülmüş ve hesaplanmış başlangıç gerilimleri (kV) ($\phi = 0.56$ mm.)

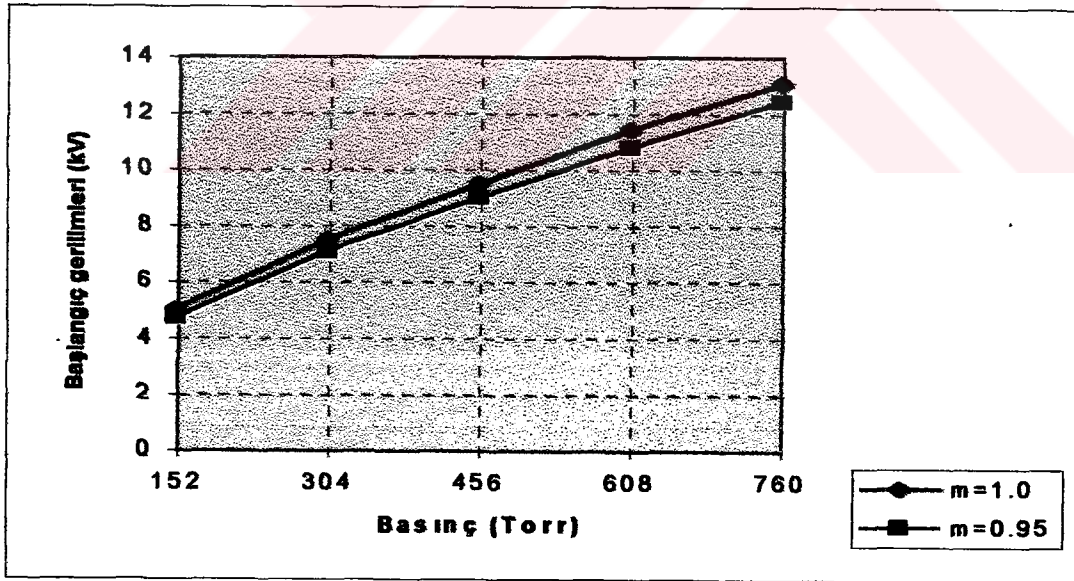
Basınç (Torr)	Ölçülmüş (kV)			Peek Formülü ile		Waters Formülü ile	
	Kuru Hava	Normal Hava	Nemli Hava	m=1.0	m=0.95	m=1.0	m=0.95
152	4,1	4,2	4,3	4,6	4,4	5	4,7
304	6,4	6,5	6,6	7,1	6,7	7,5	7,1
456	8,5	8,6	8,8	9,2	8,7	9,5	9
608	10,4	10,5	10,6	11,1	10,5	11,4	10,8
760	12,1	12,3	12,4	12,9	12,3	13,1	12,4



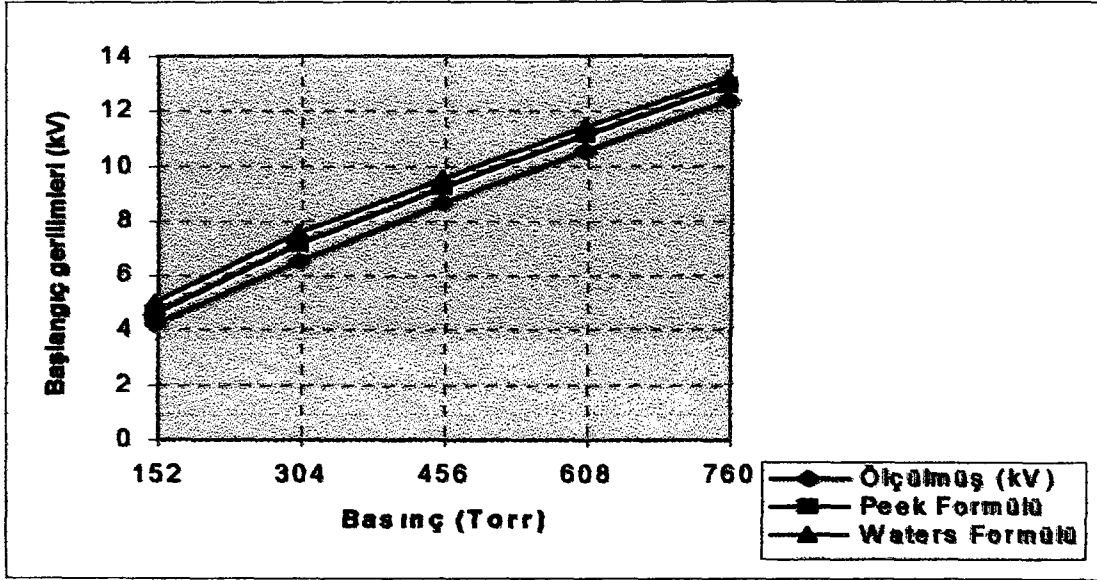
Şekil 4.2a. Koaksiyel sistemde ölçülmüş başlangıç gerilimleri (kuru, normal ve nemli hava için)



Şekil 4.2b. Koaksiyel sistemde Peek formülü ile hesaplanmış başlangıç gerilimleri (pürüzlülük faktörü $m=1$ ve $m=0.95$ için), ($\phi = 0.56$ mm.)



Şekil 4.2c. Koaksiyel sistemde Waters formülü ile hesaplanmış başlangıç gerilimleri (pürüzlülük faktörü $m=1$ ve $m=0.95$ için), ($\phi = 0.56$ mm.)



Şekil 4.2d. Koaksiyel sistemde ölçülmüş ve hesaplanmış (Peek ve Waters formülü ile) başlangıç gerilimleri (iletken çapı 0,56 mm., normal hava, $m=1.0$)

4.1.2. I-V karakteristiği

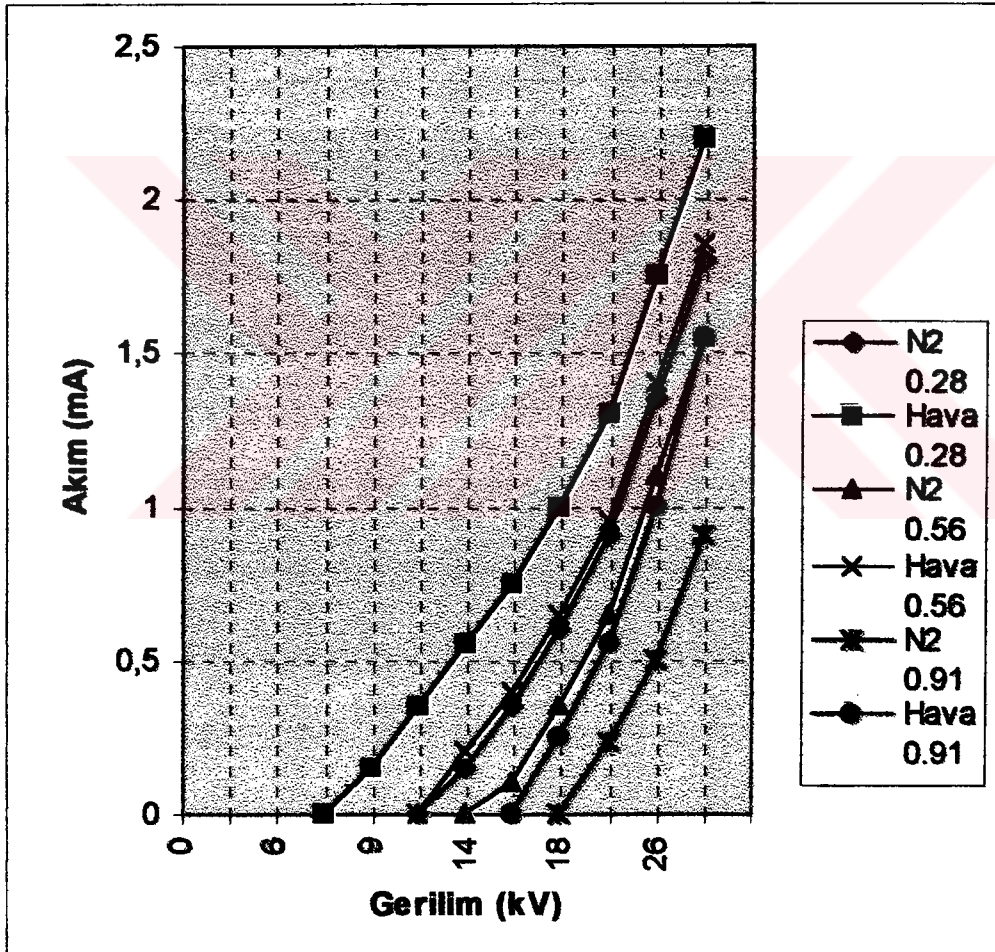
Korona deşarjlarında koaksiyel sistem için I - V karakteristiğinin genel ifadesi, Townsend tarafından belirtilmiş karesel formda olup,

$$I = A \cdot V \cdot (V - V_i) \quad (4.5)$$

ile tanımlanmıştır. Burada V_i başlangıç voltajı, A ise geometriye bağlı sabittir. Diğer bir model koaksiyel sistem için Baderen & Popescu tarafından aşağıdaki şekilde bulunmuştur [21,22].

$$I = \frac{8 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \mu}{r_1 \cdot \ln(r_2 / r_1)} \cdot V \cdot (V - V_i) \quad (4.6)$$

r_1 ve r_2 dahili ve harici elektrot yarıçaplarıdır. Yapılan bu çalışmalarda tüm analizler göstermiştir ki, korona akımı iyon mobilitesinin bir fonksiyonu ve gerilimin karesiyle orantılıdır. Bu çalışmada per-unit uzunlukta korona akımının $I_{(A+B+C)}$ değerleri hassas bir elektrometre ile ölçülmüştür. Şekil 4.3 toplam korona akımının her üç iletken çapı (0.91 mm - 0.56 mm - 0.28 mm) için nitrojen (N_2) ve normal hava içerisinde ölçülmüş değerleri verilmektedir.

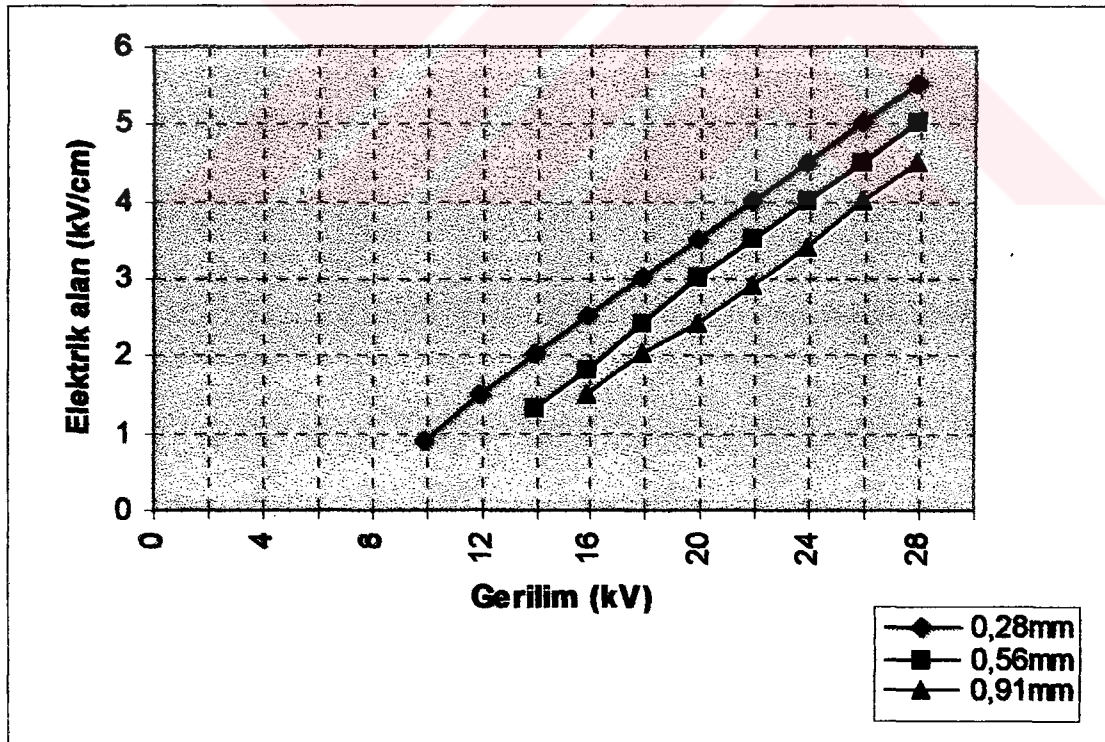


Şekil 4.3. Hava ve N_2 içinde farklı iletken çapları için korona akım-voltaj karakteristiği

Öncelikle korona akımının voltajla ikinci dereceden değişimi ve azalan iletken çapı ile korona akımının artışı net bir şekilde görülmüştür. İletken yarıçapının azalması sonucunda artan elektrik alan şiddeti, iyon hareketliğinde ve uzay yükündeki artış, toplam korona akımının artmasına sebep olmuştur.

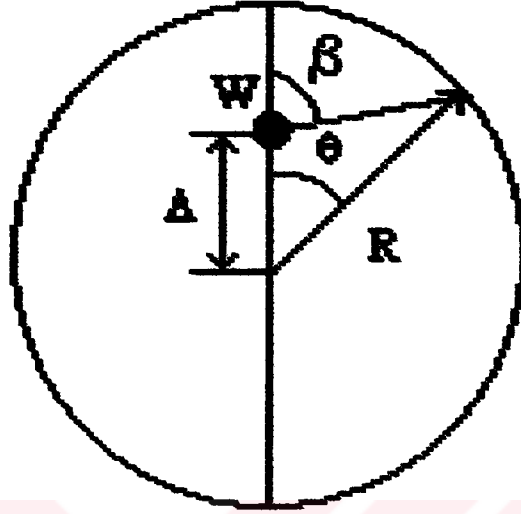
4.1.3. Elektrik alanı ölçümü

Bu sistemde Elektrik Alanın normal hava basıncındaki her 3 iletken çapı için uygulanan voltajla değişimi Şekil 4.4' de görüldüğü gibidir. Elektrik alan şiddetinin dış elektrod üzerinde artan voltaj ile doğrusal bir değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca küçük iletken çapı için elektrik alanının yüksek olması artmış uzay yükü dolayısı ile beklenen bir durum olarak gözlenmiştir.



Şekil 4.4. Değişik iletken çapları için elektrik alanının gerilime göre grafiği

4.2. Paraksiyel Sistem Analizi



Şekil 4.5. Paraksiyel geometri

Korona çalışmalarında kullanılan diğer konfigürasyonlara göre avantajı olduğu halde, bu geometri kablo testleri haricinde daha önce kullanılmamıştır. Şekil (4.5) ve (4.6). Burada,

w: iç iletkeni,

Δ : aksiyel yer değişimi,

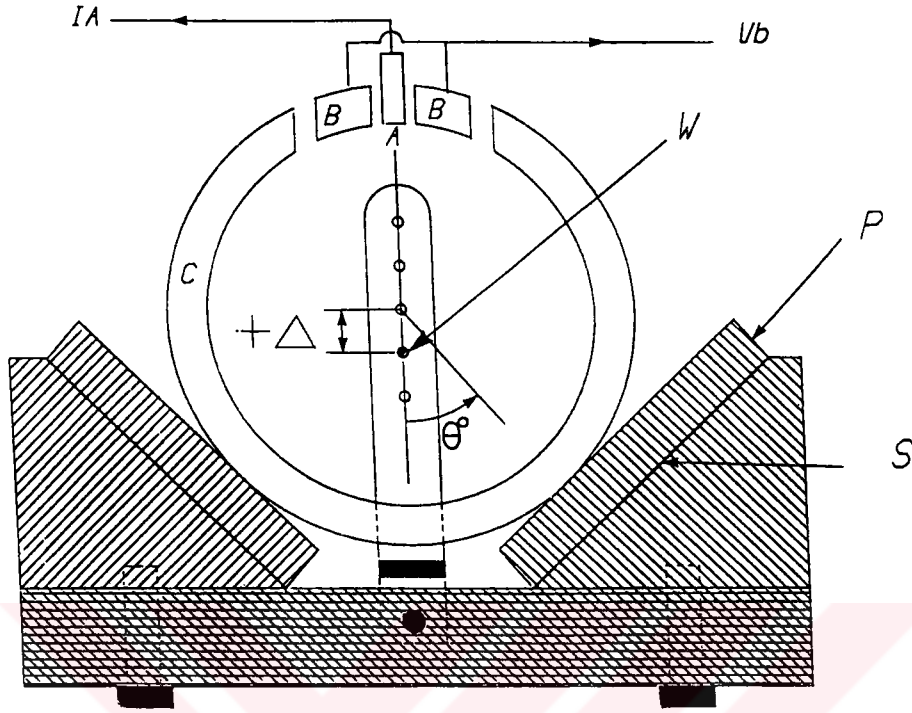
R: dış yarıçapı,

θ : probun silindirin merkeziyle yaptığı açrı,

β : iletken ile prob konumu arasındaki açrı,

P: perspeks levhayı

tanımlamaktadır.



Şekil 4.6. Deneysel düzenek [14]

4.2.1. Korona başlangıç voltajı

Korona başlangıç voltajı daha önce de belirtildiği üzere sistem konfigürasyonuna, iletken çapına, yüzey kalitesine ve atmosferik şartlara (nemlilik, basınç gibi) bağlıdır. Paraksiyel geometride iç iletken üzerindeki maksimum elektrik alan şiddeti artan aksiyel yer değişimi (Δ) ile artacağından korona başlangıç voltajı da buna bağlı olarak azalacaktır.

Korona başlangıç voltajları, prob üzerindeki hem toplama kolektöründe ölçülen I_A akımı ve hem de tüm silindir üzerindeki toplam $I_{(A+B+C)}$ akımlarının ölçümlerinden elde edilmiştir. Burada akımın yaklaşık $10^{-6} - 10^{-7}$ A değerleri

için ($\sim 0,5 \times 10^{-6}$) bir başlangıç gerilim değeri bulunmuş ve bu değerin artan aksiyel yer değişim (Δ) ile azaldığı gözlenmiştir.

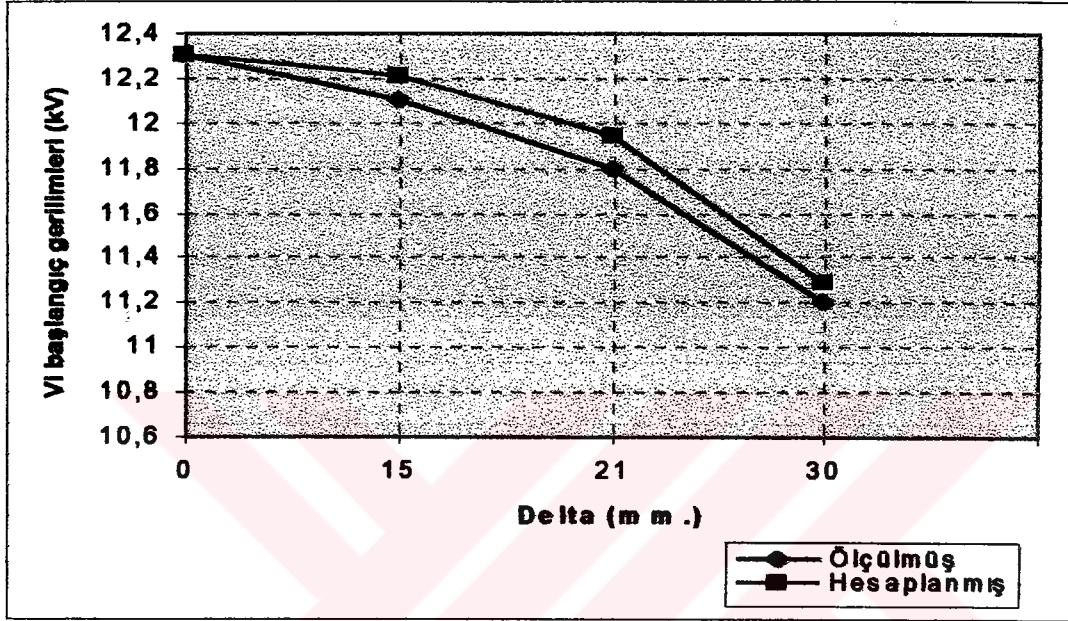
Burada modelleme olarak; elektrik alan şiddeti, aksiyel yer değişim Δ' ya ve iç iletkenin etrafındaki pozisyona bağlı olduğundan, korona başlangıç voltajı maksimum elektrik alan şiddeti değeri ile kontrol edildiğini varsayan bir ampirik metot kullanılmıştır. Buradan yüksek gerilim iletkeni üzerindeki maksimum elektrik alan şiddeti hesaplanacak olursa korona başlangıç voltajı;

$$V_i = \frac{E_i}{E_m} \quad (4.7)$$

olarak elde edilir. E_i başlangıç elektrik alan şiddetidir. Her ne kadar E_i' nin gerçek değeri paraksiyel sistem için bilinmiyorsa da, koaksiyel sistem yaklaşımından koaksiyel sistemdeki başlangıç elektrik alan değeri alan varsayım kabul edilebilir. Bu yaklaşımın gerçek değerdeki değişiminin fazla olmadığını göstermek için $\Delta = 30$ mm durumunda dahi, yani mevcut çalışmada Δ' nm alacağı maksimum değer için, Laplace elektrik alan şiddetinin iç iletken etrafındaki değerinin koaksiyel sistemdekinden çok az miktarda farklılığı olduğu gösterilebilir. Bu kabullere göre E_i' nin değeri;

$$E_i = \frac{V_{ic}}{r_o \cdot \ln(R/r_o)} \quad (4.8)$$

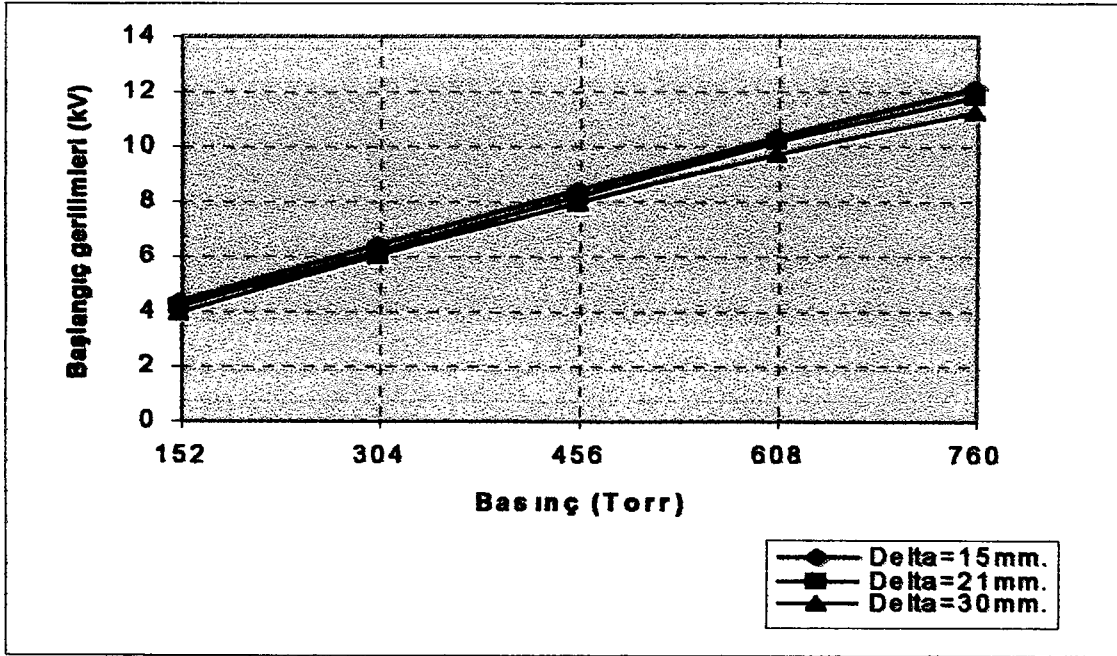
formülü kullanılarak, yaklaşık olarak $V_{ic} = 12,2$ kV için $E_i = 84$ kV/cm hesaplanmıştır. Hesaplanan ve ölçülen korona başlangıç elektrik alan şiddetleri Şekil 4.7' de görüldüğü gibi, birbiri ile uyum içerisindedir.



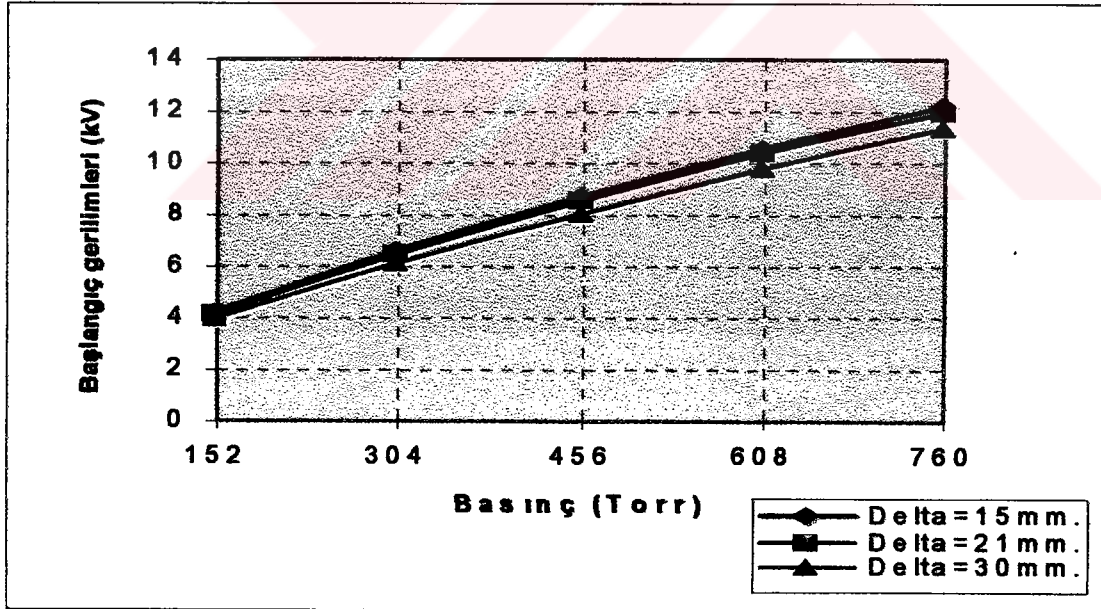
Şekil 4.7. Δ 'nın fonksiyonu olarak korona başlangıç geriliminin grafiği

Çizelge 4.2. Ölçülmüş ve koaksiyel sistem maksimum elektrik alan değeri yaklaşımında hesaplanmış başlangıç gerilimleri

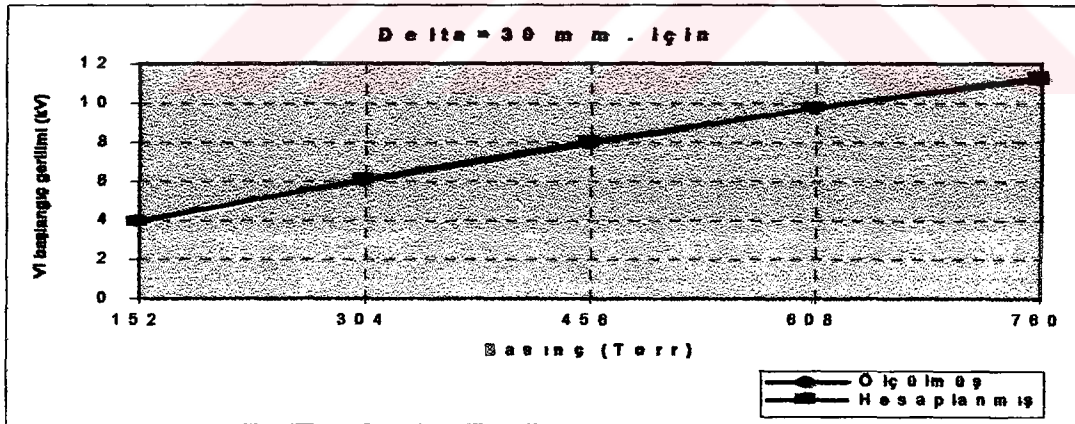
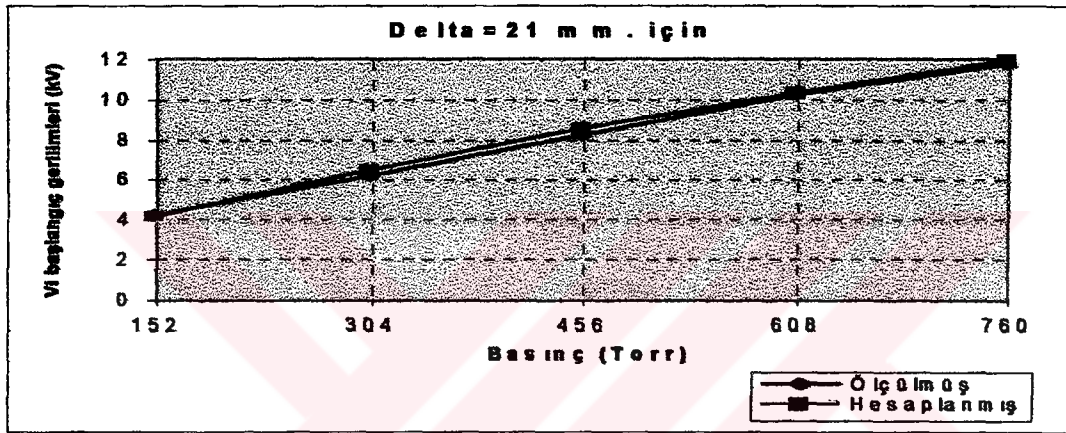
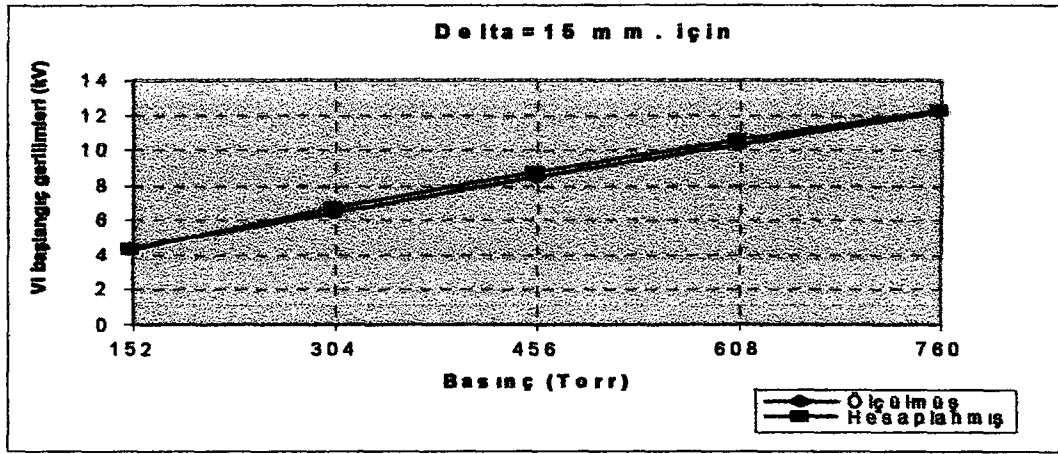
Basınç (Torr)	Ölçülmüş (kV)			Hesaplanmış (kV)		
	$\Delta=15\text{mm}$	$\Delta=21\text{mm}$	$\Delta=30\text{mm}$	$\Delta=15\text{mm}$	$\Delta=21\text{mm}$	$\Delta=30\text{mm}$
152	4,3	4,2	3,9	4,21	4,11	3,89
304	6,4	6,2	6	6,61	6,4	6,09
456	8,4	8,2	7,9	8,66	8,49	8,01
608	10,3	10,2	9,7	10,56	10,31	9,74
760	12,1	11,8	11,2	12,21	11,94	11,29



Şekil 4.8a. Farklı basınçlarda üç Δ değerleri için ölçülmüş başlangıç gerilimler grafiği



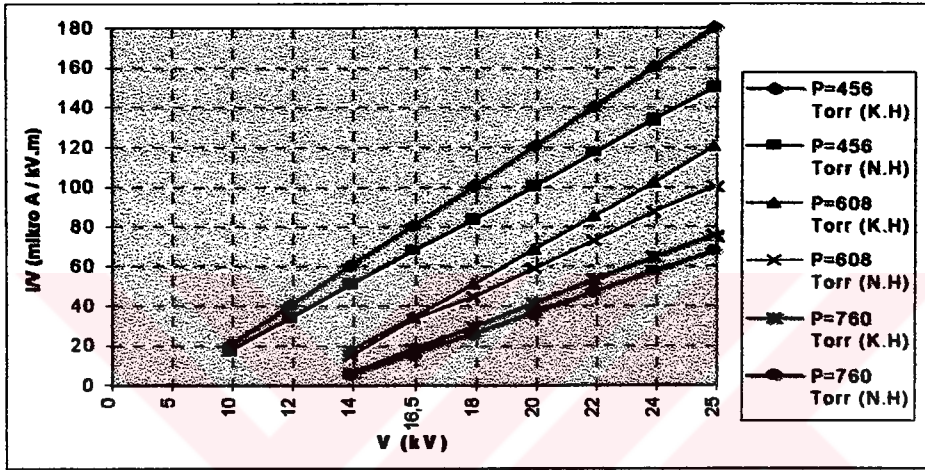
Şekil 4.8b. Farklı basınçlarda üç Δ değerleri için hesaplanmış başlangıç gerilimler grafiği



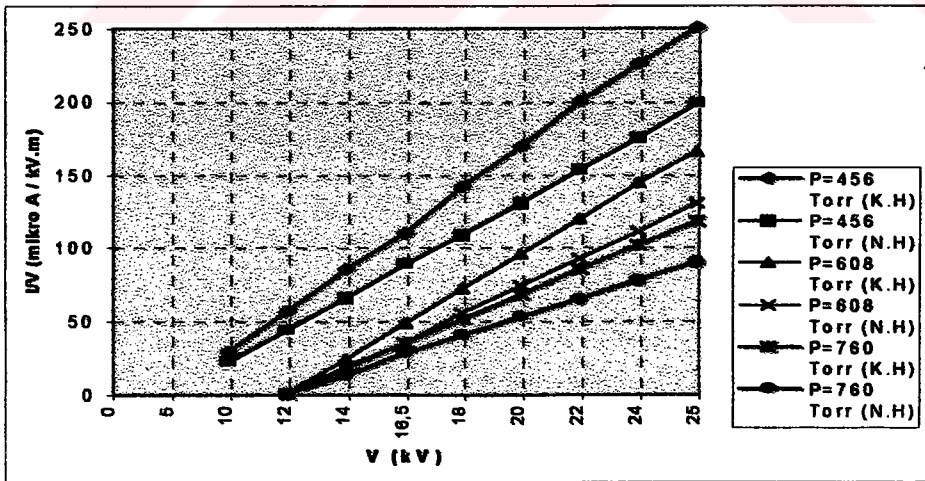
Şekil 4.8c. Her Δ değeri için ölçülmüş ve hesaplanmış başlangıç gerilimlerinin karşılaştırılması (normal nemli hava)

4.2.2. I - V karakteristiği

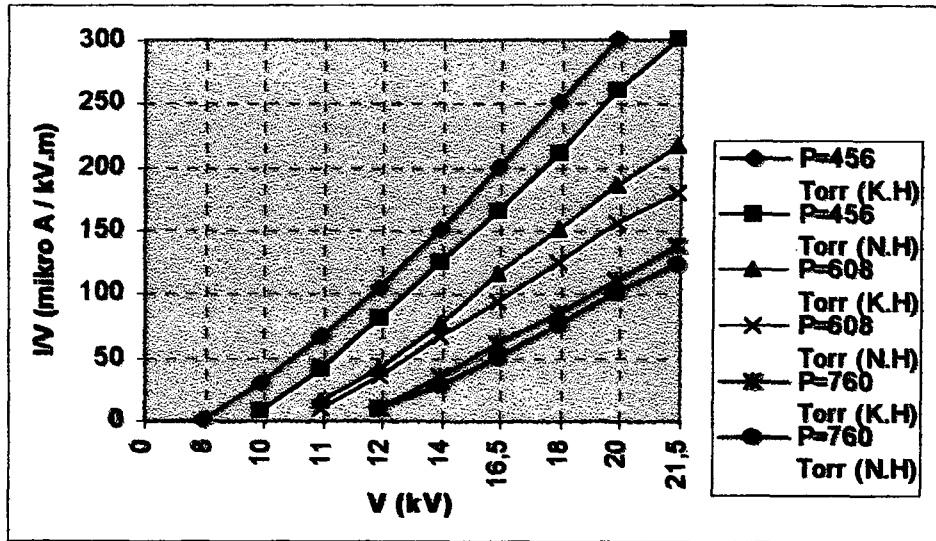
Koaksiyel sistemde olduğu gibi, paraksiyel sistemde I-V karakteristiğinde akımın gerilimle ikinci dereceden değişimi, her Δ değeri için görülmüştür. Deneysel verilerden elde edilen iletkenlik (I/V) - V eğrileri Şekil 4.9'da gösterildiği gibidir. Burada; KN:kuru hava, NH:normal nemli havayı göstermektedir.



a) $\Delta=15$ mm.



b) $\Delta=21$ mm.



c) $\Delta=30$ mm.

Şekil 4.9. Farklı basınçlar için iletkenlik voltaj grafiği

Bu doğruların x eksenini kestiği uzantılarındaki gerilim değerleri, ölçülen korona başlangıç gerilim değerlerini vermektedir

4.2.3. Akım yoğunluğu profilleri

Dış silindir üzerindeki akım yoğunluğu dağılımı, Lineer probun üzerindeki A kollektörünün dönüş açısı θ 'nın fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Dış silindir üzerindeki bu akım yoğunluğu profillerinin integrali, ölçülen (I_{A+B+C}) akımı değerleri ile karşılaştırılmış ve her Δ değeri için % 2 hata sınırı içerisinde olduğu anlaşılmıştır. Akım yoğunluğu profilinin büyüklüğü, I-V eğrilerinde olduğu gibi uygulanan gerilim ve aksiyel yer değişim ile doğru orantılıdır.

Maksimum akım yoğunluğunun ($\theta=0$ iken) değişimi uygulanan gerilimle yine ikinci derecedendir. Maksimum akım yoğunluğu değerine göre normalize edilmiş akım yoğunluğu profillerinin ($J/J_{\max}$), uygulanan gerilimden bağımsız olduğu gözlemlenmiştir.

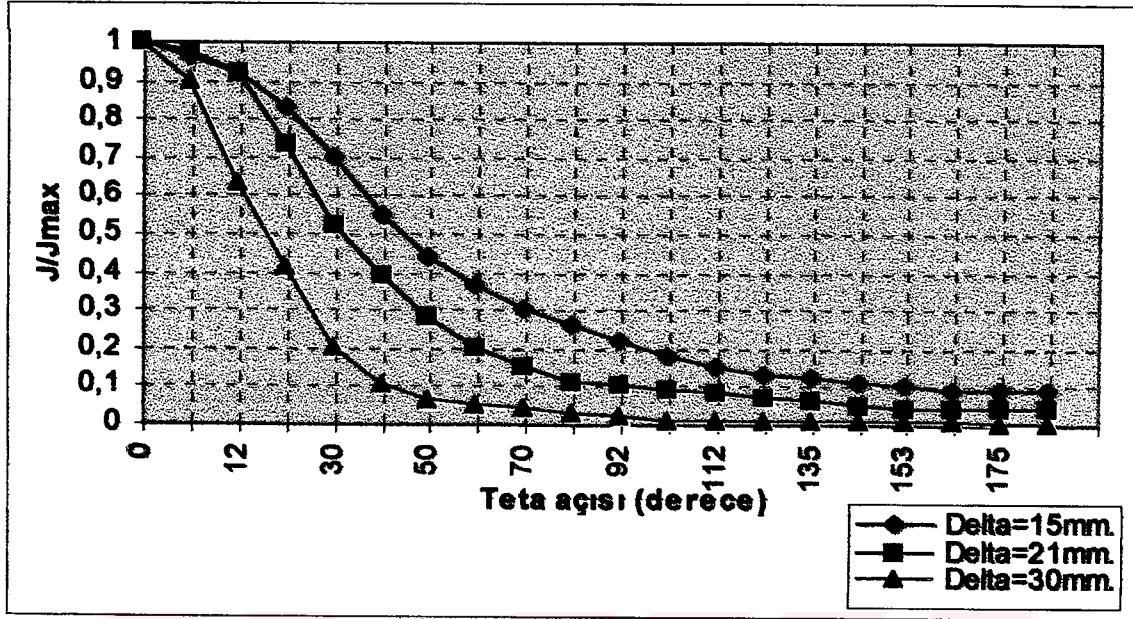
Paraksiyel sistem için, hat-düzlem konfigürasyonuna benzer şekilde [12] akım yoğunluğu için şu ampirik formül elde edilmiştir.

$$\frac{J}{J_{\max}} = \frac{1}{[1 + R\theta/(R - \Delta)^2]^n} \quad (4.9)$$

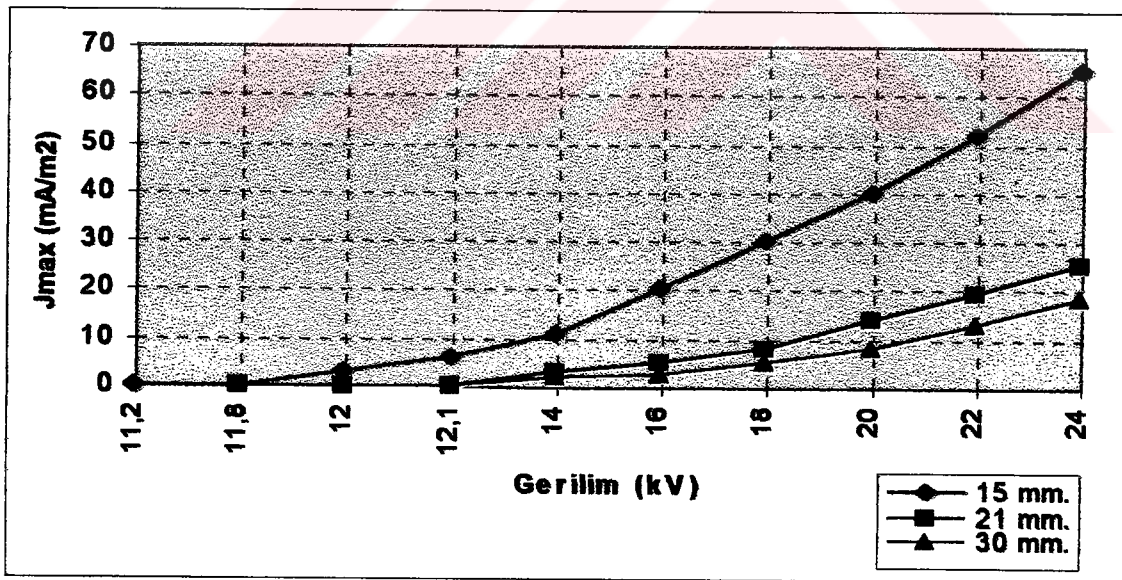
bu formülde $n = 2.4 \Delta / R$ ' dir [9]. Aksiyel yer değiştirme Δ değeri için bu formül hat-düzlem geometrisi ile bulunan ampirik formül ile benzer olduğu anlaşılmıştır [12,27].

Şekil 4.10 da, farklı Δ değeri için akım yoğunluğu profilleri θ ' nin fonksiyonu olarak verilmektedir.

Şekil 4.11 ise, maksimum akım yoğunluğunun, V' nin fonksiyonu olarak değişimi görülmektedir. Toplam korona akımında olduğu gibi, akım yoğunluğunun uygulanan gerilime göre ikinci dereceden değişimi gözlenmiştir.



Şekil 4.10. Değişik Δ değerleri için J/J_{max} - θ grafiği



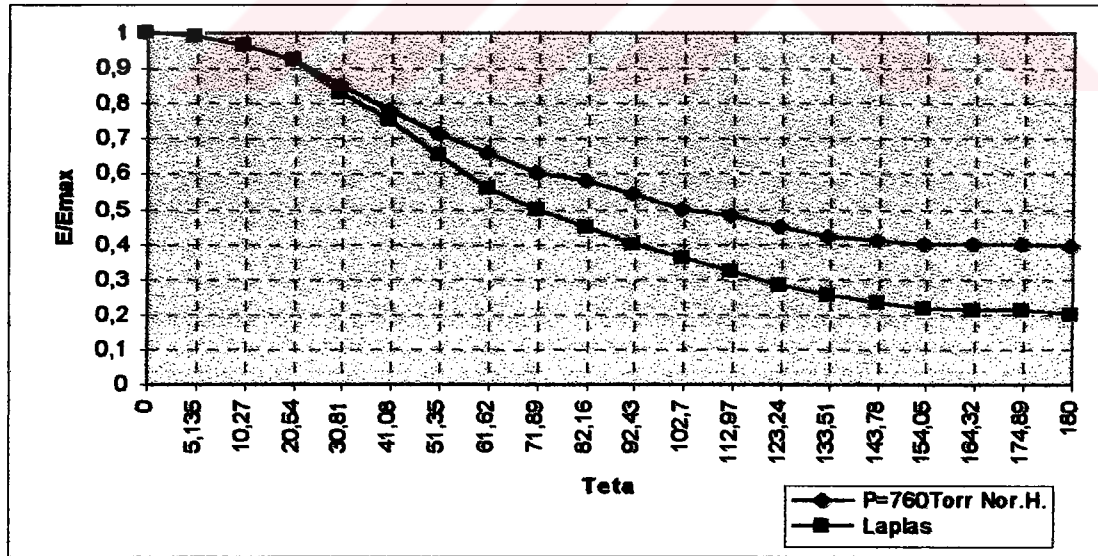
Şekil 4.11. Değişik Δ değerleri için maksimum akım yoğunluğu - gerilim grafiği

4.2.4. Elektrik alan profilleri

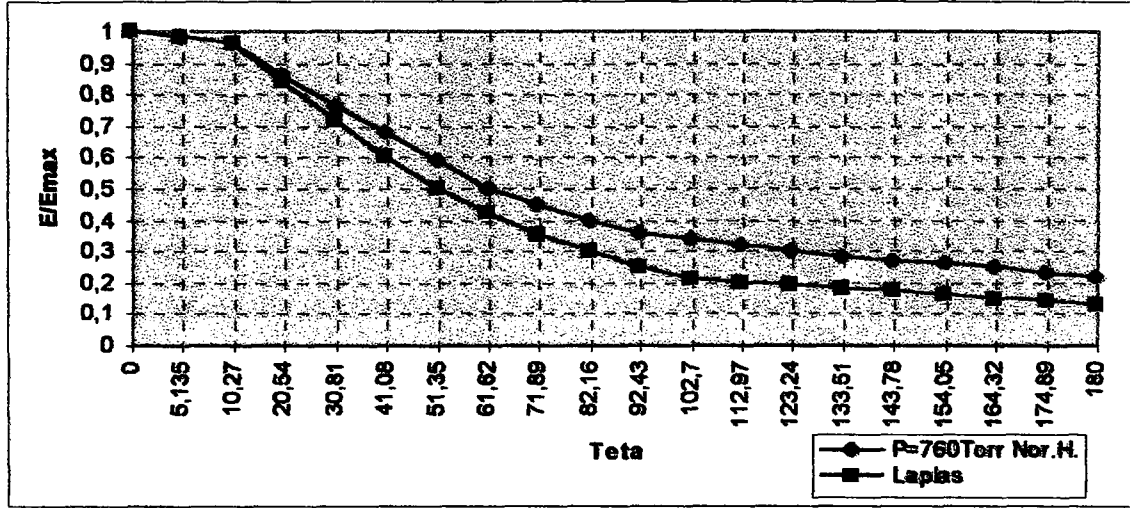
Elektrik Alan profillerinin değişiminin, akım yoğunluğu profillerine nazaran Δ ile değişiminin daha az hassas olduğu anlaşılmıştır. $\theta=0$ için E_{max} ölçülmüş ve profiller buna göre normalize edilmiştir. Elektrik alan profilleri için elde edilen ampirik formül ise;

$$E / E_{max} = 1 / [1 + R\theta / (R - \Delta)^2]^m \quad (4.10)$$

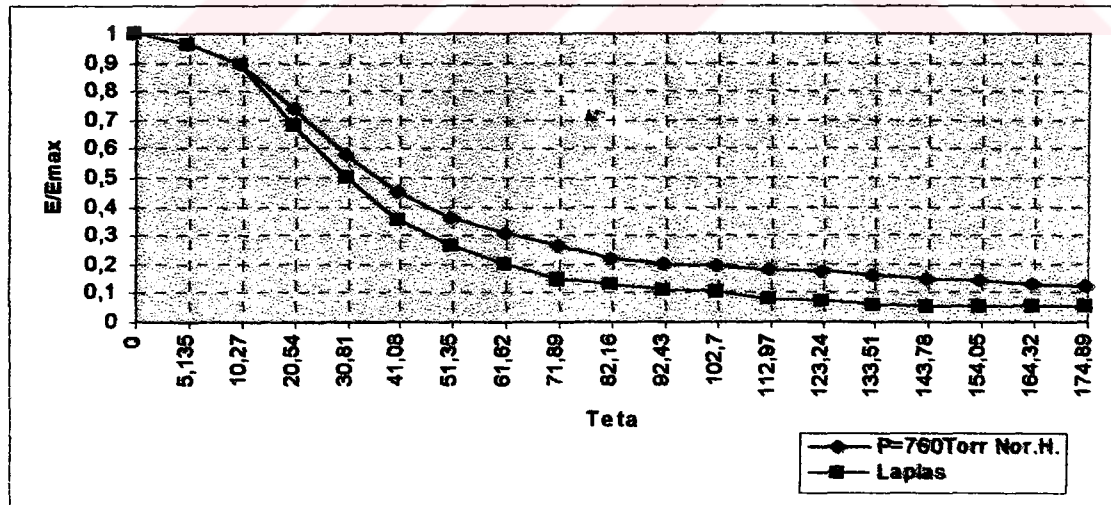
olup $m = 0,9(\Delta / R)$ ' dir. Şekil 4.12'de her üç Δ için Elektrik Alanların dönme açısı θ ' ya göre değişimi Laplas elektrik alan değerleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.12a. $\Delta = 15$ mm için normalize edilmiş elektrik alan profili

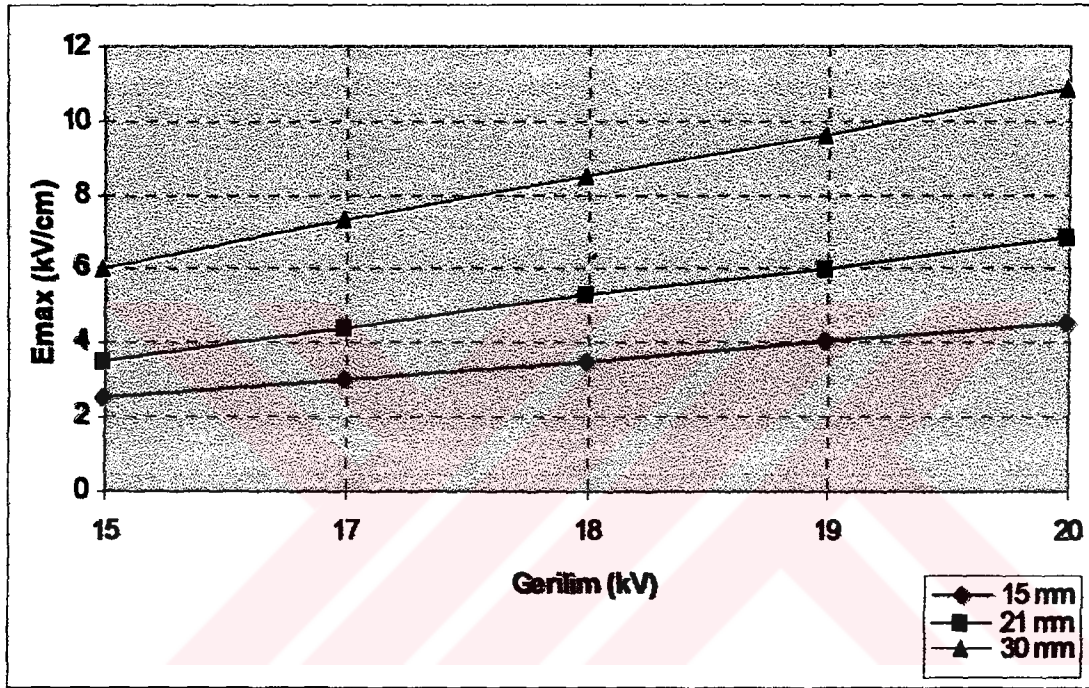


Şekil 4.12b. $\Delta = 21$ mm için normalize edilmiş elektrik alan profili



Şekil 4.12c. $\Delta = 30$ mm için normalize edilmiş elektrik alan profili

Bu şekillerden görüldüğü gibi normalize edilmiş (per-ünit) elektrik alan şiddetleri karşılaştırıldığında Laplace elektrik alanının profili daha keskindir. Maximum elektrik alan şiddetinin uygulanan gerilim ile ilişkisi ise Şekil 4.13' de görüldüğü gibi doğrusal bir değişim göstermiştir.

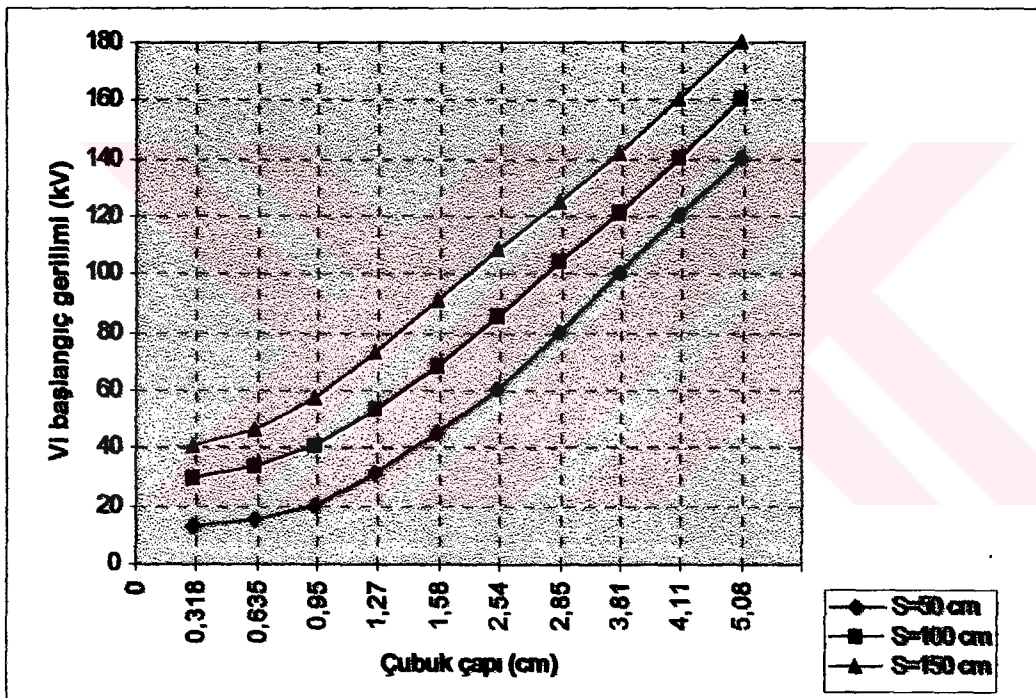


Şekil 4.13. Değişik Δ değerleri için maksimum elektrik alan şiddetinin gerilime göre değişimi

5. GENİŞ ELEKTROD ARALIKLARINDA KORONA BAŞLANGIÇ VOLTAJLARI

5.1. Giriş

Negatif dc korona karakteristikleri elektrod mesafesi 0.5 , 1.0 , 1.5 metreye kadar olan çubuk düzlem geometrileri için hesaplanmıştır. Korona başlangıç gerilimleri, çubuk çaplarının bir fonksiyonu olarak Şekil 5.1' de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Ölçülmüş başlangıç gerilimleri

Korona başlangıç gerilimlerinin hesaplaması için bir yük simülasyon programından faydalanılmıştır. Bu programda, Townsend çığ mekanizması teorisi gözönüne alınarak korona başlangıç gerilimleri Harison ve Geballe'nin etkin iyonizasyon katsayısı ($\alpha - \eta$) verileri ampirik bir formül ile ifade edilerek hesaplanmıştır [23]. Burada;

$$\alpha (E / P, P) = P 1.0 10^{-4} (1.047 (E / P - 28.5)^2 - 12.6) \quad (5.1)$$

olup, elektron sürüklenme hızı,

$$V_e (E / P) = 8,49. 10^5 (E / P)^{0,77} \quad (5.2)$$

ifade edilmiştir. Bu ifadelerde

$\alpha (E / P, P)$: Etkin iyonizasyon katsayısı (1 / cm)

E : Elektrik alan (kV / cm)

P: Basınç (Torr)

V_e : İyon sürüklenme hızı (cm / sn) dır.

V_i başlangıç gerilimini hesaplamak için, elektron çığının her bir kritik büyüklüğü kesinlikle belirtilmelidir. Örneğin, eğer Streamer Teorisi kullanılırsa, alan hattının (elektrik alan çizgisinin Laplas değeri) optimum büyüklüğünce iyonizasyon katsayısı integral değerinin 20 ye tekabül eden değeri, başlangıç gerilimini belirler.

5.2. Hesaplamalar

Bu gerçek test sisteminin üç boyutlu yapısında, generatör bağlantıları ve çubuk-düzlem elektrod açıklığı ve duvarlar bulunmaktadır. Gerçek sistemi modellemek için, simetrik sistemlerden yararlanılmıştır. Bu çalışmada,

başlangıç gerilim değerleri üç farklı durum için ayrı ayrı hesaplanmıştır [23].
Bu durumlar;

- i) Sıfır potansiyelli silindirik çeper sınır ile bir sonlu çubuk-düzlem için,
- ii) Düzlem elektrotlu, sonsuz çubuk için,
- iii) Generatörü temsil eden kademeli gerilimli, silindirik sınırlı ve bir sonlu çubuk-düzlem için çözümler yapılmıştır.

Çizelge 5.1' de farklı çubuk çapları ve aralık uzunlukları için, çubuk elektrod ucunda hesaplanan, normalleştirilmiş elektrik alanları değeri görülmektedir.

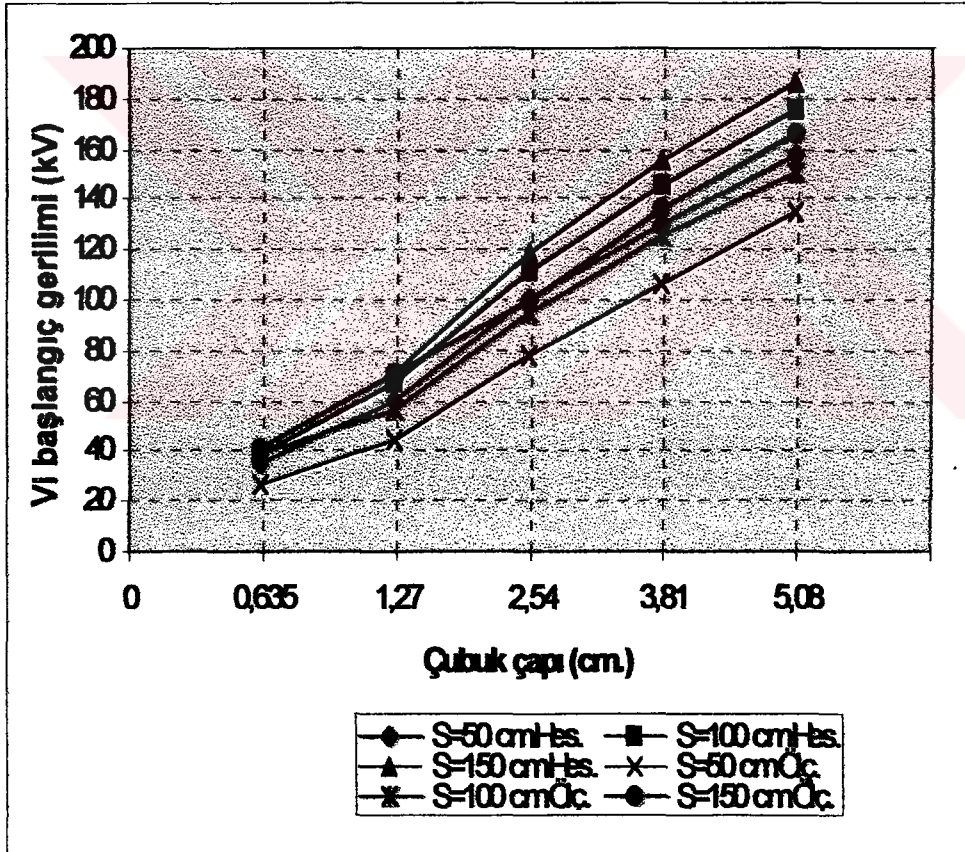
Çizelge 5.1. Çubuk elektrod ucunda hesaplanan normalleştirilmiş elektrik alanı (cm^{-1}) (durum (ii) sonsuz çubuk)

Çubuk $\phi(\text{cm})$	S =50 cm.	S=100 cm.	S=150 cm.
0,079	18,961	17,348	16,384
0,158	9,267	8,47	7,998
0,316	4,46	4,07	3,841
0,635	2,117	1,927	1,817
1,27	1,016	0,921	0,868
2,54	0,518	0,468	0,439
3,81	0,363	0,326	0,307
5,08	0,285	0,256	0,24
12,7	0,136	0,12	0,113
26,4	0,081	0,07	0,065

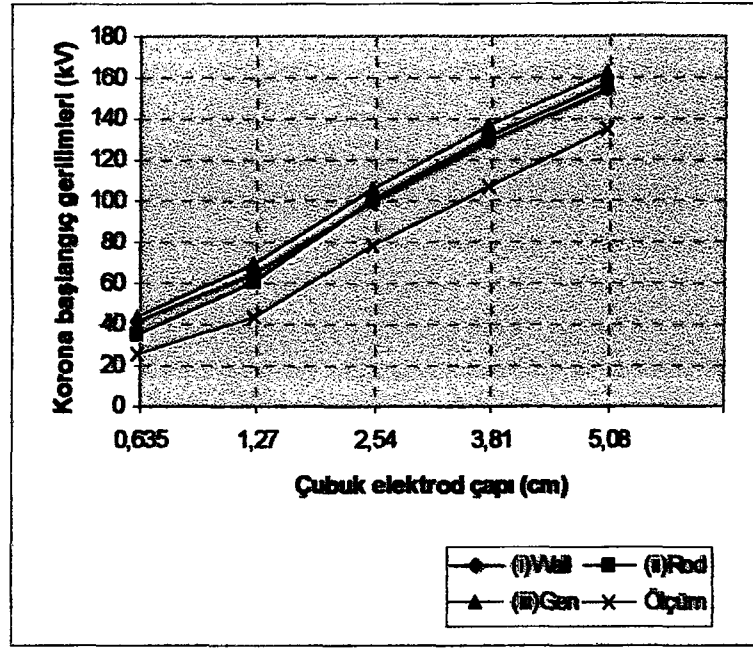
Hesaplanan başlangıç gerilim değerlerinin ortalamaları (i), (ii) ve (iii) durumları için bulundu. Çizelge 5.2 de ve Şekil 5.2 de görüldüğü gibi $\int (\alpha-\eta)dl =20$ durumu için hesaplanan başlangıç gerilimlerinin, ölçülen değerlerden yüksek bulunmuştur.

Çizelge 5.2. $\int (\alpha-\eta)dl = 20$ durumu için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin karşılaştırılması

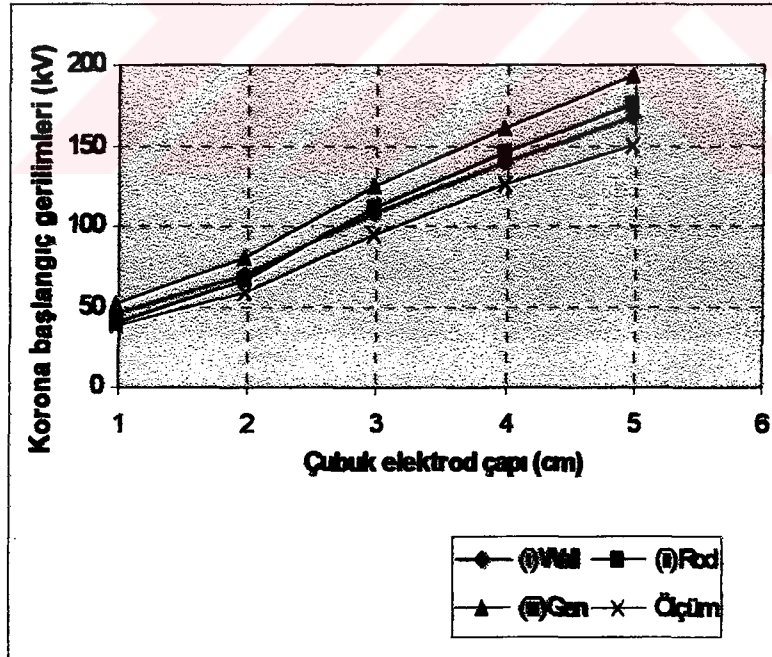
Çubuk ϕ (cm)	S=50 cm.				S=100 cm.				S=150 cm.			
	(i) Duvar	(ii) S.Çubuk	(iii) Gen	Ölçüm	(i) Duvar	(ii) S.Çubuk	(iii) Gen	Ölçüm	(i) Duvar	(ii) S.çubuk	(iii) Gen.	Ölçüm
0,635	41,1	34,9	43,5	25	44,1	38,4	50,9	38	45,3	40,7	57,8	-
1,27	64,2	60,1	67,9	43,5	69	66,3	79,7	58,5	71	70,4	90,5	-
2,54	99,2	99,5	104,8	77,5	107,1	110,3	123,3	93,5	110,3	117,3	140,1	99
3,81	128,3	130,2	135,3	106,5	138,9	144,8	159,6	125,5	143,2	154,2	181,5	136
5,08	153,9	156,6	162,2	135	167,1	174,6	191,8	150	172,4	186	218,3	165



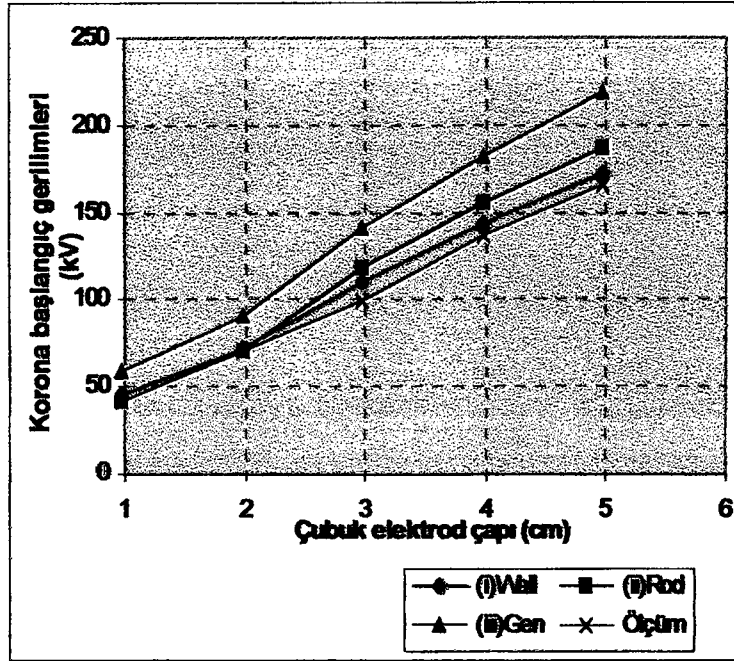
Şekil 5.2. Hesaplanmış ve ölçülmüş başlangıç gerilimleri sınırları olmayan çubuk-düzlem aralıklı (ii durum, çığ integral değeri 20)



Şekil 5.3a. $\int(\alpha-\eta)dl = 20$ durumu için hesaplanan ve ölçülen korona başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında ve sınır şartlarında değişim grafiği (S=50 cm)



Şekil 5.3b. $\int(\alpha-\eta)dl = 20$ durumu için hesaplanan ve ölçülen korona başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında ve sınır şartlarında değişim grafiği (S=100 cm.)



Şekil 5.3c. $\int(\alpha-\eta)dl = 20$ durumu için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında ve sınır şartlarında değişim grafiği ($S=150$ cm.)

Korona başlangıcı için Townsend Kriterine göre deşarjın başlaması ikincil iyonizasyon katsayısına (γ' ya) bağlı olacaktır. Burada;

$$\int(\alpha - \eta) dl = \ln [(1 + \gamma) / \gamma] \quad (5.3)$$

olup, Waters ve Stark (1975)' in geniş iç iletken çaplı koaksiyel geometrisi için yapmış olduğu ölçüm ve çalışmalar Zalesski (1948) tarafından önerilmiş ampirik yaklaşım ile benzerlik göstermiştir [29]. Her iki çalışmada da hesaplanan aynı başlangıç alan değerini veren ikincil iyonizasyon katsayısı $\gamma=10^{-4}$ bulunmuştur [15, 23].

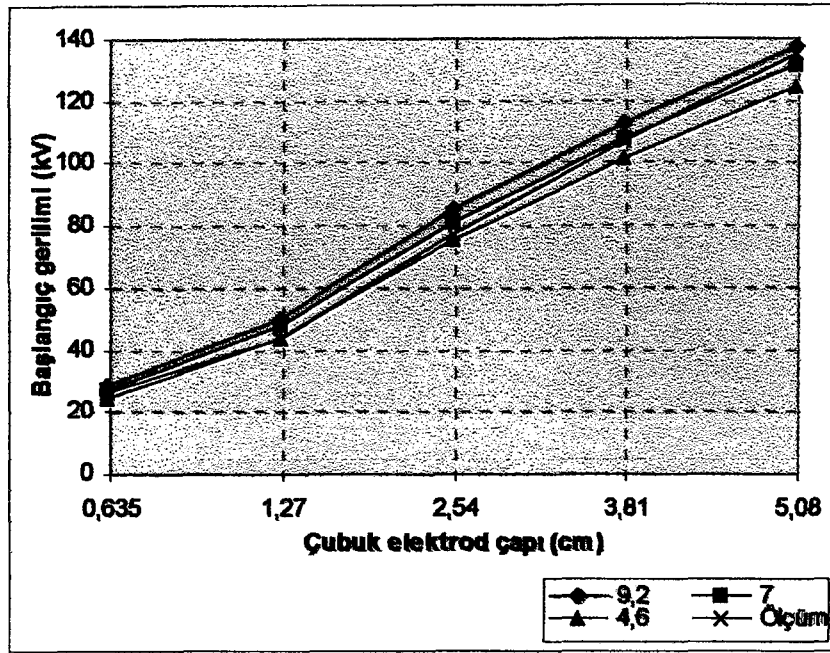
Bu çalışmada, ikincil iyonizasyon katsayısının optimum değerini belirlemede, etkin iyonizasyon katsayısı integralinin farklı değerleri için, hesaplanan ve ölçülen korona başlangıç gerilimleri karşılaştırılmıştır.

Eş. 5.3' de, ikincil iyonizasyon katsayısı 10^{-4} , 10^{-3} ve 10^{-2} değerlerine karşılık etkin iyonizasyon katsayı değerleri 9.2, 6.91 ve 4.6 olarak gelir. Hesaplamalarda bu değerler 20, 9.2, 7.0 ve 4.6 olan integral değerini kapsayacak şekilde araştırılmıştır. Bu farklı değerler, korona başlangıç geriliminin değişimlere olan hassasiyetini inceleme fırsatını verecektir. Her ne kadar hesaplanan değerler 20 değeri için yüksek çıksa da, ölçüm değişimine en uygun çözüm sonsuz çubuk durumu olduğundan, bu durum için hesaplanan değerler Çizelge 5.3' de verildiği gibidir.

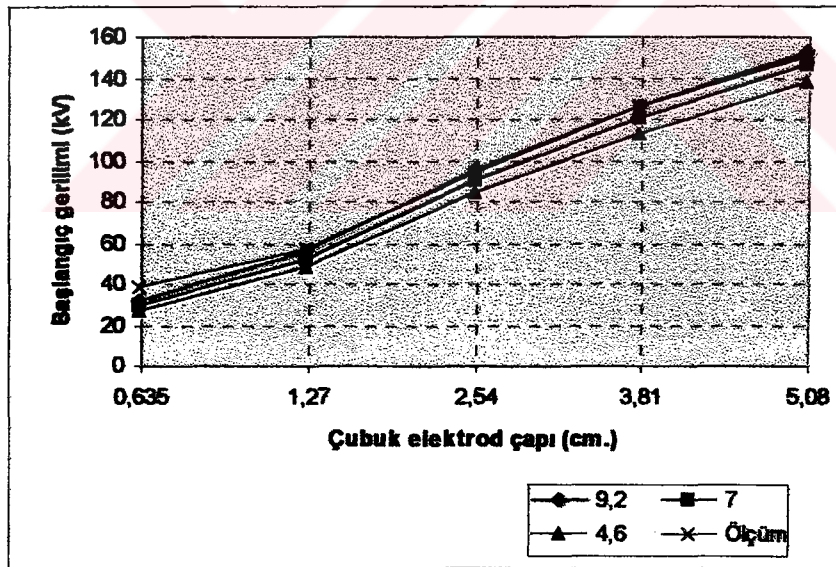
Çizelge 5.3. Farklı $\int(\alpha-\eta)d\ell$ değerleri için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin (kV) karşılaştırılması

Çubuk ϕ (cm)	S=50 cm.				S=100 cm.				S=150 cm.			
$\int(\alpha-\eta)$	=9,2	=7	=4,6	Ölçüm	=9,2	=7	=4,6	Ölçüm	=9,2	=7	=4,6	Ölçüm
0,635	28,4	26,5	24,1	26	31,2	29,2	26,5	38	33	30,9	28,1	—
1,27	50,1	47,3	43,5	43,5	55,2	52,1	48	56,5	58,6	55,4	51	—
2,54	85	80,8	75,4	77,5	94,2	89,6	83,6	93,5	100,1	95,3	88,9	99
3,81	112,7	107,8	101,2	106,5	125,4	119,9	112,5	125,5	133,4	127,6	119,8	136
5,08	136,8	131,2	123,8	135	152,6	146,4	138	150	162,5	155,9	147,1	165

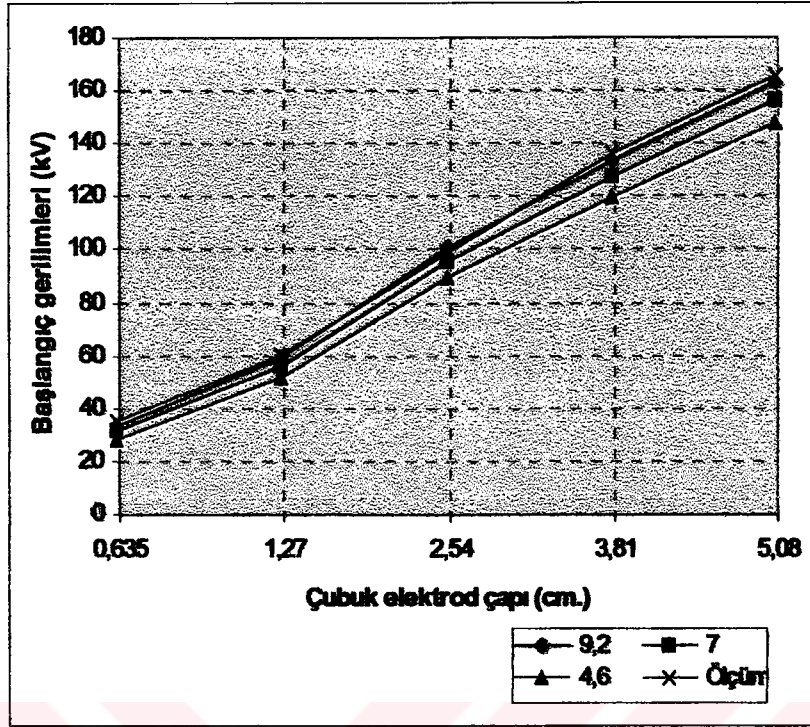
Bu çizelgeden görüldüğü gibi, integre edilmiş iyonizasyon katsayısı 7.0 ye eşit olduğunda, hesaplamalar ile ölçümler arasındaki çok yakın değerler bulunmuştur. Bu değişimleri değişik elektrod açıklıkları ve integre edilmiş etkin iyonizasyon katsayı değerleri için grafikler gösterirsek, Şekil 5.4' te görüldüğü gibi ilişkiler ortaya çıkar.



Şekil 5.4a. Farklı $(\alpha-\eta)dl$ değerleri için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında değişim grafiği (S=50 cm.)



Şekil 5.4b. Farklı $(\alpha-\eta)dl$ değerleri için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında değişim grafiği (S=100 cm.)



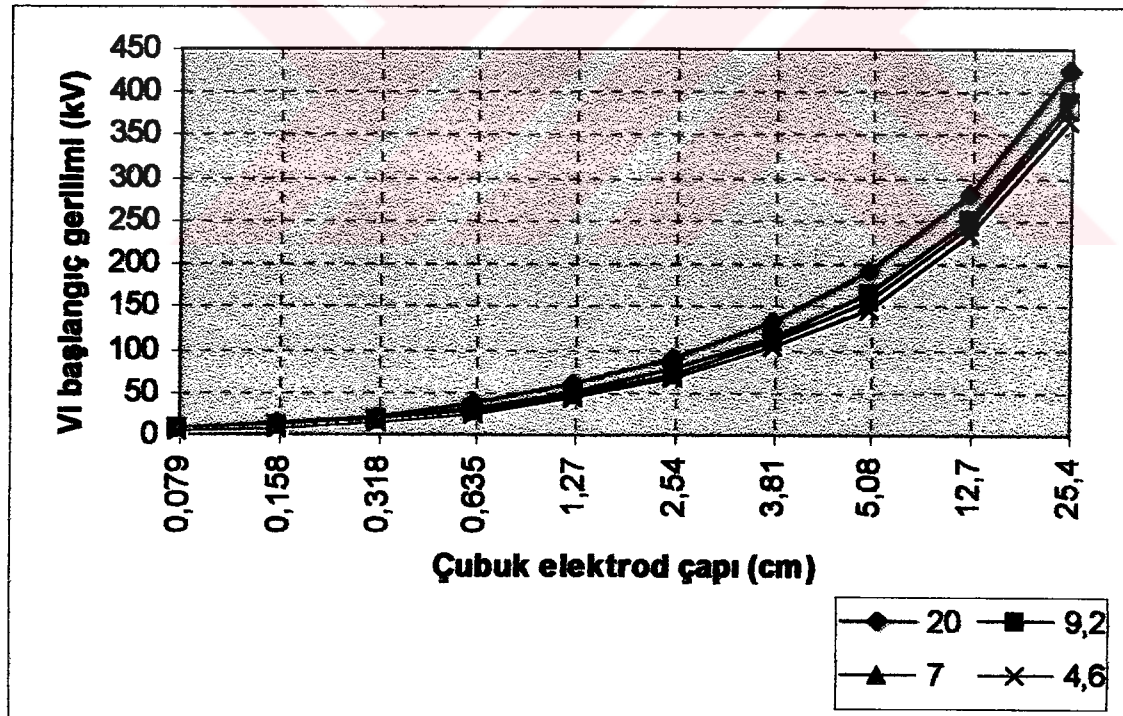
Şekil 5.4c. Farklı $[(\alpha-\eta)]$ değerleri için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında değişim grafiği (S=150 cm.)

Sadece başlangıç gerilimlerinin büyüklüğü değil, aynı zamanda ölçümlerin hesaplamalarla elektrod çapına göre değişiminin benzerliği de görülmektedir.

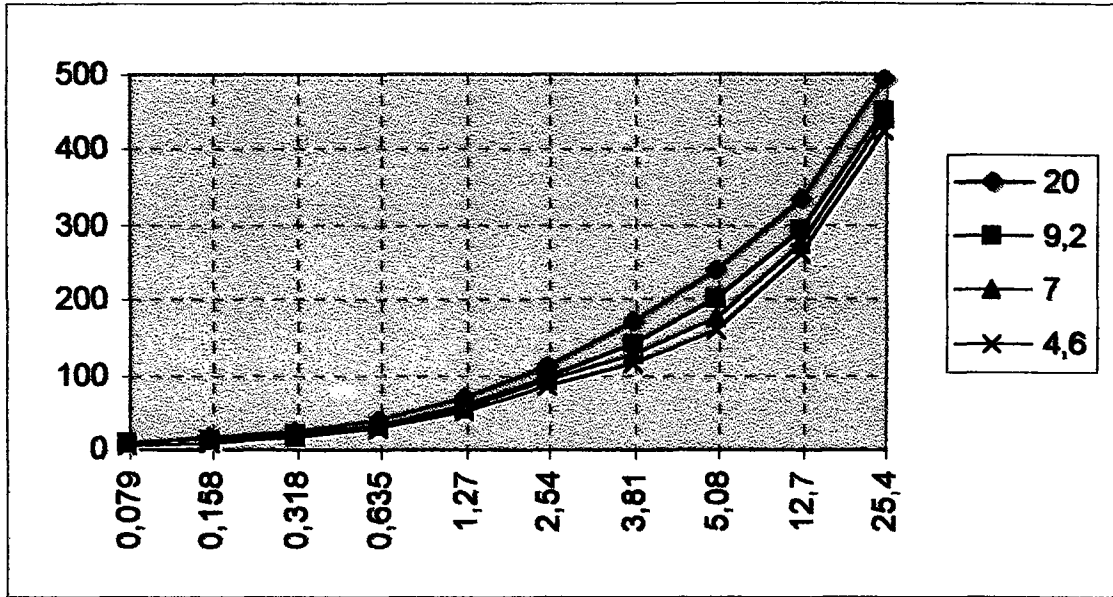
Çubuk çaplarının başlangıç gerilimine etkisini araştırmak için, ölçümlerin yapıldığı elektrot çaplarının dışına çıkılarak, hesaplamalar sonsuz çubuk durumunda 0,79 mm. den yüksek ve 25,4 mm. den düşük çubuk çapları için araştırılmıştır. Üç aralık mesafeleri (0.5 , 1.0 ve 1.5 metre) ve etkin iyonizasyon katsayılarının dört değeri (20 , 9.2 , 7.0 ve 4.6) için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4 de verildiği gibidir

Çizelge 5.4. Farklı $\int(\alpha-\eta)$ dl değerleri için çubuk çaplarının (1/32)" ile 10" arasındaki değerlerinde hesaplanan başlangıç gerilimleri (kV)

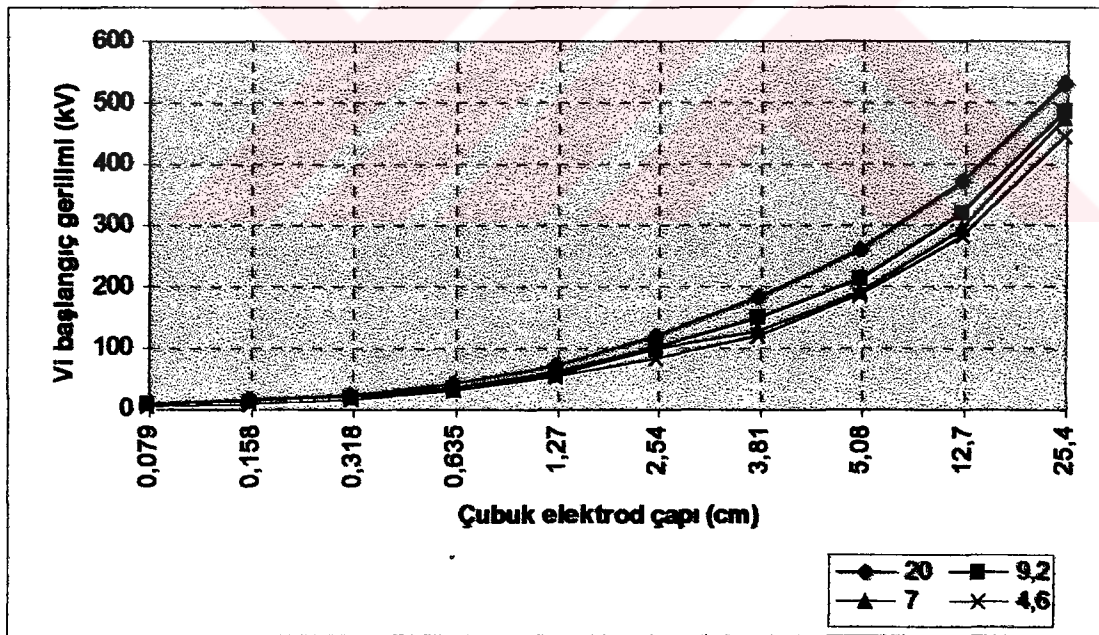
Çubuk ϕ (cm)	S=50 cm.				S=100 cm.				S=150 cm.			
$\int(\alpha-\eta)$	=20	=9,2	=7,0	=4,6	=20	=9,2	=7,0	=4,6	=20	=9,2	=7,0	=4,6
0,079	7,8	5,9	5,4	4,7	8,5	6,4	5,9	5,1	9	6,8	6,2	5,4
0,158	12,4	9,6	8,8	7,8	13,6	10,5	9,7	8,5	14,4	11,1	10,2	9
0,318	20,5	16,2	15	135,5	22,4	17,8	16,5	14,8	23,8	18,8	17,5	15,7
0,635	34,9	28,4	26,5	24,1	38,4	31,2	29,2	26,5	40,7	33	30,9	28,1
1,27	60,1	50,1	47,3	43,5	66,3	55,2	52,1	48	70,4	58,6	55,4	51
2,54	99,5	85	80,8	75,4	110,3	94,2	89,6	83,6	117,3	100,1	95,3	88,9
3,81	130,2	112,7	107,8	101,2	144,8	125,4	119,9	112,5	154,2	133,4	127,6	119,8
5,08	156,6	136,8	131,1	123,8	174,6	152,6	146,4	138	186	162,5	155,9	147,1
12,7	278,5	250,3	242,3	231,7	315,4	283,4	274,4	262,3	337,4	303,2	293,6	280,6
25,4	424,5	388,9	378,8	365,3	492,6	451,2	439,5	423,9	530,8	486,2	473,6	456,8



Şekil 5.5a. Farklı $\int(\alpha-\eta)$ dl değerleri için hesaplanan başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında değişim grafiği (S=50 cm.)



Şekil 5.5b. Farklı $J(\alpha-\eta)dl$ değerleri için hesaplanan başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında değişim grafiği (S=100 cm.)

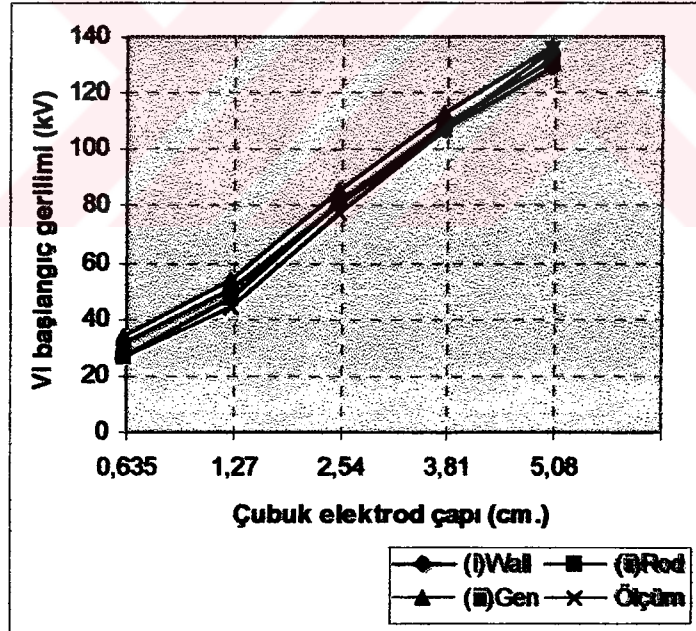


Şekil 5.5c. Farklı $J(\alpha-\eta)dl$ değerleri için hesaplanan başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk çaplarında değişim grafiği (S=150 cm.)

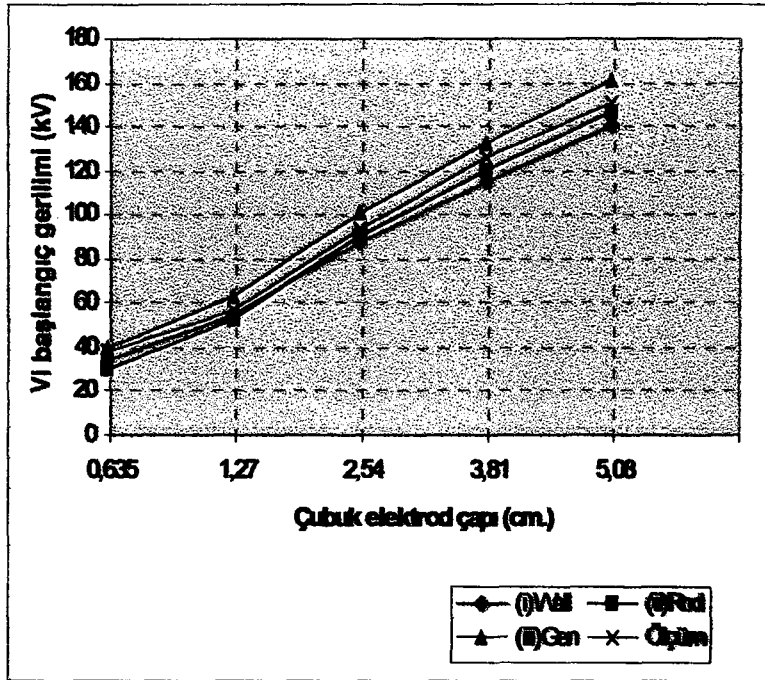
İyonizasyon katsayı integral değerinin 7 ye eşit olduğunda, hesaplanmış başlangıç değerleri Çizelge 5.5' te görülmektedir.

Çizelge 5.5. $\int (\alpha-\eta)dl = 7$ durumu için değişik sınır şartlarında hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin karşılaştırılması

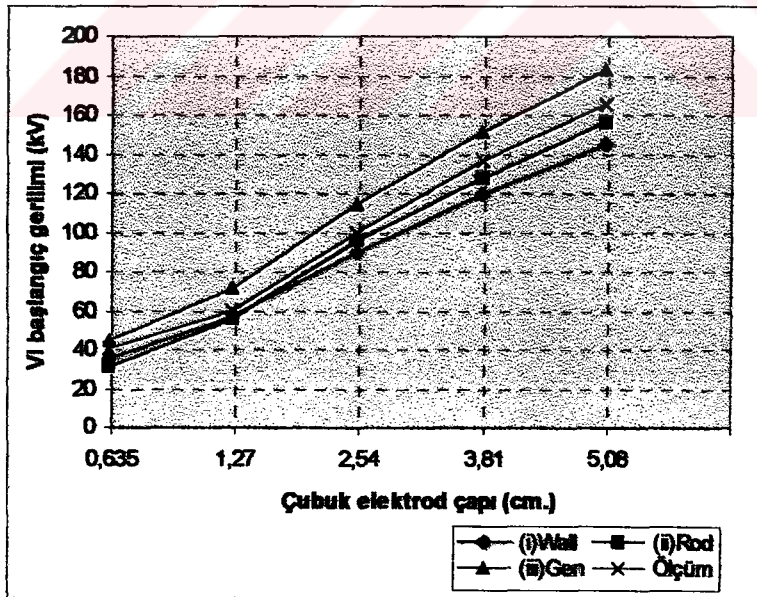
Çubuk ϕ (cm)	S=50 cm.				S=100 cm.				S=150 cm.			
	(i) Duvar	(ii) S.çubuk	(iii) Gen.	Ölçüm	(i) Duvar	(ii) S.çubuk	(iii) Gen.	Ölçüm	(i) Duvar	(ii) S.çubuk	(iii) Gen.	Ölçüm
0,635	31,2	26,5	33,1	26	33,6	29,2	38,8	38	34,5	30,9	44	—
1,27	50,5	47,3	53,5	43,5	54,3	52,1	62,7	56,5	55,9	55,4	71,2	—
2,54	80,6	80,8	85,1	77,5	87	89,6	100,2	93,5	89,7	95,3	113,9	99
3,81	106,2	107,8	112	106,5	114,9	119,9	132,1	125,5	118,5	127,6	150,3	136
5,08	129	131,2	135,9	135	140,1	146,4	160,8	150	144,5	155,9	183	165



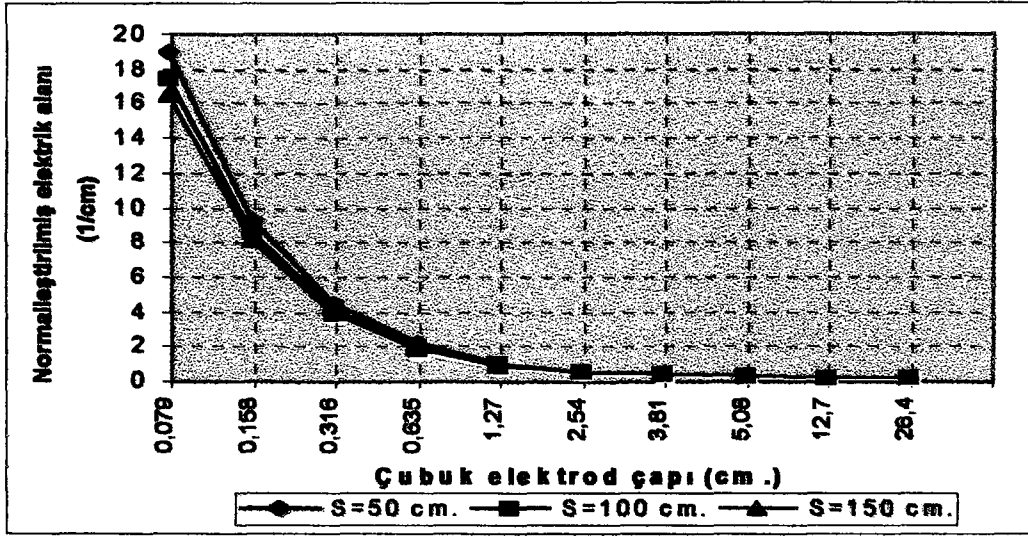
Şekil 5.6a. $\int (\alpha-\eta)dl = 7$ durumu için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk elektrot çaplarında değişim grafiği (S=50 cm.)



Şekil 5.6b. $\int(\alpha-\eta)dl = 7$ durumu için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk elektrot çaplarında değişim grafiği (S=100 cm.)

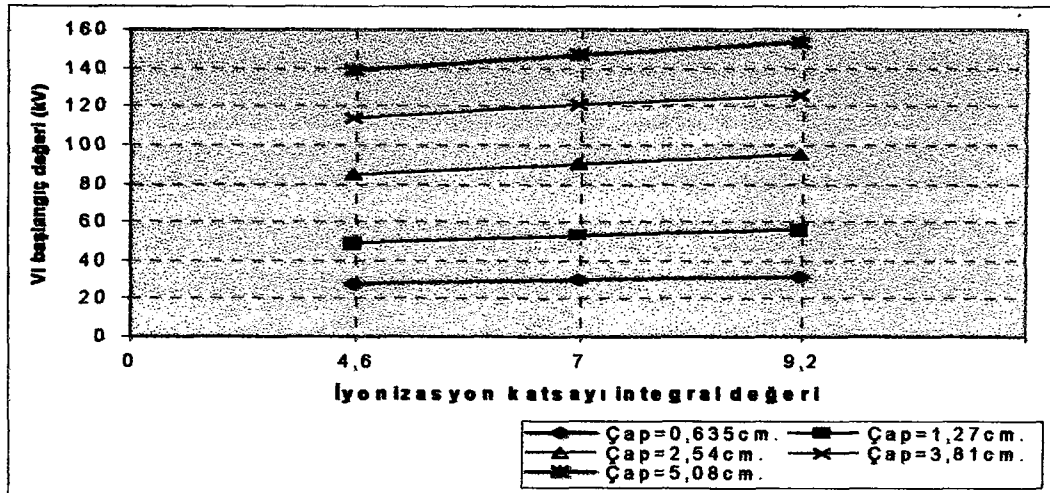


Şekil 5.6c. $\int(\alpha-\eta)dl = 7$ durumu için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimlerinin farklı çubuk elektrot çaplarında değişim grafiği (S=150 cm.)



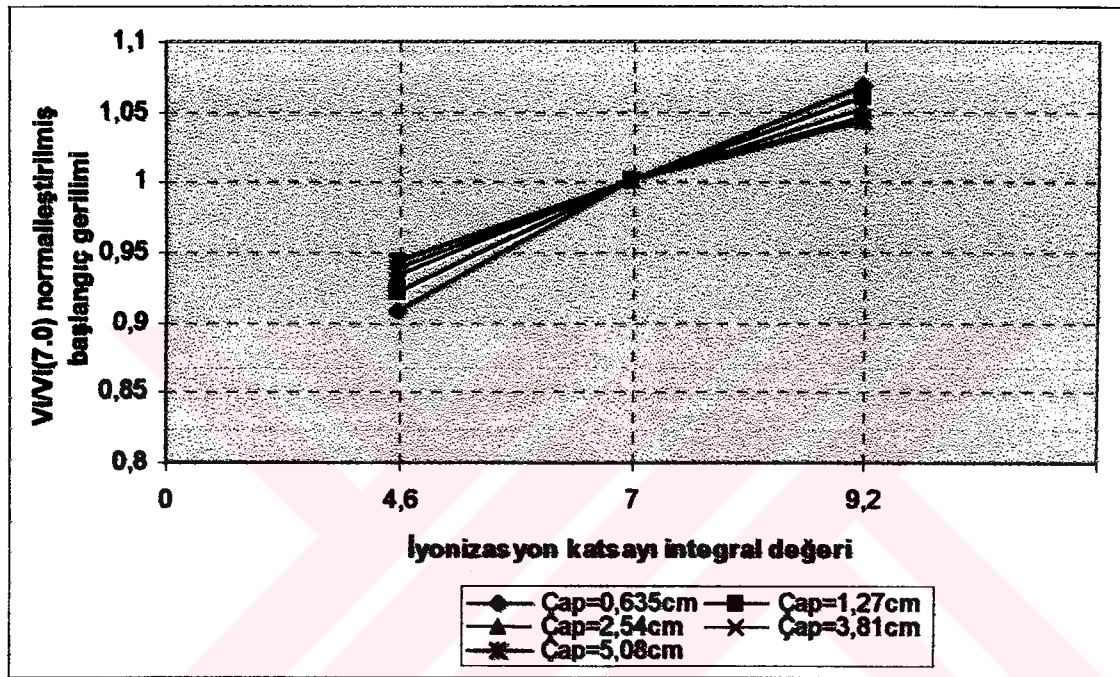
Şekil 5.7. Çubuk elektrod ucunda hesaplanan, etkin iyonizasyon katsayı integralinin 7' ye eşit olduğundaki başlangıç gerilimiyle normalleştirilmiş elektrik alan (cm^{-1}) değerlerinin farklı çubuk elektrod çaplarındaki değişim grafiği (durum (ii) sonsuz çubuk)

Başlangıç geriliminin etkin iyonizasyon integral değerine olan duyarlılığı Şekil 5.8' de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Başlangıç geriliminin iyonizasyon katsayı integral değerine göre değişim grafiği (S=100 cm.)

Başlangıç gerilimlerinin, etkin iyonizasyon katsayı integralinin 7' ye eşit olduğundaki başlangıç gerilimiyle, normalleşmiş değerleri Şekil 5.9' da verilmiştir.



Şekil 5.9. Normalleştirilmiş başlangıç gerilimlerinin iyonizasyon katsayı integraline göre değişimi (S=100 cm.)

5.3. Sonuç Analizi

Bu bölüm de, geniş elektrod aralık (S = 0,5 ile 2.0 metre arasında) çubuk-düzlem geometrisinde, ölçülen ve hesaplanan korona başlangıç gerilimlerinin karşılaştırması yapılmıştır.

Öncelikle, tüm çubuk çapları için elektrod aralığının korona başlangıç gerilimine etkisi hem deneysel verilerle, hem de hesaplamalarla gösterilmiştir. Sınır şartlarının generatör, duvar veya hiç bir sınır olmadan sonsuz uzunlukta çubuk şeklinde seçilmesi durumunda ve integre edilmiş etkin iyonizasyon katsayısı 20 için hesaplanan korona başlangıç gerilimleri Çizelge 5.2' de verilmiştir. Ölçüm ve hesaplamalarda, korona başlangıç gerilimlerinin küçük çubuk çapları için doğrusal olmayan, ancak büyük çubuk çapları için ise doğrusala çok yakın bir değişim gösterdiği bulunmuştur. Bu küçük çubuk çaplarında elektrik alanının doğrusal artmadığını artan çap ile doğrusallaştığı ve korona başlangıcında uzay yükünün etkisinin büyük olduğunu belirtir. Küçük elektrod çaplarında yüksek gerilim elektrotuna sınırların (çeper veya generatör) etkisi fazla görülmedi. Daha geniş çubuk çapları için başlangıç değeri, duvar ve generatör sınır durumlarından nispeten fazla etkilendikleri görüldü [23].

Korona başlangıç gerilimlerinin en iyi tahminleri, etkin iyonizasyon katsayısı integral değerinin 7.0 ye eşit, ikincil iyonizasyon katsayısının $\gamma \approx 10^{-3}$ olduğu Townsend Kriteri kullanılarak yapılmıştır. Fiziksel tanımlamalarda, bu yüksek değer daha önceki çalışmalarda görülmüşse de, bunun elektrot pürüzlü yüzeyinden veya alternatif olarak çığ büyümesinin istatistiksel doğasından olduğu düşünülebilir. Embriyo deşarj oluşumunda, lokal gaz ısınması ve gaz yoğunluğundaki azalma, bir E/p artışına neden olup ve böylece α değerlerine denk hale getirerek deşarji başlatabileceği şeklinde düşünülebilir [23].

Yine Yük-Simülasyon yardımı ile farklı integral değerleri için hesaplanan çığ uzunluk değerleri Çizelge 5.6' da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Farklı $[(\alpha-\eta)]$ dl değerleri için hesaplanan çıkış uzunluğu (cm)

Çubuk ϕ (cm)	S=50 cm.				S=100 cm.				S=150 cm.			
	=20	=9,2	=7,0	=4,6	=20	=9,2	=7,0	=4,6	=20	=9,2	=7,0	=4,6
0,079	0,059	0,046	0,042	0,037	0,059	0,046	0,042	0,037	0,059	0,046	0,042	0,037
0,158	0,095	0,074	0,067	0,059	0,095	0,074	0,068	0,058	0,095	0,074	0,068	0,058
0,318	0,152	0,117	0,107	0,093	0,152	0,118	0,107	0,093	0,153	0,117	0,107	0,093
0,635	0,244	0,188	0,17	0,147	0,244	0,188	0,17	0,147	0,244	0,188	0,17	0,147
1,27	0,397	0,298	0,269	0,231	0,392	0,299	0,269	0,232	0,381	0,297	0,271	0,231
2,54	0,621	0,468	0,423	0,364	0,618	0,47	0,423	0,362	0,622	0,468	0,424	0,362
3,81	0,809	0,606	0,547	0,469	0,807	0,61	0,548	0,471	0,808	0,61	0,55	0,467
5,08	0,967	0,729	0,657	0,561	0,971	0,726	0,657	0,562	0,989	0,729	0,656	0,562
12,7	1,735	1,295	1,172	0,994	1,729	1,293	1,165	0,998	1,738	1,298	1,174	0,994
25,4	2,686	1,999	1,807	1,529	2,665	1,998	1,794	1,542	2,684	2,005	1,805	1,534

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Korona deşarjının başlangıç voltaj ve elektrik alan değerleri çok önemlidir. Belirtildiği gibi, herhangi bir gaz yalıtkanlı yüksek gerilim cihazının tasarımı, bu gerilim seviyesinin altında gerçekleştirilir

Mevcut çalışmada, silindirik bir dış elektrodun yüzeyi boyunca doğrusal elektrik alan probu ile koaksiyel ve paraksiyel (off-axis) geometrilerde kullanılacak bir korona deney seti oluşturulmuş, başlangıç testleri yapılmıştır.

Paraksiyel sistem de iki boyutlu elektrik alanı düzgün-değildir, ancak elektrotlar arası bölgenin her noktasında analitik olarak hesaplanabilir. Alan dağılımının kontrolü basitçe Δ eksenel yer değişimi ile elde edilir. $\Delta=0$ değerinde sistem koaksiyel silindir geometrisindedir. $\Delta \rightarrow R$ için yaklaşık olarak önemli pratik konfigürasyon olan hat-düzlem elde edilir. Alanın homojen olmama seviyesi $E_{\max}/E_{\min}$ parametreleri ile ifade edilebilir. Korona şartları altında sınır şartları kompleks değildir, dolayısıyla paraksiyel sistem nümerik elektrik alan hesaplamaları için oldukça uygundur. Akım yoğunluğu ve elektrik alan profilleri dış silindir üzerindeki probun basitçe dönmesi ile elde edilebilir.

Çubuk-düzlem sistemi korona analizinde ilk kullanılan geometrilerden birisidir [16]. Bu sistemi oluşturmak oldukça kolaydır ve tek kaynaklı koronayı iyi temsil ettiğinden literatürde sıkça kullanılmıştır. Aktif elektrotun uç kısmının yarıçapı değiştirilerek değişik derecelerdeki elektriksel alan değişimi sağlanabilir. Bu geometride elektrostatik alan dağılımı genellikle analitik olarak hesaplanamaz ve dolayısı ile nümerik metotlara ihtiyaç duyulur. Birçok çubuk-düzlem elektrot geometrisi kullanılmıştır. Bunların arasındaki fark, çubuk elektrodunun şeklinden ortaya çıkmaktadır.

Bir koaksiyel silindir sisteminde korona başlangıcı, Laplas elektrik alanının korona teli etrafında radyal dağılımından dolayı simetrik olarak yer alır. Bundan dolayı başlangıç gerilimi öncelikle korona tel kesitine bağlıdır. Bir nokta-düzlem sisteminde korona Laplas alanının daha ıraksak (divergent) olduğu yerde başlar. Bunun için elektrotun uç şekline ve elektrot aralığına bağlıdır. Paraksiyel sistem durumunda, Laplas alan dağılımı tel üzerinde düzgün değildir ve bundan dolayı korona başlangıcı tel kesiti ile birlikte, Δ eksenel yer değişimine (off-axis) bağlıdır.

Yapılan deneylerden kritik elektrik alan şiddetinin polariteye çok az bağlı olduğu tesbit edilmiştir. Polaritenin negatif olması halinde, pürüzsüz iletkenlerde E alan şiddeti biraz daha yüksektir. Böylece pozitif polaritedeki elektrik alan şiddetine göre fark, sıkça kullanılan iletken çapları için (1-5 cm) çok küçük olduğundan birçok kez teorik araştırmalarda önemsenmemektedir.

Korona Akım-Gerilim karakteristiği koronanın önemli bir parametresidir. Elektrik alan ölçüm tekniklerinin geliştirilmeden önce, teorik modellerin tek kontrol parametresi idi (optik sonuçlar dışında). Değişik konfigürasyon ve şartlar için birçok araştırmacı Akım-Gerilim karakteristiklerine göre korona deşarjını analiz etmişlerdir. Sistem geometrisi ve ortam şartlarından bağımsız olarak korona Akım-Gerilim değişiminin, ikinci dereceden bağımlılığı tespit edilmiştir.

Akım yoğunluk dağılımının belirlenmesi özellikle, iletim hatlarının ve iyon kaynağı olarak korona deşarjını kullanan cihazların performansının analizinde temel teşkil eder. Akım yoğunluk profilleri, korona parametrelerinin teorik testi için de önemlidir.

Akım yoğunluğunu ölçmek çok basit olduğu halde, uzay yükü altında elektrik alan ölçümleri çok özel metotlar gerektirir. Kullanılacak ölçme metodunun seçiminde; aralık geometrisi, deşarjın tipi ve gerilim dalga şekli gibi faktörler gözönüne alınır.

Elektrod yüzeyinde elektrik alan profilleri ölçümünde önemli bir diğer etken ise, probun yerinin kolay bir şekilde değiştirilebilmesidir. Bu araştırmada paraksial sistem için elektrik alan ve akım yoğunluğu profilleri farklı gerilimlerde ve korona telinin farklı yer değişimlerinde ölçülmüştür.

İlk olarak hava içerisinde koaksial ve paraksial geometrilere ait korona parametrelerinin ölçümüne başlanmıştır. Hava ve N₂ içerisinde korona başlangıç voltajı ölçülmüş ve teorik neticelerle karşılaştırılarak birbirleri ile uyum içinde olduğu anlaşılmıştır.

Dış silindir çapı 100 mm. olan bir koaksial sistemde, iç iletken çapı koaksial geometri için 0.28, 0.56 ve 0.91 mm. seçilerek, hava ve N₂ ortamlarında basıncın 152 Torr, 304 Torr, 456 Torr, 608 Torr ve 760 Torr değerlerinde korona başlangıç gerilimleri incelenmiştir. Paraksial geometri için ise iletken çapı 0.56 mm. olan korona iletkeni kullanılmış ve aksial sapma ise $\Delta = 15, 21$ ve 30 mm. olarak seçilmiştir.

Korona başlangıç voltajları deney setindeki dış silindir üzerindeki akım toplayıcısı ile voltajın dereceli olarak yükseltilip düşürülmesi ile ve dış silindir akımının $I \approx 0.5 \mu A$ ölçülmesiyle bulunmuştur.

Koaksial sistem için bu çalışmada korona başlangıç voltajına en fazla etki eden etkenlerden iletken çapı ve hava basıncı ve nem oranı test edilmiştir. Koaksial korona için Peek' in başlangıç elektrik alanı ile iletken çapı ve

hava yoğunluğu arasındaki bağıntılar ile Townsend kriteri ve Waters tarafından deneysel neticelerden elde edilmiş ve basınç parametresini de içeren ampirik formülü kullanarak korona başlangıç voltaj değerleri yapılan ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Yük- Simülasyon programında Townsend kriteri ve Harrison & Gabelle' e ait etkin iyonlaşma katsayısı ($\alpha - \eta$) değerleri kullanılarak da korona başlangıç değerleri tespit edilmiştir. Hava ortamındaki korona başlangıç voltaj ve elektrik alan ölçüm değeri ile integre edilmiş etkin iyonlaşma katsayısı (=7) için hesaplanmış değerler, iletken çapı 0,56 mm için yapılan ölçümler ile yapılan ölçümler ile karşılaştırılmıştır. Ölçümler ile hesaplamaların birbiriyle uyum içinde olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışmada per-unit uzunlukta korona akımının $I_{(A+B+C)}$ değerleri, toplam korona akımı her üç iletken çapı (0.91 mm - 0.56 mm - 0.28 mm) için normal ve kuru hava içerisinde hassas bir elektrometre ile ölçülmüştür. İlk olarak korona akımının voltajla ikinci dereceden değişimi ve azalan iletken çapı ile korona akımının artışı belirgin bir şekilde görülmüştür. İletken çapının azalması sonucunda artan elektrik alan şiddeti, iyon hareketliğinde ve uzay yükündeki artış toplam korona akımının artmasına sebep olmuştur.

Paraksiyel sistem iki boyutlu elektrik alanı düzgün olmamasına rağmen elektrodlar arası bölgede elektrik alanının analitik olarak hesaplanması mümkün olmakla beraber sınır şartlarının kompleks olmayıp, silindirik olması dolayısıyla nümerik alan hesaplamaları içinde elverişli bir geometridir. Paraksiyel geometride iç iletken üzerindeki maksimum elektrik alan şiddeti artan aksiyel yer değişimi ile arttığından, korona başlangıç voltajı da buna bağlı olarak azalmıştır. Modelleme için elektrik alan şiddeti, aksiyel yer değişim Δ' ya ve iç iletkenin etrafındaki pozisyona bağlı olduğundan, korona başlangıç voltajı maksimum elektrik alan şiddeti değeri ile kontrol edildiğini varsayan bir ampirik metot kullanılmıştır. Koaksiyel sistemde olduğu gibi paraksiyel sistemde de I-V

karakteristiğinin ikinci dereceden değişimi, her Δ değeri için görülmüştür. Dış silindir üzerindeki akım yoğunluğu dağılımı Lineer probun üzerindeki A kollektörünün dönüş açısı θ 'nın fonksiyonu olarak bulunmuştur. Dış silindir üzerindeki bu akım yoğunluğu profillerinin integrali, ölçülen $I_{(A+B+C)}$ akımı ile bütün Δ değeri için % 2 hata sınır içerisinde olduğu görülmüştür. Akım yoğunluğu profilinin büyüklüğü, I-V eğrilerinde olduğu gibi, uygulanan gerilim ve aksiyel yer değişimi Δ 'ya bağlıdır. Maksimum akım yoğunluğunun ($\theta=0$ iken) değişimi yine ikinci derecedendir. Maksimum akım yoğunluğu değerine göre normalize edilmiş akım yoğunluğu profillerinin ($I/I_{\max}$) ise, uygulanan gerilimden bağımsız olduğu görülmüştür. Elektrik Alan profillerinin akım yoğunluğu profillerine göre Δ 'ya daha az hassas olduğu anlaşılmıştır. $\theta=0$ için $E_{\max}$ bulunmuş ve ölçülen değerler buna göre normalize edilmiştir. Paraksiyel korona parametreleri ise normal hava basıncının % 100 ile % 60' ı kadar olan 760- 456 Torr aralığındaki hava yoğunluğunda analiz edilmiştir. Bu basınç aralığı pratikte genel olarak yüksek yerlerden geçen taşıma hatlarına ait korona bilgilerini içermektedir. İyonların hareketliliğinin, basınçla ters orantılı olarak değişip, düşük basınçlarda düşük korona başlangıç akım ve alan değerleri ve yüksek korona akımları gözlemlenmiştir. Koaksiyel ve paraksiyel geometri deneyleri pozitif polaritede ve değişik hava şartlarında yapılmıştır. Akımın voltajla doğrusal olmayan değişimi her iki geometri için de gözlemlenmiştir. Dış silindir üzerinde yapılan akım yoğunluğu, uygulanan voltaj ile aynen toplam korona akımına benzer değişim gösterirken, elektrik alan değişimi ise gerilim ile tüm aksiyel sapmalar için doğrusal bir değişim göstermiştir. Ayrıca normalize edilmiş dağılımların uygulanan gerilimden bağımsız ve birbiriyle olan ilişkileri sabit bir üstel fonksiyon ile korona iletken çapına bağlı olmaksızın bulunmuştur.

Çubuk / düzlem geometrileri için 0.5 , 1.0 , 1.5 metre elektrod aralığında negatif dc korona karakteristikleri hesaplanmıştır. Korona başlangıç gerilimleri, çubuk çaplarının bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Korona başlangıç gerilimlerinin hesaplaması bir yük simülasyon programından faydalanılarak yapılmıştır. Bu programda Townsend çığ mekanizması gözönüne alınarak korona başlangıç gerilimlerinin hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Bu programda Harison ve Geballe' nin etkin iyonizasyon katsayısı ($\alpha - \eta$) verileri ampirik bir formül ile ifade edilmiştir. İkincil iyonizasyon katsayısının optimum değerini belirleyen düzenlemede, etkin iyonizasyon katsayısı integralinin farklı değerleri için hesaplanan ve ölçülen başlangıç gerilimleri karşılaştırılmıştır. İkincil iyonizasyon katsayısı 10^{-4} , 10^{-3} ve 10^{-2} değerlerine karşılık gelen etkin iyonizasyon katsayısı 9.2, 6.91 ve 4.6 değerleri için korona başlangıç değerleri hesaplanmış ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çubuk çaplarının başlangıç gerilimine aşırı etkisini araştırmak için, sonsuz çubuk ve düzlem durumunda, 0,79 mm. ve daha büyük, 25,4 mm. ve daha küçük çubuk çaplarının kullanıldığı detaylı hesaplamalar yapılmıştır. Üç aralık mesafeleri (50, 100, 150 cm) ve iyonizasyon katsayılarının etkin dört değeri (20 , 9.2 , 7.0 ve 4.6) için sonuçlar çizelgelerle birlikte verilmiştir.

Çok geniş elektrot aralıklarına bölünmüş (S = 0,5 ile 2.0 metre arasında) çubuk-düzlem geometrisinde ölçülen ve hesaplanan korona başlangıç gerilimlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Bütün çubuk çaplarında, aralık mesafesinin korona başlangıç gerilimine önemli etkisi, hem deneysel verilerle hem de hesaplamalarla belirtilmiştir. Gerçek sistemde generatörün bulunduğu durumda, korona başlangıç voltajının daha yüksek olduğu yakınlık etkisinden (proximity effect) dolayı bulunmuştur. Ölçümlerde ve hesaplamalarda korona başlangıç gerilimleri küçük çubuk çapları için doğrusal olmayan, ancak büyük çubuk çapları için ise daha

doğrusal olan bir değişim göstermiştir. Korona başlangıç gerilimlerinin en iyi tahminleri, etkin iyonizasyon katsayısı integral değerinin 7.0 ye eşit, ikincil iyonizasyon katsayısının $\gamma \cong 10^{-3}$ olduğu bir Townsend Kriteri kullanılarak yapılmıştır. Fiziksel terimlerde, bu yüksek değer, elektrot yüzeyinin pürüzlü olmasından veya alternatif olarak çığ büyümesinin istatistiksel doğasından olduğu şeklinde tanımlanabilir.

Endüstriyel uygulamalardaki elektrot sistemleri, çoğunlukla analitik ifadelerle çözüm bulmanın mümkün olmadığı; deneysel yöntemlerin ise çok karmaşık ve uzun zaman alan elektrot modeli yapımını gerektirdiği oldukça karmaşık sistemlerdir. Böyle durumlarda sayısal çözüm yöntemleri kullanılmaktadır. Boşalma olaylarının incelenmesinde başarıyla kullanılan bir sayısal yöntem olan Yük Simülasyon Yönteminin (YSM) diğer sayısal yöntemlerden Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Sonlu Farklar Yöntemine göre birçok avantajlarının olduğu görülmüştür [24, 25, 26]. Bu yöntemler ileri matematik bilgisi, karmaşık bilgisayar programı ve uzun hesaplama süresi gerektirirken, YSM' nin basit bilgisayar programları ile uygulanabilmesi yanında, hesaplama süresinin de oldukça küçük olduğu görülmüştür. YSM'nin uygulanmasında yeni yük tipleri tanımlanarak yöntemin verimi daha da arttırılabilir. Bundan dolayı YSM yeni uygulamalara ve çalışmalara açık bir methodur. Ekler kısmında, tez araştırmasında kullanılan YSM programının algoritması ve dökümü detaylıca verilmiştir.

6.2. Öneriler

Öncelikle değişik gaz ortamlarında SF₆ ve N₂ karışımlarında mevcut geometrilerin korona deşarj parametrelerinin analizi ve mevcut çalışmalarla karşılaştırılması

olacaktır. Mevcut deney seti ve ölçüm sistemi ile ikiz iletken gibi daha karmaşık pratik geometrilerde korona deşarj parametrelerinin analizi gelecekteki araştırma konularının temel teması olacaktır.



KAYNAKLAR

1. Kuffel, E. , Zaengel , W.S., 1984, High Voltage Engineering, **Oxford University Press**, Pergamon.
2. Townsend , J. S., 1914, Electricity in Gases, **Oxford University press**.
3. Harid, N., 1990, Impulse Voltage Testing of Phase Conductor Models, PhD thesis, **University of Wales College of Cardiff**, UK.
4. Sebo , S.A., Caldecott , R. , Kasten ,D.G., 1982, Model study of hvdc electric field, **IEEE Trans. PAS**, Vol. PAS-101, No.6, pp. 1743-1756.
5. Alston, L.L., 1968, High Voltage Technology, **Oxford University Press.**, London
6. Loeb, L.B., 1965, Electrical Coronas, **University of California Press**, USA.
7. Meek, J.M., Craggs, J.D., 1953, Electrical Breakdown of Gases, **Oxford, Clarendon Press**.
8. Peek, F.W., 1929, Dielectric Phenomena in High Voltage Engineering, **McGraw-Hill**, New York.
9. Bouziane , A., 1991, Charge Transport in Corona Discharge, Doktora Tezi, **University of Wales College of Cardiff**, UK.
10. Sarma , M.P., 1982, Corona generated space charge environment in the vicinity of hvdc transmission lines, **IEEE Trans. EI**, Vol. EI-17, No. 2, pp.125-130.
11. Waters, R.T., Rickard , T.E.S. , Stark , W.B., 1972, Direct measurement of electric field at line conductors during a.c corona, **Proc. IEE**, Vol. 119, No.6 , pp. 188-190.
12. Bouziane , A., Taplamacioglu , M.C., Hidaka K., Jones J.E., Rowlands A.R. , Waters, R.T., 1990, Generalised representation of corona current and field distribution in hvdc lines, **Proc. 25 th Universities Power Engineering Conference**, Aberdeen, U.K., pp. 207-210.
13. Taplamacioglu, M. C., Hidaka , K., Waters , R.T., 1993, **VIII. Int.Symp.on High Voltage Engineering**, pp.325-328

14. **Taplamacıoğlu , M. C., 1993, Electric Field and Potential Modification by Corona in High Voltage Systems, Doktora Tezi, University of Wales College of Cardiff, UK.**
15. **Waters , R.T., Stark , W.B., 1975, Characteristics of Stabilised Glow Discharge in Air, J. Phys. D: Appl. Phys. , Vol.8, pp.416-426**
16. **Warburg , E., 1899, Über die Spitzenentladung, Wied. Ann., Vol. 67, pp. 68-93.**
17. **Bouziane , A., Hidaka K., Taplamacıoğlu , M.C., Waters , R.T., 1994, Linear-geometry electric-field probe for DC corona measurements, IEE Proceedings of Science, Meas. and Tech., Vol 141, No. 2, pp 111-117.**
18. **Sarma, M.P. and Janischewskyj, W., 1969, Analysis of corona losses on dc transmission lines, Part-I unipolar lines, IEEE Trans. PAS, Vol. PAS-88, pp.718-731.**
19. **Trinh , N.G., Maruvada , P.S. , Poirier , B., 1974, A comparative study of the corona performance of conductor bundles for 12 kV. transmission lines, IEEE Trans. Power App. and Syst. , Vol. PAS-93, pp. 940-949.**
20. **Bouziane, A., Taplamacıoğlu , M.C., Hartmann G. , Waters R.T., 1989, Calibration of a linear probe for coaxial dc corona experiments, VI.International High Voltage Engineering Symposium, paper, 42.01, New Orleans, USA.**
21. **Durbin , P.A., Turyn , L., 1987, Analysis of the positive dc corona between coaxial cylinders, J. Phys. D: Appl.Phys., Vol.20, pp.1490-1495.**
22. **Hartmann, G., 1984, Theoretical evaluation of Peek's law, IEEE Trans. On Ind.Appl., Vol. IA-20, No.6, pp.1647-1651**
23. **Taplamacıoğlu, M. C., Allibone T.E., Hidaka K., Sounderson J.C., Waters R.T., 1992, Corona inception voltages for large electrode spacings, X. Int.Conf. on Gas Disch. and Their Applications, pp.262-265, Swansea, U.K.**
24. **Nosseir, A., Zaky, A.A., Aug. 1977, Application of the method of charge simulation, IEEE Trans. On Elect. Insul, Vol. 12, No.4, pp. 262-266**

25. Malik, N.H., 1989, A review of the charge simulation method and its application, **IEEE Trans. Electrical Insulation**, Vol. 24, No. 1, pp 3-20.
26. Yializis, A., Kuffel, E., Alexander, P.H., 1978, An Optimized Charge Simulation Method for the Calculation of High Voltage Fields, **IEEE Trans. on PAS**, Vol. 97, No. 6, pp. 2434-2440.
27. Bouziane , A., Hidaka, K., Jones , J.E., Rowlands, A.R., Taplamacioglu, M.C. , Waters , R.T., May 1994, Paraxial corona discharge Part 2: Review, instrumentation and experiments, **IEE Proc.**, Vol 141, No. 3, pp 205-214.
28. Singer, H., Steinbigler, H., Weiss, P., 1974, A Charge Simulation Method for the Calculation of High Voltage Fields, **IEEE Trans. on PAS**, Vol. 93, pp. 1660-1668.
29. Zalesski, A.M., 1948, **Trudy LPI**, No.3, pp.94.
30. Hidaka, K., 1990, Electric Field Computation Programme, **Original Version Ver. 1.0**, The University of Tokyo, Japan.



EK

EK

YÜK SİMÜLASYON PROGRAMI İLE ÖRNEK KORONA

BAŞLANGIÇ GERİLİMİ HESAPLANMASI

EK.1.1. GİRİŞ

Endüstriyel uygulamalardaki elektrot sistemleri, çoğunlukla analitik ifadelerle çözüm bulmanın mümkün olmadığı; deneysel yöntemlerin ise çok karmaşık ve uzun zaman alan elektrot modeli yapımını gerektirdiği oldukça karmaşık sistemlerdir. Böyle durumlarda elektrik alan ve potansiyel değerleri için sayısal çözüm yöntemleri kullanılmaktadır.

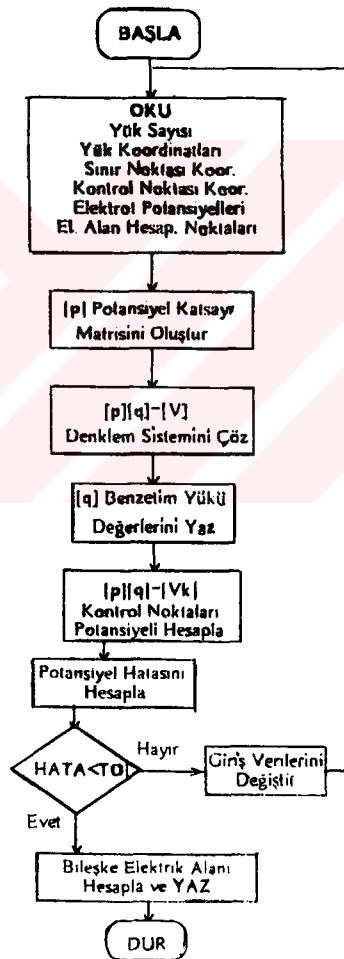
Boşalma olaylarının incelenmesinde başarıyla kullanılan bir sayısal yöntem olan Yük Simülasyon Yönteminin diğer sayısal yöntemlerden Sonlu Elemanlar Yöntemi ve Sonlu Farklar Yöntemine göre birçok avantajlarının olduğu görülmüştür. Bu yöntemler ileri matematik bilgisi, karmaşık bilgisayar programı ve uzun hesaplama süresi gerektirirken YSM' nin basit bilgisayar programları ile uygulanabilmesi yanında, hesaplama süresinin de oldukça küçük olduğu görülmüştür. Yük sayısı arttıkça hesaplama süresi artmaktadır.

YSM ile noktasal ve sonsuz çizgisel yüklerle yapılan uygulamalarda oldukça iyi doğrulukta sonuçlar elde edilir. Yüklerin uygun yerlere yerleştirilmesi daha az yük ile yeterli doğrulukta benzetim yapılabilmesini sağlamaktadır.

Elektrik alanların incelenmesinde etkin bir yöntem olarak ortaya çıkan ve son yıllarda birçok alan problemine başarı ile uygulanan YSM'nin uygulanmasında yeni yük tipleri tanımlanarak yöntemin verimi daha da arttırılabilir. Bundan dolayı YSM yeni uygulamalara ve çalışmalara açık bir metottür.

EK.1.2. PROGRAM ALGORİTMASI

Yük Simülasyon Metodu kullanarak Elektrik Alan Hesaplama Programı (EFC) -Ver.8.0- , K. Hidaka tarafından 1994 yılında geliştirildi. Ms-Fortran yazılımıyla oluşturulan bu program, iki boyutlu geometride ve eksenel simetrik geometride elektrik alan hesabı yapar. Eş potansiyel çizgileri ve alan profillerinin grafik çıktısını verir. İyonizasyon etkinliğini ve korona başlangıç gerilimini hesaplar [30]. Program algoritması Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. YSM programı akış diyagramı

EK.1.3. PROGRAMIN MS-FORTRAN YAZILIMI

```

C*****
C * Yük Simülasyon Programı ile Elektrik Alan ve Korona *
C * Başlangıç Gerilimi Hesaplaması *
C*****

C  X(1,1)=R R:R-HESAPLAMA NOKTASI KOORDİNATI
C  X(2,1)=Z Z:Z- HESAPLAMA NOKTASI KOORDİNATI
C  CGPOS : YÜKLERİN POZİSYONU
C  RINKAK : KONTUR NOKTASININ KOORDİNATI
C  IRGONC : YÜKLERE AİT BÖLGE NUMARASI
C  IRGONR : KONTUR NOKTASINA AİT BÖLGE NUMARASI
C  JRGONR : KONTUR NOKTASINA AİT SONRAKİ BÖLGE
NUMARASI
C  THETAR(NRINK) : KONTUR NOKTALARI EĞİMLİ
C  CHECKP : KONTROL NOKTALARI KOORDİNATI
C  THETAK(KENSA) : KONTROL NOKTA EĞİMLİ
C  IRGONK(KENSA):KONTROL NOKTASINA AİT BÖLGE NUMARASI
C  JRGONK(KENSA):KONTROL NOKTASINA AİT SONRAKİ BÖLGE
NUMARASI
C  IP : YÜKLERİN TİPİ
C  NRGION : NE KADAR BÖLGEDİR?NRGION 2 DEN DAHA BÜYÜK
OLMASI GEREKİR.
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      DIMENSION V(180),X(2,2),CE(2),RINKAK(2,180),THETAR(180)
      1 ,IRGONR(180),JRGONR(180),IRGONK(180),JRGONK(180),
      2 THETAK(180),CHECKP(2,180),CKIND(4),VST(180)
      3 ,PSTR(180),VS(180),VCHK(180)
      COMMON
IP(180),Q(180),IRGONC(180),CGPOS(2,180),EPSLNS(10),
*   NCG,NALL
      COMMON /P5/P(181,181)
      COMMON /SP/DIRECT(180),OPANGL(180)
      COMMON /CI/ICINF(200,3),CINF(200,11),NCINF
      COMMON /CJ/ICCHEK,IEPMIN,CRMIN,CRMAX,CZMIN,CZMAX
      CHARACTER YES,YES1,DRV
      CHARACTER IFIG(80,100),IGC,IGP,IGM,IGI,IBL
      CHARACTER
RES,RESP,FILEIN,STOREQ,RESPON,ANSQ,PRINT,FILIN2
      CHARACTER*5 CKIND
      DATA CKIND/5HPOINT,4HLINE,4HRING,4HDISK,

```

```

1      3H***,5HINF-L,5HCQDSK,5HVQDSK/
DATA PAI/3.1415926535897932384D0/
DATA YES,YES1/1HY,1Hy/
RAD=PAI/180.D0
NCINF=0
ICCHEK=0

```

C

```

10 FORMAT(I2,I3)
30 FORMAT(8F8.4)
1  FORMAT(A1)
2  FORMAT(2I5)
3  FORMAT(4F10.4)
4  FORMAT(2I5,F10.4)
9  FORMAT(2F12.5,I5,2X,4F12.5)

```

C

C PROGRAM BAŞLATMA

C

```

OPEN(40,STATUS='BILINMEYEN',FILE='D:DATA3.DAT')
WRITE(6,9956)
READ(5,1) RESP
IF(RESP.EQ.YES1) RESP=YES
IF(RESP.NE.YES) GO TO 9900

```

C ekran No.1

```

WRITE(6,9966)
READ(5,1) RES

```

C ekran No.2

```

IF(RES.NE.'Q') THEN
  WRITE(6,9976)
  WRITE(6,9978)
  WRITE(6,9980)
END IF
READ(5,1) RES

```

C ekran No.3

```

IF(RES.NE.'Q') THEN
  WRITE(6,9986)
  WRITE(6,9988)
END IF

```

9900 CONTINUE

```

WRITE(6,9955)
READ(5,1) FILEIN
IF(FILEIN.EQ.YES1) FILEIN=YES

```

C açıklamanın okunup okunmadığını belirt.

IF(FILEIN.EQ.YES)THEN

OPEN(10,STATUS=' BILINMEYEN',FILE='D:DATA4.DAT')

WRITE(10,1) 'N'

C girdilerin yeniden düzenlenip düzenlenmediğini belirt.

WRITE(10,1) 'N'

END IF

C

IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,9957)

READ(5,1) STOREQ

IF(STOREQ.EQ.YES1) STOREQ=YES

IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,1) STOREQ

IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,100)

READ(5,*) IANS

IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,2) IANS

IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,103)

READ(5,102) RESPON

102 FORMAT(A1)

IF(RESPON.EQ.YES1) RESPON=YES

IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,1) RESPON

NCG=0

IF(RESPON.EQ.YES.OR.IANS.NE.1) ANSQ=YES

IF(IANS.EQ.3) THEN

NRGION=1

EPSLNS(1)=1.0D0

GO TO 5890

END IF

150 MTNO=0

CALL

SETPOS(NRGION,EPSLNS,NCG,CGPOS,IRGONC,IP,NRINK,RINKAK,IRGO
NR,

1

JRGONR,THETAR,VST,KENSA,CHECKP,IRGONK,JRGONK,THETAK,VCHK
,RESPON,

2 VHIGH,VLOW,FILEIN)

NALL=NCG

IF(NCG.LE.0) GO TO 5200

45 CONTINUE

WRITE(6,155) NRINK

155 FORMAT(1H /KONTUR NOKTALARININ TOPLAM SAYISI=',I4/)

WRITE(6,156) NCG

156 FORMAT(1H,'YER DEĞİŞTİRİLEN YÜKLERİN TOPLAM
SAYISI=',I4/)

C

IF(STOREQ.EQ.YES) GO TO 9010

C

C **P=P(I,J) MATRİSİ HESAPLAMA**

C

I=1

K=0

IFREEB=0

160 CONTINUE

IMK=I-K

X(1,1)=RINKAK(1,IMK)

X(2,1)=RINKAK(2,IMK)

190 IF(EPSLNS(JRGONR(IMK)).GE.1.0D0) GO TO 220

IF(EPSLNS(JRGONR(IMK)).GE.-0.99D0) THEN

C METAL OLUSUMLU J BOLGE NUMARASI.

DO 210 J=1,NCG

IF(IRGONR(IMK).EQ.IRGONC(J)) GO TO 238

X(1,2)=CGPOS(1,J)

X(2,2)=CGPOS(2,J)

CALL AXSYM(IP(J),1,X,P(I,J),CE)

GO TO 210

238 P(I,J)=0.D0

210 CONTINUE

V(I)=VST(IMK)

ELSE

C IZOLE EDİLMİS METALDEN OLUSAN J BOLGE NUMARASI.

IF(JRGONR(IMK).NE.IFREEB) THEN

IFREEB=JRGONR(IMK)

DO 212 J=1,NCG

IF(IRGONR(IMK).NE.IRGONC(J)) THEN

X(1,2)=CGPOS(1,J)

X(2,2)=CGPOS(2,J)

CALL AXSYM(IP(J),1,X,PSTR(J),CE)

END IF

212 CONTINUE

DO 214 J=1,NCG

IF(IRGONC(J).EQ.IFREEB) THEN

P(I,J)=1.0D0

ELSE

P(I,J)=0.0D0

END IF

```

214  CONTINUE
      V(I)=VST(IMK)*8.9875543D2
      ELSE
        DO 216 J=1,NCG
          IF(IRGONR(IMK).NE.IRGONC(J)) THEN
            X(1,2)=CGPOS(1,J)
            X(2,2)=CGPOS(2,J)
            CALL AXSYM(IP(J),1,X,CV,CE)
            P(I,J)=PSTR(J)-CV
            PSTR(J)=CV
          ELSE
            P(I,J)=0.0D0
          END IF
        END IF
216  CONTINUE
      V(I)=0.0D0
      END IF
      END IF
      GO TO 270
220 CONTINUE
C *** DIELEKTRIKTEN OLUSAN J BOLGE NUMARASI DA.
      G=EPSLNS(IRGONR(IMK))/EPSLNS(JRGONR(IMK))
      GM1=G-1.D0
      THET=THETAR(IMK)
      S=DSIN(THET)
      C=DCOS(THET)
      DO 260 J=1,NCG
        X(1,2)=CGPOS(1,J)
        X(2,2)=CGPOS(2,J)
        CALL AXSYM(IP(J),2,X,CV,CE)
        F=CE(1)*C+CE(2)*S
        IF(IRGONR(IMK).EQ.IRGONC(J)) GO TO 240
        IF(JRGONR(IMK).EQ.IRGONC(J)) GO TO 230
        P(I,J)=0.D0
        P(I+1,J)=GM1*F
        GO TO 260
230 P(I,J)=-CV
        P(I+1,J)=G*F
        GO TO 260
240 CONTINUE
        P(I,J)=CV
        P(I+1,J)=-F
260 CONTINUE
      V(I)=0.0D0

```

```

V(I+1)=VST(IMK)/(EPSLNS(JRGONR(IMK))*8.85416D-5)
K=K+1
I=I+2
GO TO 280
270 I=I+1
280 IF(I.LE.NCG) GO TO 160
C
9010 CONTINUE
C
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,9000)
READ(5,1) PRINT
IF(PRINT.EQ.YES1) PRINT=YES
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,1) PRINT
IF(PRINT.EQ.YES) GO TO 9002
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,9003)
9003 FORMAT(1H,'***** YER DEĞİŞTİRİLEN YÜKLERİN ÇIKTISI YOK *****')
9002 CONTINUE
IF(PRINT.NE.YES) GO TO 9008
120 WRITE(6,501) (J,(RINKAK(I,J),I=1,2),IRGONR(J),JRGONR(J),
1 THETAR(J)/RAD,VST(J),J=1,NRINK)
501 FORMAT(1H1///' KONTUR NOKTALARI VE POTANSİYEL' //4X,'I',
1 5X,'R',12X,'Z',11X,'BOLGE',5X,'TETA',8X,
2 'V'/(I5,1P2E13.4,2I5,1P2E13.4))
9008 CONTINUE
C
IF(STOREQ.EQ.YES) GO TO 5890

*****

C
C MATRİSİN TERSİNİ AL
NDIMEN=NCG
IF(ANSQ.EQ.YES) GO TO 9150
CALL MTINV(NDIMEN,Q,V)
GO TO 9160
9150 CALL MTINVQ(NDIMEN,Q,V)
9160 CONTINUE
C
IF(MTNO.EQ.0) GO TO 5890
5200 CONTINUE
WRITE(6,5610)
5610 FORMAT(1H, '//)
READ(5,*) MTNO
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,2) MTNO

```

```

IF(MTNO.EQ.3) GO TO 999
IF(MTNO.NE.1) GO TO 5890
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,8510)
READ(5,*) J1,J2,VNEW
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,4) J1,J2,VNEW
IF(EPSLNS(JRGONR(J1)).GE.1.0) THEN
WRITE(6,8512) J1,J2,VNEW
ELSE
WRITE(6,8514) J1,J2,VNEW
END IF
I=1
DO 8520 IMK=1,J2
IF(EPSLNS(JRGONR(IMK)).GE.1.0) THEN
IF(IMK.GE.J1) V(I+1)=VNEW/(EPSLNS(JRGONR(IMK))*8.85416D-5)
IF(IANS.EQ.1) VS(I+1)=VNEW/(EPSLNS(JRGONR(IMK))*8.85416D-5)
I=I+2
ELSE
IF(IMK.GE.J1) V(I)=VNEW
IF(IANS.EQ.1) VS(I)=VNEW
I=I+1
END IF
8520 CONTINUE
5800 CONTINUE
C
5890 CONTINUE
IF(ANSQ.NE.YES.OR.IANS.EQ.1) GO TO 9170
NALL=NCG
C
CALL SETQ(FILEIN)
C
GO TO 9180
9170 NQ=0
9180 CONTINUE
NQ=NALL-NCG
IF(ANSQ.NE.YES.OR.(MTNO.EQ.0.AND.IANS.EQ.1)) GO TO 5900
IF(NQ.GE.1) THEN
NQ1=NCG+1
DO 5100 I=NQ1,NALL
QM=Q(I)*8.9875543D2
5100 Q(I)=QM
IF(NCG.LE.0) GO TO 590
CALL SPACEQ(RINKAK,V,VS,NRINK,THETAR,IRGONR,JRGONR)
END IF

```

```

DO 5010 I=1, NCG
Q(I)=0.0
DO 5010 J=1, NCG
JD=J+NCG+1
5010 Q(I)=Q(I)+P(I,JD)*VS(J)
IF(MTNO.EQ.1.AND.IANS.EQ.1) GO TO 320
5900 CONTINUE

```

C

```

IF(STOREQ.EQ.YES) THEN
  IF(MTNO.EQ.0) THEN
    READ(40,*) (Q(I),I=1,NALL)
  END IF
ELSE
  IF(MTNO.EQ.0) THEN
    WRITE(40,5904) (Q(I),I=1,NALL)
5904 FORMAT(1P5E16.7)
  END IF
END IF

```

C

C DOĞRULUK KONTROLU

```

IF(IANS.EQ.3) GO TO 590
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,95)
READ(5,1) RESPON
IF(RESPON.EQ.YES1) RESPON=YES
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,1) RESPON
IF(RESPON.NE.YES) GO TO 590
WRITE(6,500)
WRITE(6,335)
SUMERR=0.
ERRMAX=0.
K=0
DO 580 I=1, KENSA
IHOP=2
510 IF(EPSLNS(JRGONK(I)).GT.0.99D0) GO TO 520
IHOP=1
IRG=IRGONK(I)
GO TO 540
520 IRG=IRGONK(I)
CALL LOVE(IHOP,CHECKP(1,I),CHECKP(2,I),IRG,V1,ER1,EZ1,
1 2,ET1,EN1,DN1,THETAK(I))
THETA=THETAK(I)/RAD

```

```

Z=CHECKP(2,I)
WRITE(6,350) CHECKP(1,I),Z,IRG,THETA ,V1,ER1,EZ1,ET1,EN1,
1  DN1,EPSLNS(IRG)
K=K+1
350 FORMAT(1H ,2F9.4,I4,F7.1,1PE10.2,10X,1P3E10.2,10X,1P2E10.2,
* 10X,0PF7.2)
530 IRG=JRGONK(I)
540 CALL LOVE(IHOP,CHECKP(1,I),CHECKP(2,I),IRG,V2,ER2,EZ2,
1 2,ET2,EN2,DN2,THETAK(I))
IF(IHOP.EQ.1) GO TO 560
VER=(V1-V2)/V2
ETER=(ET1-ET2)/ET2
DNER=(DN1-DN2+VCHK(I)/8.85416D-5)/DN2
THETA=THETAK(I)/RAD
Z=CHECKP(2,I)
WRITE(6,550) CHECKP(1,I),Z,IRG,THETA,V2,VER,ER2,EZ2,ET2,
1  ETER,EN2,DN2,DNER,EPSLNS(IRG)
550 FORMAT(1H ,2F9.4,I4,F7.1,1P9E10.2,0PF7.2)
CALL ERSUM(VER,SUMERR,ERRMAX)
CALL ERSUM(ETER,SUMERR,ERRMAX)
CALL ERSUM(DNER,SUMERR,ERRMAX)
GO TO 580
560 THETA=THETAK(I)/RAD
IF(EPSLNS(JRGONK(I)).GE.-0.99D0) THEN
VIPK=VCHK(I)
IF(VIPK.EQ.0.D0) GO TO 565
VER=(V2-VIPK)/VIPK
GO TO 570
565 VER=V2
570 Z=CHECKP(2,I)
WRITE(6,550) CHECKP(1,I),Z,IRG,THETA,V2,VER
ELSE
VER=0.0D0
Z=CHECKP(2,I)
WRITE(6,552) CHECKP(1,I),Z,IRG,THETA,V2
552 FORMAT(1H ,2F9.4,I4,F7.1,F10.5,' Değişken Potansiyel')
END IF
CALL ERSUM(VER,SUMERR,ERRMAX)
580 CONTINUE
WRITE(6,1500) SUMERR,ERRMAX
1500 FORMAT(1H , 'HATA TOPLAMI=',F12.5,5X,'MAKSİMUM HATA=',F10.5)
590 CONTINUE
410 FORMAT(1H )

```

```

IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,990)
READ(5,1) RESPON
IF(RESPON.EQ.YES1) RESPON=YES
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,1) RESPON
IF(RESPON.NE.YES) GO TO 998
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,994)
READ(5,*) ISIZE
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,2) ISIZE
IF(ISIZE.GT.132) ISIZE=ISIZE/10
IF(ISIZE.GT.132) ISIZE=132
SCALE=ISIZE
DATA IGC,IGP,IGM,IGI,IBL/1HC,1H+,1H-,1HI,1H /
IX=SCALE
IY=SCALE/1.32D0
DO 900 J=1,IY
900 IFIG(1,J)=IGI
DO 905 I=2,IX
905 IFIG(I,1)=IGM
DO 910 I=2,IX
DO 910 J=2,IY
910 IFIG(I,J)=IBL
SMAX=0.0
DO 920 J=1,NALL
IF(SMAX.LT.CGPOS(1,J)) SMAX=CGPOS(1,J)
IF(SMAX.LT.CGPOS(2,J)) SMAX=CGPOS(2,J)
IF(IP(J).EQ.9) THEN
CGMAX=CGPOS(2,J)+CGPOS(1,J)*DIRECT(J)
IF(SMAX.LT.CGMAX) SMAX=CGMAX
END IF
920 CONTINUE
DO 925 J=1,NRINK
IF(SMAX.LT.RINKAK(1,J)) SMAX=RINKAK(1,J)
IF(SMAX.LT.RINKAK(2,J)) SMAX=RINKAK(2,J)
925 CONTINUE
SFX=(SCALE-1.0D0)/SMAX
SFY=SFY/1.32D0
JMAX=0
DO 930 K=1,NALL
I=CGPOS(1,K)*SFX+1.0D0
IF(IP(K).EQ.2) I=1
J=CGPOS(2,K)*SFY+1.0D0
IF(J.GT.JMAX) JMAX=J
IFIG(I,J)=IGP

```

```

IF(IP(K).LE.6) THEN
  IF(Q(K).LT.0.0D0) IFIG(I,J)=IGM
ELSE
  IF(IP(K).LE.8) THEN
    DO 926 IJK=1,I
    IFIG(IJK,J)=IGP
    IF(Q(K).LT.0.0D0) IFIG(IJK,J)=IGM
926  CONTINUE
  ELSE
    JSTEP=-1
    IF(DIRECT(K).LT.0.0D0) JSTEP=1
    J1=(CGPOS(2,K)+CGPOS(1,K)*DIRECT(K))*SFY+1.0D0
    J2=(CGPOS(2,K)+CGPOS(1,K)*DCOS(OPANGL(K)*RAD/2.0)
    *  *DIRECT(K))*SFY+1.0D0
    DO 928 IJK=J1,J2,JSTEP
    YYY=(IJK-1.0D0)/SFY-CGPOS(2,K)
    XXX=DSQRT(DABS(CGPOS(1,K)**2-YYY**2))
    I=XXX*SFX+1.0D0
    DO 928 IJK1=1,I
    IFIG(IJK1,IJK)=IGP
    IF(Q(K).LT.0.0D0) IFIG(IJK1,IJK)=IGM
928  CONTINUE
    IF(((J2.GT.J).AND.(JSTEP.EQ.-1)).OR.
    * ((J2.LT.J).AND.(JSTEP.EQ.1))) THEN
      DO 929 IJK=J2,J,JSTEP
      YYY=(IJK-1.0D0)/SFY-CGPOS(2,K)
      XXX=YYY*TAN(OPANGL(K)*RAD/2.0)
      I=DABS(XXX)*SFX+1.0D0
      DO 929 IJK1=1,I
      IFIG(IJK1,IJK)=IGP
      IF(Q(K).LT.0.0D0) IFIG(IJK1,IJK)=IGM
929  CONTINUE
    END IF
  END IF
END IF
930 CONTINUE
DO 940 K=1,NRINK
I=RINKAK(1,K)*SFX+1.0D0
J=RINKAK(2,K)*SFY+1.0D0
IF(J.GT.JMAX) JMAX=J
IFIG(I,J)=IGC
940 CONTINUE
WRITE(6,950)

```

```

950 FORMAT(1H ,/)
DO 970 K=1,JMAX
J=JMAX-K+1
WRITE(6,960) (IFIG(I,J),I=1,IX)
960 FORMAT(1H ,132A1)
970 CONTINUE
WRITE(6,980)
980 FORMAT(1H,5X,'C:KONTUR NOKTASI',/6X,'+ VEYA - :YUK NOKTASI'/)
998 IF(IANS.EQ.3) GO TO 5601
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,38)
READ(5,1) RESPON
IF(RESPON.EQ.YES1) RESPON=YES
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,1) RESPON
IF(RESPON.NE.YES) GO TO 320
WRITE(6,290)
290 FORMAT(1H ,31H*** HESAPLANAN Q(I) ÇIKTI *** /)
DO 300 L=1,NRGION
WRITE(6,295) L
295 FORMAT(1H ,/ *** BÖLGE NO.=' ,I2,' ****'/)
QSUM=0.0
DO 301 I=1,NCG
IF(IRGONC(I).NE.L) GO TO 301
QSUM=QSUM+Q(I)
IF(IP(I).NE.2) GO TO 298
Z=CGPOS(2,I)
WRITE(6,296) I,Q(I)/8.9875543D2,CKIND(IP(I)),CGPOS(1,I),Z
296 FORMAT(1H ,2HQ(,I3,2H)=,D14.5,' (micro-C)',3X,A5,4X,'ZJ1=',
1 F10.5,3X,'ZJ2=',F10.5)
GO TO 301
298 CONTINUE
Z=CGPOS(2,I)
WRITE(6,310) I,Q(I)/8.9875543D2,CKIND(IP(I)),CGPOS(1,I),Z
310 FORMAT(1H ,2HQ(,I3,2H)=,D14.5,' (micro-C)',3X,A5,4X,'R=',
1 F10.5,3X,'Z=',F10.5)
301 CONTINUE
WRITE(6,311) QSUM/8.9875543D2
311 FORMAT(1H ,/ *** TOPLAM YUK =',1PE14.5,' (micro-C)')
300 CONTINUE

```

C

C UZAY YÜKÜNÜ YAZMA

C

```

      IF(NQ.EQ.0) GO TO 320
5601 WRITE(6,5600)
5600 FORMAT(1H, '**** UZAY YUKU ****')
      DO 5300 I=NQ1,NALL
      IF(IP(I).LE.3) THEN
          WRITE(6,5602) CKIND(IP(I)),(CGPOS(J,I),J=1,2),Q(I)/8.9875543D2
5602  FORMAT(1H, A4, 2X, 'R,Z=', 1P2E11.3, ', Q=', 1PE11.3)
      ELSE
          IF(IP(I).EQ.7) THEN
              WRITE(6,5604) (CGPOS(J,I),J=1,2),Q(I)/8.9875543D2
5604  FORMAT(1H, 'DISK YUKU(sabit Q)', 2X, 'R,Z=', 1P2E11.3,
          *      ', Q=', 1PE11.3)
          ELSE
              IF(IP(I).EQ.8) THEN
                  WRITE(6,5606) (CGPOS(J,I),J=1,2),Q(I)/8.9875543D2
5606  FORMAT(1H, 'DISK YUKU(azalan Q)', 2X, 'R,Z=', 1P2E11.3,
          *      ', Q=', 1PE11.3)
          ELSE
              IF(IP(I).EQ.9) THEN
                  WRITE(6,5608) (CGPOS(J,I),J=1,2),Q(I)/8.9875543D2
5608  FORMAT(1H, 'KURESEL YUK', 2X, 'R,Z=', 1P2E11.3,
          *      ', Q=', 1PE11.3)
                  WRITE(6,5609) OPANGL(I),DIRECT(I)
5609  FORMAT(1H, 'GENIS ACI=', 1PE11.3,
          *      ', EKSEN YONU:', 0PF5.1)
              END IF
          END IF
      END IF
      END IF
      END IF
      END IF
5300 CONTINUE

```

C

C ELEKTRİK ALAN HESABI

C

```

320 IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,96)
      READ(5,1) RESPON
      IF(RESPON.EQ.YES1) RESPON=YES

```

```

IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,1) RESPON
IF(RESPON.NE.YES) GO TO 660
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,9953)
READ(5,1) FILIN2
IF(FILIN2.EQ.YES1) FILIN2=YES
IF(FILIN2.EQ.YES)THEN
  OPEN(20,STATUS='BILINMEYEN',FILE='D:DATA2.DAT')
  OPEN(30,STATUS='BILINMEYEN',FILE='D:DATA1.DAT')
  OPEN(50,STATUS=' BILINMEYEN',FILE='D:DATA5.DAT')
END IF
IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,1) FILIN2
620 IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,622)
  READ(5,*) IRGION
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,2) IRGION
  IF(IRGION.EQ.0) GO TO 660
  IF(IRGION.LT.0) GO TO 5200
  WRITE(6,623) IRGION
623 FORMAT(1H , '** BOLGE NO.=' ,I2, ' **')
625 IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,624)
  READ(5,*) LCR
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,2) LCR
  IF(LCR.EQ.0) GO TO 620
  IF(LCR.EQ.3) GO TO 637
  IF(LCR.EQ.4) GO TO 651
  IF(LCR.EQ.5) GO TO 6000
  IF(LCR.EQ.6) GO TO 6500
  IF(LCR.EQ.7) GO TO 6700
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,626)
  READ(5,*) N
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,2) N
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,628)
  READ(5,*) CR
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,3) CR
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,636)
  READ(5,*) R1,Z1,R2,Z2
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,3) R1,Z1,R2,Z2
  IF(LCR.EQ.1) GO TO 634
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,632)
  READ(5,*) R0,Z0,PNR
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,3) R0,Z0,PNR
  IF(PNR.LT.0.0) LCR=4
634 CONTINUE
GO TO 642

```

```

637 N=1
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,638)
  READ(5,*) R1,Z1
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,3) R1,Z1
642 CALL DEVIDE(N,CHECKP,LCR,R1,Z1,R2,Z2,R0,Z0,CR
1)
  WRITE(6,9001)
9001 FORMAT(1H ,2X,'R(cm)',6X,'Z(cm)', ' Bølge',4X,'V(kV)',6X,
1'Er(kV/cm)',3X,'Ez(kV/cm)',2X,'Eabs(kV/cm)')
  DO 640 I=1,N
    R=CHECKP(1,I)
    Z=CHECKP(2,I)
    IF(IRGION.EQ.99) THEN
      CALL DEFREG(R,Z,IRG99,IALARM)
      CALL LOVE(2,R,Z,IRG99,U,ER,EZ,1,ET,EN,DN,THET)
    ELSE
      CALL LOVE(2,R,Z,IRGION,U,ER,EZ,1,ET,EN,DN,THET)
    END IF
    EABS=DSQRT(ER*ER+EZ*EZ)
    Z=CHECKP(2,I)
    IF(IRGION.EQ.99) THEN
      WRITE(6,630) R,Z,IRG99,U,ER,EZ,EABS
      IF(FILIN2.EQ.YES) WRITE(20,9) R,Z,IRG99,U,ER,EZ,EABS
    ELSE
      WRITE(6,630) R,Z,IRGION,U,ER,EZ,EABS
      IF(FILIN2.EQ.YES) WRITE(20,9) R,Z,IRGION,U,ER,EZ,EABS
    END IF
630 FORMAT(1H ,2(F8.4,3X),I3,2X,4(F9.3,3X))
640 CONTINUE
650 FORMAT(3I2,7F8.4)
  GO TO 625
651 IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,652)
  READ(5,*) NR,NZ
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,2) NR,NZ
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,653)
  READ(5,*) CR,CZ
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,3) CR,CZ
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(6,636)
  READ(5,*) R1,Z1,R2,Z2
  IF(FILEIN.EQ.YES) WRITE(10,3) R1,Z1,R2,Z2
  CALL DEVIDE(NR,CHECKP,1,R1,Z1,R2,Z1,R0,Z0,CR)
  WRITE(6,9001)
  DO 654 I=1,NR

```

```

654 THETAK(I)=CHECKP(1,I)
  CALL DEVIDE(NZ,CHECKP,1,R1,Z1,R1,Z2,R0,Z0,CZ)
  DO 658 J=1,NR
    R=THETAK(J)
    DO 656 I=1,NZ
      Z=CHECKP(2,I)
      IF(IRGION.EQ.99) THEN
        CALL DEFREG(R,Z,IRG99,IALARM)
        CALL LOVE(2,R,Z,IRG99,U,ER,EZ,1,ET,EN,DN,THET)
      ELSE
        CALL LOVE(2,R,Z,IRGION,U,ER,EZ,1,ET,EN,DN,THET)
      END IF
      EABS=DSQRT(ER*ER+EZ*EZ)
      IF(IRGION.EQ.99) THEN
        WRITE(6,630) R,Z,IRG99,U,ER,EZ,EABS
        IF(FILIN2.EQ.YES) WRITE(20,9) R,Z,IRG99,U,ER,EZ,EABS
      ELSE
        WRITE(6,630) R,Z,IRGION,U,ER,EZ,EABS
        IF(FILIN2.EQ.YES) WRITE(20,9) R,Z,IRGION,U,ER,EZ,EABS
      END IF
656 CONTINUE
      WRITE(6,657)
657 FORMAT(/)
      WRITE(6,9001)
658 CONTINUE
      GO TO 625
6000 CALL TRACE(IRGION,VLOW,FILEIN,FILIN2)
      GO TO 625
6500 CALL AVALAN(IRGION,VHIGH,FILEIN,FILIN2)
      GO TO 625
6700 CALL FZEROF(IRGION,FILEIN,FILIN2)
      GO TO 625
660 CONTINUE
      CLOSE(50)
      CLOSE(40)
      CLOSE(30)
      CLOSE(20)
      CLOSE(10)
999 STOP
      END

```

C
C

EK.1.4. BAŞLANGIÇ VOLTAJ HESABI UYGULAMASI

Hesaplama, $V_{\max} = 1.000$ (kV) , $V_{\min} = -1.000$ (kV) ve Eksenel Simetrik Geometride yapılacaktır.

İYONİZASYON ETKİNLİĞİNİN VE KORONA BAŞLANGIÇ GERİLİMİNİN HESAPLANMASI

! Elektriksel büyüklüğün nasıl hesaplanacağını belirle ve numarayı seçin.

1: Hat boyunca alan hesaplama,

2: Ark boyunca,

3: Nokta üzerinde,

4: Izgara noktaları üzerinde,

5: Kuvvet hat alanı,

6: Elektron çıkış hattı,

0: Hesaplamanın sonu veya diğer bölgede hesaplama

0 seçildi.

! Elektrik alan hesaplamaları yapılan bölgenin numarasını girin.

(99: bilgisayarla bölgenin numarası otomatik olarak belirlenir,

-1: hesaplamanın sonraki basamağı, 0: hesaplamanın sonu)

4 numara

**** BÖLGE NO.= 4 ****

! Elektriksel büyüklüğün nasıl hesaplanacağını belirle ve numarayı seçin.

1: Hat boyunca alan hesaplama,

2: Ark boyunca,

3: Nokta üzerinde,

4: Izgara noktaları üzerinde,

5: Kuvvet hat alanı,

6: Elektron çığ hattı,

0: Hesaplamanın sonu veya diğer bölgede hesaplama

6 seçildi.

' Havada veya diğer gazlardaki elektron çığ büyümesinin hesaplanması. '

ALF(EOP,P): iyonizasyon katsayısı(1/cm), $EOP=E/P$, E(kV/cm), P(Torr)

VE(EOP): elektron sürüklenme hızı (cm/sn)

! Gaz basıncını P(torr) ve maksimum zaman süresini Tmax(sn) girin.

760.0 1.0

Korona başlangıç gerilimini bulmak istermisiniz ?(E/H)

E

! Çığ başlatma noktalarının nasıl düzenleneceğini belirle

(1: nokta üzerinde, 2: hat üzerinde, 3: ark üzerinde)

1 seçildi.

! Başlatma noktalarının koordinatlarını (r_1, z_1) ve hesaplama basamağındaki potansiyel farkı girin. DELTA-PHI ($V_{\text{başvurulmuş}}/1000$ civarında);

4.0 0.0 0.1

! Araştırma bölgesinin daha düşük ve daha yukarı sınırlarını girin.

r-lower, r-upper, z-lower, and z-upper.

0.0 7.0 0.0 3.0

Kaç basamakta sonuç çıktı vermeli?(normalinde 10 dan daha fazla)

10

VERİLERİ GİR. P= 760.0 R= 4.0000 Z= 0.0000
STEP DELTA-PHI= 0.1000

R-LOWER= 0.0000 R-UPPER= 7.0000

Z-LOWER= 0.0000 Z-UPPER= 3.0000

PRINT-OUT EVERY 10-TH

No. R(cm) Z(cm) V(kV) Er(kV/cm) Ez(kV/cm) Eabs(kV/cm)

İyonizasyon katsayı integrali.

0	4.0000	0.0000	0.000	0.000	-18.375	18.375	0.000
10	4.0042	0.0529	1.004	-3.080	-19.570	19.811	0.000
20	4.0129	0.1002	2.009	-4.428	-21.505	21.956	0.000
30	4.0220	0.1433	3.012	-4.856	-23.016	23.522	0.000

39	4.0297	0.1800	3.914	-4.963	-24.015	24.523	0.000
40	4.0305	0.1840	4.014	-4.968	-24.110	24.617	0.001
50	4.0385	0.2232	5.016	-4.979	-24.935	25.427	0.026

980	4.2404	2.9487	98.035	-0.085	-38.413	38.413	59.385
-----	--------	--------	--------	--------	---------	--------	--------

***** KORONA OLUŞUMU *****

990	4.2405	2.9748	99.035	-0.070	-38.422	38.422	60.367
-----	--------	--------	--------	--------	---------	--------	--------

***** KORONA OLUŞUMU *****

1000	4.2405	3.0000	100.005	-0.056	-38.428	38.428	61.350
------	--------	--------	---------	--------	---------	--------	--------

***** KORONA OLUŞUMU *****

***** HAT NOKTASI SINIR BÖLGESİNE ERİŞİR *****

*** Korona başlangıç gerilimi = 84.412(kV) +- 0.013(kV) ***

*** Kritik uzunluk = 2.534E+00(cm) ***

! Elektriksel büyüklüğün nasıl hesaplanacağını belirle ve numarayla seçin.

1: Hat boyunca alan hesaplama,

2:Ark boyunca,

3:Nokta üzerinde,

4:Izgara noktaları üzerinde,

5:Kuvvet hat alanı,

6:Elektron çıkış hattı,

0:Hesaplamanın sonu veya diğer bölgede hesaplama

6 seçildi.

' Havada veya diğer gazlardaki elektron çıkış büyümesinin hesaplanması. '

ALF(EOP,P): iyonizasyon katsayısı(1/cm), $EOP=E/P$, $E(kV/cm)$, $P(Torr)$

VE(EOP): elektron sürüklenme hızı (cm/sn)

! Gaz basıncını $P(torr)$ and maksimum zaman süresini $T_{max}(sn)$ girin.

760.0 1.0

Korona başlangıç gerilimini bulmak ister misiniz ?(E/H)

E

! Çıkış başlatma noktalarının nasıl düzenleneceğini belirle.

(1: nokta üzerinde, 2: hat üzerinde, 3: ark üzerinde)

2 seçildi.

! Başlatma noktalarının her ikisinin koordinatlarını r_1, z_1, r_2, z_2 ve hesaplama basamağındaki potansiyel farkı, DELTA-P

(Vbaşvurulmuş/1000 civarında),başlatma noktalarının numarasını (N) girin.

3.5 1.5 2.0 3.0 0.1 3

!Araştırma bölgesinin daha düşük ve daha yukarı sınırlarını giriniz.

r-lower, r-upper, z-lower, and z-upper.

0.0 7.0 0.0 3.0

Kaç basamakta sonuç çıktı vermeli?(normalinde 10 dan daha fazla)

10

VERİLERİ GİRİNİZ P= 760.0 R= 3.5000 Z= 1.5000

STEP DELTA-PHI= 0.1000

R-LOWER= 0.0000 R-UPPER= 7.0000

Z-LOWER= 0.0000 Z-UPPER= 3.0000

PRINT-OUT EVERY 10-TH

No. R(cm) Z(cm) V(kV) Er(kV/cm) Ez(kV/cm) Eabs(kV/cm)
İyonizasyon katsayı integrali.

0	3.5000	1.5000	41.660	-6.391	-36.228	36.787	0.000
1	3.5005	1.5027	41.760	-6.378	-36.238	36.795	0.083
10	3.5047	1.5268	42.660	-6.257	-36.334	36.869	0.835
20	3.5092	1.5535	43.660	-6.124	-36.440	36.951	1.677
30	3.5137	1.5801	44.660	-5.993	-36.545	37.033	2.527

570 3.6219 2.9664 98.663 -0.117 -39.896 39.896 57.663

***** KORONA OLUŞUMU *****

580 3.6219 2.9914 99.663 -0.015 -39.901 39.901 58.787

***** KORONA OLUŞUMU *****

584 3.6219 3.0000 100.004 0.019 -39.902 39.902 59.237

***** KORONA OLUŞUMU *****

***** HAT NOKTASI SINIR BÖLGEYE ERİŞİR*****

*** Korona başlangıç gerilimi = 82.263(kV) +- 0.013(kV) ***

*** Kritik uzunluk = 1.507E+00(cm) ***

VERİLERİ GİRİNİZ P= 760.0 R= 2.4000 Z= 2.6000

STEP DELTA-PHI= 0.1000

R-LOWER= 0.0000 R-UPPER= 7.0000

Z-LOWER= 0.0000 Z-UPPER= 3.0000

PRINT-OUT EVERY 10-TH

No. R(cm) Z(cm) V(kV) Er(kV/cm) Ez(kV/cm) Eabs(kV/cm)

İyonizasyon katsayı integrali.

0	2.4000	2.6000	79.681	-7.286	-49.229	49.765	0.000
1	2.4003	2.6019	79.781	-7.256	-49.243	49.774	0.217
10	2.4029	2.6198	80.681	-6.985	-49.366	49.858	2.173
20	2.4057	2.6397	81.681	-6.676	-49.501	49.949	4.356
30	2.4083	2.6595	82.681	-6.358	-49.631	50.037	6.549

180	2.4298	2.9563	97.681	-0.574	-50.100	50.103	40.092
-----	--------	--------	--------	--------	---------	--------	--------

***** KORONA OLUŞUMU *****

190	2.4299	2.9763	98.681	-0.155	-49.894	49.894	42.286
-----	--------	--------	--------	--------	---------	--------	--------

***** KORONA OLUŞUMU *****

200	2.4299	2.9964	99.680	0.254	-49.626	49.627	44.453
-----	--------	--------	--------	-------	---------	--------	--------

***** KORONA OLUŞUMU *****

202	2.4299	3.0000	99.859	0.325	-49.571	49.572	44.882
-----	--------	--------	--------	-------	---------	--------	--------

***** KORONA OLUŞUMU *****

***** HAT NOKTASI SINIR BÖLGESİNE ERİŞİR *****

***** Korona başlangıç gerilimi = 81.463(kV) +- 0.013(kV) *****

***** Kritik uzunluk = 4.016E-01(cm) *****



ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Zile 1970 yılında Ankara’ da doğdu. Lisans derecesini, Yıldız Teknik Üniversitesi’ nden 1992 yılında Elektrik Mühendisi olarak aldı. 1992-1993 yılında özel bir firmanın şantiye şefi olarak çalıştı. 1993 yılında Amerika’ da Stevens Institute of Technology Üniversitesinin İngilizce dil kursunu bitirdi. 1995 yılında İngiltere Bradford Üniversitesindeki yüksek lisans eğitimini sağlık nedeniyle yarıda bıraktı. 1993’ ten beri Niğde Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Çalıştığı konular, dc yüksek gerilim hatlarında korona analizi, koaksiyel, paraksiyel geometrilerde, eşpotansiyel, elektrik alan ve akım yoğunluk değerlerinin simülasyonu olmuştur. Niğde Üniversitesinde Makina Mühendisliği Bölümünün Elektroteknik, Otomatik Kontrol, Bigisayara Giriş ve Bilgisayar Programlama derslerin uygulamalarında sorumlu öğretim elemanı olarak görev yapmaktadır.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİZASYON MERKEZİ