

**T.C.**  
**SİİRT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEŞİTLİ ELEKTROT PARAMETRELERİNE BAĞLI OLARAK KORONA  
BOŞALMASININ DELİNME VE SÖNÜMLEME GERİLİMLERİNİN  
DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nimetullah EDEBALI**  
**(133103003)**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez I. Danışmanı: Doç. Dr. Fevzi HANSU**  
**II. Danışman: Doç. Dr. Mehmet Nuri ALMALI**

**Eylül, 2019**  
**SİİRT**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Nimetullah EDEBALI tarafından hazırlanan “Çeşitli elektrot parametrelerine bağlı olarak korona boşalmasının delinme ve sönümlenme gerilimlerinin deneysel olarak belirlenmesi” adlı tez çalışması 10/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Davut SEVİM



#### Danışman

Doç. Dr. Fevzi HANSU



#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Sait AYDIN



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Fevzi HANSU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanışında bana her yönüyle rehberlik eden, bilgi ve tecrübesini aktarmada kendisini eksik etmeyen, çalışma sürecinin son gününe kadar her türlü fedakârlığı gösteren, beni sürekli motive eden ve ayrıca kıymetli zamanını esirgmeden tezimin yazımı ve düzenlenmesi konularında her yönüyle katkı sunan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fevzi HANSU'ya ve Lisansüstü eğitimime yönelik yaptığı öneri ve katkılar için 2. Danışman Hocam Sayın Mehmet Nuri ALMALI'ya; Tezimin deneysel çalışmalarında ve yazım kısımlarında desteklerini esirgemeyen Araştırma Görevlileri Sayın Murat AKDEMİR ve Rıdvan ÇETİN'e

teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca;

Eğitim hayatım boyunca, benim için en iyi şartları sağlayan, daima fedakâr davranan ve bugünlere gelmeme vesile olan saygıdeğer anneme ve babama şükranlarımı sunar, tez çalışmasının her aşamasında desteklerini esirgemeyen kıymetli eşim ve çocuklarıma sevgilerimi sunarım.

Nimetullah EDEBALI  
SİİRT-2019

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>TEZ KABUL ve ONAYI</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÖN SÖZ</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>x</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Gazlarda Elektrik Boşalmaları.....	2
1.2. Atomun Uyarımı ve İyonizasyon:.....	3
1.3. İyonizasyon Türleri:.....	4
1.4. Gazlarda Elektrik Boşalmalarının Bazı Önemli Türleri .....	5
1.4.1. Bariyer boşalması .....	5
1.4.2. Kısmi boşalma (PD) .....	6
1.4.3. Korona boşalması .....	7
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>9</b>
2.1. Konuyla İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar .....	9
2.2. Tezin Güncelliği .....	15
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>16</b>
3.1. Materyal .....	16
3.2. Metot .....	19
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>21</b>
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b> .....	<b>39</b>
5.1. Sonuçlar .....	39
5.2. Öneriler .....	40
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>41</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>45</b>

## TABLolar LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 4.1.</b> Paslanmaz çelik malzemedan üretilen <i>Düzlem-Düzlem</i> elektrot sistemin de, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi $U_d$ ve Sönümlenme gerilimi $U_s$ değerleri.....	21
<b>Tablo 4.2.</b> Paslanmaz çelik malzemedan üretilen <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sistemin de, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi $U_d$ ve Sönümlenme gerilimi $U_s$ değerleri .....	22
<b>Tablo 4.3.</b> Paslanmaz çelik malzemedan üretilen <i>İğne-İğne</i> elektrot sistemin de, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi $U_d$ ve Sönümlenme gerilimi $U_s$ değerleri .....	25
<b>Tablo 4.4.</b> Bronz malzemedan üretilen <i>Düzlem-Düzlem</i> elektrot sistemin de, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi $U_d$ ve Sönümlenme gerilimi $U_s$ değerleri .....	26
<b>Tablo 4.5.</b> Paslanmaz çelik malzemedan üretilen <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sistemin de, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi $U_d$ ve Sönümlenme gerilimi $U_s$ değerleri .....	27
<b>Tablo 4.6.</b> Bronz malzemedan üretilen <i>İğne-İğne</i> elektrot sistemin de, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi $U_d$ ve Sönümlenme gerilimi $U_s$ değerleri .....	29
<b>Tablo 4.7.</b> Alüminyum malzemedan üretilen <i>Düzlem-Düzlem</i> elektrot sistemin de, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi $U_d$ ve Sönümlenme gerilimi $U_s$ değerleri .....	30
<b>Tablo 4.8.</b> Alüminyum malzemedan üretilen <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sistemin de, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi $U_d$ ve Sönümlenme gerilimi $U_s$ değerleri .....	32
<b>Tablo 4.9.</b> Alüminyum malzemedan üretilen <i>İğne-İğne</i> elektrot sistemin de, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi $U_d$ ve Sönümlenme gerilimi $U_s$ değerleri .....	33

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Gazlarda elektrik boşalmasının genel Gerilim-Akım grafiği .....	3
Şekil 1.2. Bir Hidrojen atomunun en basit uyarılma ve ışınım modeli.....	4
Şekil 1.3. Mor renkli korona görüntüsü.....	8
Şekil 3.1. Deney Trafosunun görüntüsü .....	17
Şekil 3.2: Ayarlanabilir Gerilim Kaynağı .....	17
Şekil 3.3. <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sistemi görüntüsü.....	18
Şekil 3.4. Deney setinin analog osiloskop görüntüsü.....	19
Şekil 4.1. Paslanmaz çelik malzemedan üretilen <i>Düzlem-Düzlem</i> elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönmleme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri .....	22
Şekil 4.2. Paslanmaz çelik malzemedan üretilen <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönmleme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri .....	23
Şekil 4.3. Paslanmaz çelik malzemedan oluşturulan <i>İğne-Düzlem</i> elektrot konfigürasyonunda gerçekleşen korona boşalmasına ait tutuşma esnasındaki akım osilasyonlarını içeren a) <i>Gerilim-Zaman</i> ve b) <i>Gerilim-Yük</i> eğrileri.....	24
Şekil 4.4. Paslanmaz çelik malzemedan üretilen <i>İğne-İğne</i> elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönmleme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri .....	25
Şekil 4.5. Bronz malzemedan üretilen <i>Düzlem-Düzlem</i> elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönmleme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri .....	27
Şekil 4.6. Bronz malzemedan üretilen <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönmleme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri .....	28
Şekil 4.7. Bronz malzemedan üretilen <i>İğne-İğne</i> elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönmleme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri .....	29
Şekil 4.8. Alüminyum malzemedan üretilen <i>Düzlem-Düzlem</i> elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve	

sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değışim eğrileri .....	31
<b>Şekil 4.9.</b> Alüminyum malzemedden üretilen <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değışim eğrileri .....	32
<b>Şekil 4.10.</b> Alüminyum malzemedden üretilen <i>İğne-İğne</i> elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değışim eğrileri .....	34
<b>Şekil 4.11.</b> Paslanmaz çelik malzemedden üretilen elektrot sisteminde, elektrot konfigürasyonlarının delinme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değışim eğrileri.....	35
<b>Şekil 4.12.</b> Paslanmaz çelik malzemedden üretilen elektrot sisteminde, elektrot konfigürasyonlarının sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değışim eğrileri .....	36
<b>Şekil 4.13.</b> <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminde, elektrot malzemelerinin delinme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değışim eğrileri .....	37
<b>Şekil 4.14.</b> <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminde, elektrot malzemelerinin sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değışim eğrileri .....	37

## KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ

<b><u>Kısaltma</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
<i>AC</i>	: Alternatif Akım
<i>DBB</i>	: Dielektrik bariyer boşalması
<i>DC</i>	: Doğru Akım
<i>MHz</i>	: Megahertz
<i>NTP</i>	: Soğuk plazma
<i>PD</i>	: Kısmi boşalma
<i>RI</i>	: Radyo parazit
<i>RIV</i>	: Radyo girişim gerilimi
<i>RMS</i>	: Etkin değer
<i>TV</i>	: Televizyon
<i>TVI</i>	: Televizyon girişim
<b><u>Simge</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
<i>a</i>	: Elektrotlar arası açıklık
<i>cm</i>	: Santimetre
<i>f</i>	: Frekans
<i>Hz</i>	: Hertz
<i>I(t)</i>	: Hat akımı
<i>kV</i>	: Kilovolt
<i>°K</i>	: Kelvin derece
<i>q(u)</i>	: Boşalma akımının taşıdığı yük
<i>Q<sub>çek</sub></i>	: Çekirdek yükü
<i>T</i>	: Sıcaklık
<i>U(t)</i>	: Hat gerilimi
<i>U<sub>0</sub></i>	: Kritik korona gerilimi
<i>U<sub>k</sub></i>	: Korona gerilimi
<i>V</i>	: Volt
<i>Z</i>	: Elektron sayısı
<i>Ω</i>	: Ohm



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

# ÇEŞİTLİ ELEKTROT PARAMETRELERİNE BAĞLI OLARAK KORONA BOŞALMASININ DELİNME VE SÖNÜMLEME GERİLİMLERİNİN DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

Nimetullah EDEBALI

Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

I. Danışman: Doç. Dr. Fevzi Hansu

II. Danışman: Doç. Dr. Mehmet Nuri ALMALI

2019, 45+x Sayfa

Günümüzde enerji kaynaklarına duyulan ihtiyacın sürekli artmasıyla birlikte elektrik enerjisi iletim ve dağıtım hatlarındaki kayıp kaçak oranlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar da giderek önem kazanmaktadır. Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen teknik kayıpların azaltılmasında önemli katkılar sunan bu tez çalışmasında, korona boşalmalarının tutuşma ve sönmleme gerilim değerlerini belirleyen önemli faktörlerden olan çeşitli elektrot malzemesi (*paslanmaz çelik, bronz ve alüminyum*) ve farklı elektrot kombinasyonları (*Düzlem-Düzlem, İğne-Düzlem ve İğne-İğne*) için bazı deneysel uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, özel olarak tasarlanmış çeşitli şekillerdeki elektrotların farklı kombinasyonlarında ve atmosferik basınç koşullarında korona boşalması oluşturularak; elektrotlar arası açıklığa bağlı olarak boşalmanın tutuşma ve sönmleme gerilimleri ölçülmüştür. Bu işlemler ayrıca, farklı elektrot malzemelerinde incelenerek elektrot malzemesinin boşalmanın tutuşma ve sönmleme gerilimleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Alınan sonuçlara göre, elektrot malzemesinin (yapısı ve kararlılığının) ve Elektrot konfigürasyonunun boşalmanın tutuşma ve sönmleme gerilimleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğu; malzemenin kararlılığı ve elektrotlar arasındaki elektrik alanın homojenliği arttıkça boşalmanın tutuşmasının daha da zorlaştığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Korona, Elektrot, Tutuşma gerilimi, Sönmleme gerilimi

## **ABSTRACT**

### **MSc. THESIS**

#### **EXPERIMENTALLY DETERMINING OF BREAKDOWN AND DAMPING VOLTAGES OF CORONA DISCHARGE, DEPENDING ON VARIOUS ELECTRODE PARAMETERS.**

**Nimetullah EDEBALI**

**The Graduate School of Natural and Applied Science of Siirt University**

**The Degree of Master of Science  
In Electrical-Electronics Engineering**

**1'st Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fevzi HANSU**

**2'nd Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Nuri ALMALI**

**2019, 45+x Pages**

Nowadays, with the continuous increase in the need for energy sources, efforts to reduce loss and leakage rates in electrical power transmission and distribution lines are becoming increasingly important. In this thesis, which provides important contributions in reducing technical losses in electrical energy transmission and distribution systems, some experimental applications have been performed for various electrode materials (*stainless steel, bronze and aluminum*) and different electrode combinations (*Plane-Plane, Needle-Plane and Needle-Needle*), which are important factors determining the ignition and damping voltage values of corona discharges. In the scope of the study, corona discharge is formed in different combinations of specially designed electrodes of various shapes and under atmospheric pressure conditions; the ignition and damping voltages of the discharge were measured depending on the gap between the electrodes. These processes were also investigated in different electrode materials to investigate the effects of electrode material on the ignition and damping voltages of discharge. According to the results, electrode material (structure and stability) and electrode configuration have a significant effect on the ignition and damping voltages of discharge; it has been found that as the stability of the material and the homogeneity of the electric field between the electrodes increase, the ignition of the discharge becomes more difficult.

**Keywords:** Corona, Electrode, Ignition voltage, Damping voltage

## 1. GİRİŞ

Yüksek gerilim teknolojisinin önemi son yıllarda giderek artmaktadır. Yüksek gerilim sistemleri genel olarak iki ana amaç için tercih edilmektedir. Bunlardan birincisi, elektrik enerjisi iletim hatlarında taşınan enerjinin daha kolay ve daha verimli iletebilmesi için yüksek gerilimli olarak iletilmesidir. Diğer bir tercih nedeni ise genellikle laboratuvar ortamında elektrotlar arasında gerçekleştirilen kuvvetli elektrik alanlarının etkisiyle oluşturulan iyon/elektron teknolojisidir. Bu teknolojiye uygulamada kısaca plazma tekniği de denilmektedir. Elektriksel plazmanın günümüzdeki uygulama alanları çok fazladır ve çok sayıda çeşitlilik göstermektedir. Bu tür çalışmalar gün geçtikçe daha da artmaktadır (Hansu, 2012).

Elektriksel plazma en genel tanımıyla bir yük bulutu veya elektriksel bir yük bombardımanı olarak tanımlanabilir. Elektriksel plazmalar uygulamada aynı zamanda uygulamada çoğu kez “Gazlarda Elektrik Boşalmaları” olarak da isimlendirilirler. Bu tip uygulamalar günümüzde endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Bal, 2010).

Plazma teknolojileri genel olarak sıcak plazmalar ve soğuk plazmalar olarak iki ana gruba ayrılırlar. Sıcak plazmaların uygulama alanları sınırlı olup genellikle yıldırım olayları, nükleer teknolojiler, eritme, kaynak ve metal kesme işlemlerinde kullanılırlar. Bu tür plazmaların sıcaklıkları ortalama 10000 °K dolaylarındadır. Sıcaklık değerleri çok yüksek olduğundan dolayı, tahribat miktarları da fazladır. Bu nedenle uygulama alanları sınırlı kalmıştır. Soğuk plazmalar ise günümüzde en yaygın olarak kullanılan uygulama örnekleridir. Uygulama alanları oldukça geniş ve çeşitlilik arz etmektedir. Bu tür uygulamalar endüstrinin birçok alanında kullanılmakla birlikte daha çok çevre temizleme, kimya endüstrisi ve malzeme tekniğinde genişçe kullanılmaktadırlar (Hansu, 2005).

Soğuk plazma (NTP) teknolojileri, hızlı ve etkin bir şekilde kirletici maddelerin uzaklaştırılması işlemi, yer tasarrufu, kimyasal katkıların olmaması, düşük yatırım ve işletme maliyeti, atmosferik basınç ve oda sıcaklığında çalışma ve ikincil kirlilik (zararlı

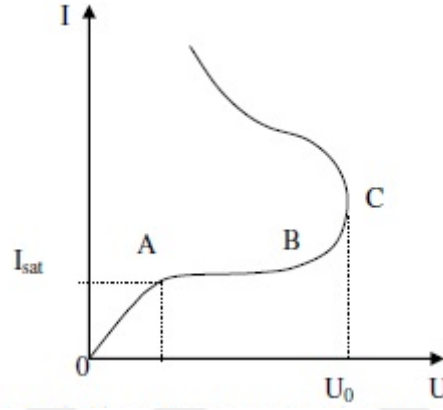
yan ürün oluşumu) olmaması gibi avantajlara sahiptirler. Ayrıca bu teknolojiler egzoz ve baca gazlarının temizlenmesinde iyi performans göstermektedir (Wang ve ark., 2005, Jaworek ve ark., 1996). Bu nedenle, NTP teknolojileri, enerji santrallerinde kirleticilerin aynı anda uzaklaştırılması için en umut verici yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir (Naidu ve ark., 1995).

Elektriksel plazmaların günümüzdeki en bilinen bazı türleri Elektrik korona deşarjları, radyo frekansı deşarjları, mikrodalga deşarjları, dielektrik bariyer deşarjları (DBD'ler) ve elektron ışınlarıdır. Ancak, son zamanlarda Dielektrik Bariyer Boşalmaları (DBB) türü diğerlerinden daha fazla kullanılmıştır. DBB plazmaları atmosferik basınçta çalışma, basit bir tasarım ve kolay ölçeklendirme kabiliyetleri gibi avantajlarından dolayı son zamanlarda diğer elektriksel plazma türlerinden daha fazla kullanılmışlardır.

### **1.1. Gazlarda Elektrik Boşalmaları**

Genel olarak dış etkilerden korunmuş nötr bir gaz elektrik akımını iletmez. Ancak belirli bir hacimdeki gazın içine iki elektrot konular ve bu elektrotlara belirli bir gerilim uygulandığında, gerilimin belirli bir değerinde elektrotlar arasında ani bir akım yükselmesi olur ve böylece hava veya gaz yalıtkanlık özelliğini kaybederek iletken hale geçer. Hava veya gazın iletken hale geçtiği bu olaya gazlarda elektrik boşalması denir. Elektrik boşalmaları sırasında maddenin dördüncü hali dediğimiz plazma oluşur. Plazmada pozitif iyonlar ve negatif iyonların sayıları yaklaşık olarak aynı miktarda olduğundan plazma ortamı nötr bir ortamdır. Ortamdaki yüklerin aktif halde olmaları nedeniyle de plazma kanalının elektriksel iletkenliği çok yüksektir. Plazma ilk defa Siemens tarafından 1857'lerde ozon gazı üretimi için kullanılmıştır. Daha sonra 1928'li yıllarda Langmuir tarafından fiziksel açılarından incelenmiştir. Langmuire göre plazmada pozitif iyonlar, negatif iyonlar ve yüksüz iyonlar mevcuttur. Plazma çok yoğun bir ortama sahiptir. Lawson kuralına göre yoğunluğu yaklaşık olarak  $10^{14}$  iyon-elektron/cm<sup>3</sup> tür. Yüksek sıcaklıktaki plazmalara nükleer reaksiyon ortamları, yıldırım boşalmaları, ark boşalmaları ve güneşteki patlamalar örnek olarak verilebilir. Düşük sıcaklıktaki plazmalar ise laboratuvar koşullarında bir gaz ortamına değişik değerlerde

potansiyel uygulamakla oluşturulur ve bunun sonucunda elektrik boşalmaları meydana gelir (Anumaka, 2012 ve Carsimamovic, 2016). Elektrik gaz boşalmasının genel Gerilim-Akım karakteristiği Şekil 1.1'deki gibidir. Şekilden de görüldüğü üzere, eğrinin 0-A kısmı Ohm kanununa uymaktadır, A-B kısmında bir saturasyon gerçekleşmektedir (bunun sebebi katottan çıkan tüm elektronların anoda varmış olmasıdır), C noktasında ise boşalma gerçekleşmektedir. Dolayısıyla 0-C aralığında boşalma kendi kendini besleyemez ve kararsız bir durum sergiler.

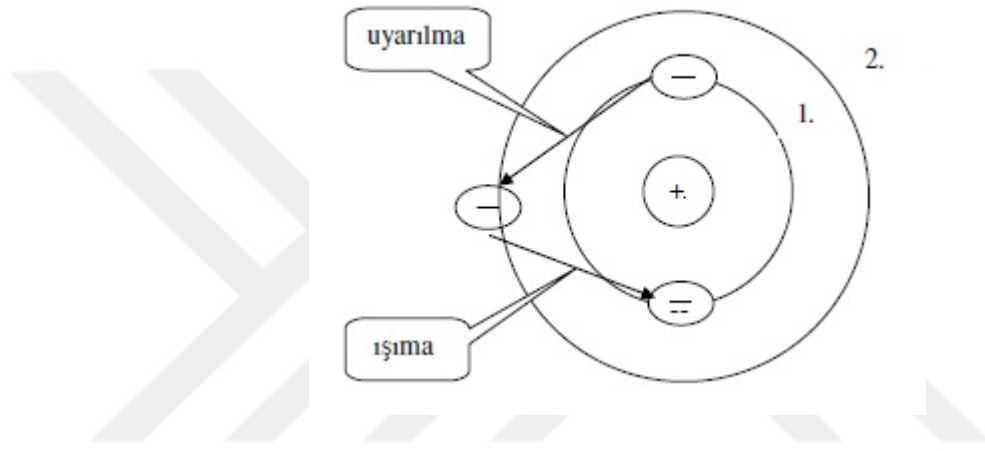


Şekil 1.1. Gazlarda elektrik boşalmasının genel Gerilim-Akım grafiği

## 1.2. Atomun Uyarımı ve İyonizasyon:

Bohr atom modeline göre atom, pozitif elektrik yüklü bir çekirdek (çapı yaklaşık olarak  $10^{13}$  ile  $10^{12}$  cm) ile bunun etrafında bulunan elektronlardan meydana gelir. Bir atomun elektron sayısı  $Z$  ile gösterilir ve bir elektronun elektrik yükü de  $-q$  ile gösterilir.  $q$ 'nun değeri  $1.6 \times 10^{19}$  C olup elektriğin en küçük parçasını temsil eder. Bir atomun  $Z$  elektronuna karşılık olan toplam elektrik yükü  $Q = -Z \cdot q$ 'dur. Nötr bir atomda bu yük çekirdeğin pozitif elektrik yüküne eşittir ( $Q_{çek} = Z \cdot q$ ).  $Z$ 'ye çekirdek yükü sayısı, sıra sayısı veya proton sayısı denir.  $Z$ 'nin değişmesi elemanın değişmesine karşı düşer. Buna karşılık elektronlardan birinin veya birkaçının atomdan ayrılması veya atoma konması çekirdek yükü sayısında bir değişiklik yapmaz, fakat bu durumda atom iyonize olmuş olur. Bir atomdan bir elektron ayrılmasında pozitif iyon (katyon) ve atoma elektron konmasında da negatif iyon (anyon) meydana gelir (Özkaya, 2008).

Elektronlar çekirdeği bir zarf gibi kuşatırlar. İncelemeler için elektronların dairesel yörüngeler üzerinde hareket ettikleri kabul edilecektir. Belirli bir yörüngede bulunan bir elektron çekirdek merkezine olan uzaklığına göre belirli bir enerji düzeyinde bulunur. Bir atomda öyle yörüngeler vardır ki, elektronlar bu yörüngelerde hareket ettikleri sürece hiç enerji yaymazlar. Bu yörüngelere kuantum yörüngeleri veya kabuk adı verilir. Kabuklar çekirdek merkezlerine olan uzaklıklarına göre dizilirler. Bir Hidrojen atomunun en basit modeli Şekil 1.2’de verilmiştir (Özkaya, 2008).



Şekil 1.2. Bir Hidrojen atomunun en basit uyarılma ve ışınım modeli

### 1.3. İyonizasyon Türleri:

Bir gaz içinde elektrikli parçacıklar çeşitli şekillerde meydana gelebilir. Bunların başlıcaları çarpma suretiyle iyonizasyon, foto iyonizasyon, termik iyonizasyon ve yüzeysel iyonizasyondur.

Çarpma suretiyle iyonizasyonda  $m$  kütleli ve  $v$  hızına sahip bir parçacık belirli bir kinetik enerjiye sahip olduğundan dolayı; bu parçacık başka bir atoma veya moleküle çarptığı zaman atom veya molekülü iyonize edebilir. Bu durumda eğer parçacığın sahip olduğu kinetik enerji, çarptığı atomun veya molekülün iyonizasyon enerjisine eşit veya büyükse, çarpma olayı iyonizasyonla sonuçlanır (Wen ve ark., 2018).

Foto iyonizasyon olayında, belirli bir  $f$  frekansına sahip olan bir fotonun sahip olduğu kinetik enerji nedeniyle başka bir atoma çarpması durumunda o atomu direk veya kademeli olarak iyonize edebilir. Eğer fotonun kinetik enerjisi, çarptığı atomun bağlanma enerjisinden büyük ise ışına yoluyla fotoiyonizasyon meydana gelir. Eğer fotonun enerjisi atomun bağlanma enerjisinden daha az ise bu durumda kademeli iyonizasyon veya kısmi uyarılma olayı meydana gelir (Wen ve ark., 2018).

Termik iyonizasyon işleminde, bir gazın sıcaklığının yükseltilmesi yoluyla o gazın atomlarını veya moleküllerini iyonize etmek mümkündür. Termik iyonizasyon olayının gerçekleşmesiyle birlikte ısınan gazın atom veya moleküllerinin kinetik enerjilerinin artması sonucunda, aynı anda çarpma suretiyle iyonizasyon ile foto iyonizasyon olayları da meydana gelebilirler (Wen ve ark., 2018).

Yüzeysel iyonizasyon olayı ise, bir madenin yüzeyinden elektron koparılmasıdır. Yüzeysel iyonizasyon olayının gerçekleşebilmesi için madeni ısıtmak, maden yüzeyini elektriksel parçacıklarla bombardımana tabi tutmak, madenin yüzeyini kısa dalga boylu fotonlarla bombardımana tabi tutmak veya madenin yüzeyini kuvvetli bir dış elektrik alanına maruz bırakmakla gerçekleştirilebilir (Wen ve ark., 2018).

#### **1.4. Gazlarda Elektrik Boşalmalarının Bazı Önemli Türleri**

##### **1.4.1. Bariyer boşalması**

Bariyer boşalması bilim ve teknolojiye maddenin plazma halini oluşturmak amacıyla kullanıldığı için yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bariyer boşalmasının endüstride kullanım alanlarından en çok bilinen örneği, kimyasal sentez amacı ile ozonun üretilmesidir. Bilindiği üzere ozon, tarım alanında tıpta ve kimya endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bariyer boşalması gaz ortamında bulunan ve elektrotlarından en az biri dielektrikle yalıtılmış elektrot sistemine AC gerilimin uygulanması sonucu gözlemlenen bir elektrik boşalması olarak bilinir (Tirumala, 2011).

Bariyer boşalmasının enerji, zaman ve ortalama karakteristikleri akım  $I(t)$  ve gerilim  $U(t)$  osilogramlarının yardımı ile ve *Gerilim-Yük* ( $U-q$ ) karakteristiği yardımı ile belirlenebilir.  $q(u)$  boşalma akımının taşıdığı yük olmak üzere değeri aşağıdaki formülle belirlenebilir:

$$q(u) = \int_0^t i(t)dt \quad (1.1)$$

Boşalma karakteristiklerinin belirlenmesinde genelde boşalmanın dinamik ve statik *Gerilim-Akım* özdeşlerinden söz edilir. Burada boşalmanın dinamik *Gerilim-Akım* özdeşliği, akım ve gerilimin anlık değerleri arasındaki bağıntıyı, statik *Gerilim-Akım* özdeşliği ise boşalma akımının ortalama değeri ile elektrotlar sistemine uygulanan gerilim arasındaki bağıntıyı ifade eder.

Bariyer yüzeysel boşalma ise dinamik bir kapasiteye sahip olduğu için bariyer boşalmasından farklılık gösterir. Bu dinamik kapasiteyi oluşturan sebep, bariyer olarak kullanılan dielektriğin boşalma kanalı ile kaplanmasından kaynaklanır (Hansu, 2012).

#### 1.4.2. Kısmi boşalma (PD)

Yalıtım sistemlerindeki kısmi deşarjlar (PD), iletim yüzeyleri boyunca sızma akımları üzerinde yüzeylerden yük taşıyan emisyonlar; ısı ve ışık verici deşarjlar, minimum kritik çığlaşma ile sıvılar ve katılar içerisine yük taşıyıcı enjeksiyonu gibi düşük ve elektrik dallanması şeklindeki orta yoğunluklu olaylar; arklar, şimşekler vb. deşarj tipleri gibi geniş bir fiziksel olayların dağılımından oluşurlar. Bu deşarj tiplerinin çoğu yalıtımın azalmasına etki eder ve bir kısmı da çökme olayını tetikler. Bu yüzden PD olayının fiziksel mekanizmasını anlama ve PD ölçümlerinin yorumlanması konuları günümüzde hâlâ önemini korumaktadırlar.

PD'nin öncü çalışmaları 1960 ve 1970'lerde oylum (boşluk) deşarjı üzerinde yoğunlaşmıştır. 1970'lerin sonlarında diğer PD mekanizmalarını anlamak için nicel nümerik simülasyonlar gibi gelişmiş metotlar kullanılmıştır. PD sinyallerini



ölçebilmek için gerekli fiziksel proseslerin esasları daha ileri çalışmalarda ortaya konulmuştur. PD modellemesine genel bir yaklaşım ve PD konusunun fiziksel esasları 3 temel bölüme ayrılabilir (Zile, 1999):

Bunlar, PD modelleri, yaşlanma ve zayıflanma modelleri ile çökme modelleridir.

### **1.4.3. Korona boşalması**

Elektrik gaz boşalmalarının bu çeşidi, ilk kez hava ortamında bulunan ve ortama göre yüksek potansiyele sahip olan iletkenin ucunda korona (taç, saçılma) şeklinde gözlemlenen bir glow (kor) boşalmasıdır. Bilindiği üzere boşalmanın bu çeşidi (korona boşalması) non-homojen elektrik alanı oluşturan elektrotlar arasındaki basıncın yüksek değerlerinde gözlemlenir. Örneğin, bu tür elektrot sistemini temsilen, hava iletim hatlarının iletkenlerinin “iletken – iletken” arasında oluşan elektrik alanında veya “iletken – yer” elektrot sisteminde oluşur. Bundan dolayıdır ki, korona boşalmasının fiziksel özelliği “çubuk – düzlem”, “çubuk – çubuk”, “küre – küre”, “küre – düzlem” elektrot sistemlerinde incelenir.

İletim hatlarındaki kayıplar açısından bakıldığında, koronanın hat üzerinde akustik ses oluşturma, radyo ve televizyon alıcılarında parazit oluşturma, hatlarda gerilim düşümü, iletkenlerdeki yalıtkanlık veya iletkenlik özelliklerinin kaybedilmesi ve hatlarda güç kaybı oluşturma gibi zararlı etkileri vardır (Dawood, 2015).

Korona boşalmasının oluşmasını etkileyen çeşitli faktörler vardır. Bunlardan bazıları, iletkenler arasındaki açıklık, iletkenlerin yarıçapı, hava koşulları, iletken yüksekliği ve iletken yüzeylerinin pürüzlülük durumudur. İletken yüzeyindeki pürüzlülüğün artması yani kabarmış damarların olması, toz ve kirin iletken yüzeyinde artması korona kaybını arttıran durumlardır. İletken çapının artması korona olasılığını azaltırken, gerilim frekansının artması korona olasılığını ve kaybını arttırmaktadır (Bal, 2010). Korona boşalması iletim hatlarında ve iyon-elektron teknolojisinde önemli bir yere sahiptir. İletim hatlarında korona boşalmaları dezavantaj olarak görülür. Bu dezavantajın etkilerini minimize etmek amacıyla birtakım önlemler alınabilir. Gaz

ortamında yüklü parçacıkların oluşturulması için *İyon-elektron* teknolojisindeki korona boşalmaları, elektro-filtrelerde, baca gazlarının temizlenmesinde, ozanatorlarda ve suyun filtrasyonu gibi alanlarda genişçe kullanılmaktadırlar (Hansu, 2005).

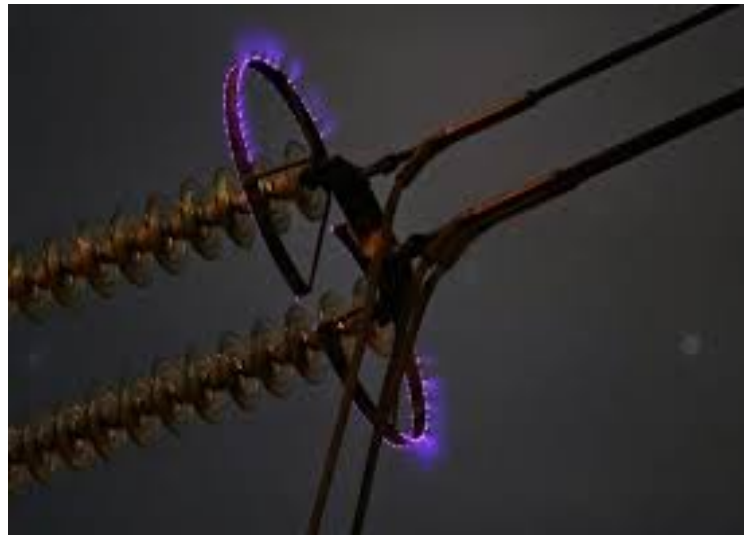
Korona boşalması tekniğin iki alanı için çok önemlidir:

1. İletim Hatlarında

2. İyon – Elektron Teknolojisinde

Korona boşalması yüksek gerilim teknolojisinde, örneğin havai iletim hatlarında önemli derecede enerji kayıplarına neden olur. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için belirli tedbirler alınır. Oysa *iyon-elektron* teknolojisinde elektrik boşalmalarının bu tipi gaz ortamında yüklü parçacıkların oluşturulması için örneğin elektrofiltrelerde, baca gazlarının temizlenmesinde, ozanatorlarda ve suyun filtrasyonu gibi alanlarda genişçe kullanılır.

Korona boşalması iletim hatlarının bileşenlerinde genellikle sivri uçlar üzerinde daha kolay tutuşmaktadır. Bu tutuşma, ortamın gazının türüne ve basıncına göre renk tonlarını yansıtır. Genellikle mor renkli ve taç şeklinde bir görüntü oluşturur. İletim hatlarında gerçekleşen örnek bir korona tutuşması görüntüsü Şekil 1.3’te verilmiştir.



Şekil 1.3. Mor renkli korona görüntüsü

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Korona boşalmalarının mekanizmalarının tam olarak anlaşılmasına yönelik çalışmalar gün geçtikçe daha da çeşitlilik kazanmaktadır. Bir taraftan enerji iletim hatlarında gerçekleşen korona kayıplarının önlenmesine yönelik çalışmalar yapılırken; diğer taraftan ise korona boşalmalarının her geçen gün farklı bir teknolojik alana (Kimya endüstrisi, malzeme imalat teknolojisi vb.) uygulanarak önemli bulgulara ulaşılmaktadır. Enerji verimliliği açısından bakıldığında, korona kayıplarının iletim hatlarında kayda değer bir enerji kaybına yol açtığı söylenebilir. Bu kayıpları önlemek amacıyla literatürde çok çeşitli çalışmalara rastlamak mümkündür fakat söz konusu kayıpları tamamen yok edecek kesin bir yöntem henüz bulunmuş değildir. Yüksek gerilim sistemlerinde gerçekleşen korona boşalmaları ile ilgili literatürde daha önce yapılmış olan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

### 2.1. Konuyla İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar

İlhan ve arkadaşları tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada İğne-Düzlem (needle-plane) elektrot sistemi için farklı elektrot aralıklarında hem AC hem de DC gerilim altında korona başlangıç gerilimleri belirlenmiştir. Elektrot sistemi 0 cm ile 100 cm aralığında 10 cm aralıklarla olacak şekilde tasarlanmış olup her bir aralık için boşalma gözlemlenene kadar gerilim değeri arttırılmış ve boşalmanın başladığı bu gerilim değeri korona başlangıç değeri olarak kabul edilmiştir. Benzer şekilde Sonlu Elemanlar Yöntemiyle benzer bir elektrot sistemi için korona başlangıç gerilim değerlerine karşılık gelen maksimum elektrik alan kuvveti belirlenmiştir. Sonuçlar AC gerilim altında elektrotlar arası açıklık arttıkça korona başlangıç gerilim değerinin arttığını buna karşın DC gerilim altında ise DC gerilimin her iki polaritesi içinde aynı eğilim içerisinde olduğu ancak belli bir elektrot açıklığından elektrot sonra bu değer in elektrotlar arası açıklıktan daha az etkilendiği gözlenmiştir. Benzer bir şekilde sadece DC gerilim için nem etkisi de incelenmiş olup, DC gerilimin her iki polaritesi içinde nem arttıkça korona başlangıç değerinin azaldığı gözlenmiştir. (İlhan ve ark., 2018).

Sun ve arkadaşları tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada farklı hava boşluklarında negatif korona boşalmaları incelenmiştir. Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak bir iğne-düzlem elektrot sistemi için simule edilen bu çalışmada elektrotlar arası açıklığın etkisinin incelenmesi için Trichell darbeleri, darbe frekansı, elektron ve elektrik alan dağılımı ve anot plakası üzerindeki yüzey akımı yoğunluğu dağılımı incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda korona akımı ile elektrotlar arası açıklık arasında üstel bir bağlantı buna karşın; oluşan darbe frekansı ile elektrotlar arası açıklık arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Ayrıca elektrotlar arası açıklığın artmasıyla birlikte elektrotlar arasında gerçekleşen Trichel darbelerin sıklığında doğrusal bir azalma olduğu görülmüştür (Sun ve ark., 2019).

Altamimi ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada farklı elektrot sistemlerinin korona boşalmalarına olan etkisi incelenmiştir. Benzer bir şekilde elektrik alan dağılımının kısmi boşalmalara olan etkisinin de simule edilerek incelendiği bu çalışmada toprak olarak düzlem bir elektrot kullanılmış olup buna karşılık ucu iğne, düz ve küre şeklinde olmak üzere üç farklı elektrot sistemi elde edilerek yüksek gerilim altında deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar elektrot şeklinin korona boşalmaları ve elektrik alan dağılımı üzerinde belirgin bir parametre olduğunu göstermiştir. Korona başlangıç geriliminin en yüksek değeri küre elektrotunda alırken en düşük değeri iğne elektrotunda aldığı görülmüştür. Ayrıca elektrot şekillerine bağlı olarak elektrot ucunu çevreleyen elektrik alan büyüklüğünün kısmi boşalmaların özelliklerini etkilediği gözlenmiştir (Altamimi ve ark., 2014).

Kantouna ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada tel-silindir elektrot konfigürasyonunda elektrik alan dağılımı ve havanın elektro-hidrokinamik akışı teorik ve sayısal olarak incelenmiştir. Elektrik alan dağılımı ve havanın elektro-hidrokinamik akışı Sonlu Elemanlar Yöntemi ile simule edilmiş olup elektrot yarıçapı ve tel-elektrot arası mesafenin alan dağılımı ve akış üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Sonuçlar tel ve elektrot arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte elektrik alan değerinin azaldığını ve hava akımının simetri eksenine yakın bir yerde toplandığını göstermiştir. Bununla birlikte silindir elektrotun yarıçapının artmasıyla birlikte maksimum elektrik alan değerinin arttığını göstermiş olup kullanılan elektrot konfigürasyonu kolayca

standartlaştırılabileceği ve tekrar kullanılabilenleceği belirtilmiştir. Ayrıca elde edilen simülasyon sonuçlarının mevcut birçok uygulamanın optimizasyonuna katkı sunabileceği ifade edilmiştir (Kyriaki ve ark., 2012).

Tirumala ve arkadaşları tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada milimetre altı elektrot boşluklarında gerçekleşen korona boşalmaları incelenmiştir. Elektrot sistemi olarak bir tel-düzlem (wire-plane) elektrot sisteminin kullanıldığı bu çalışmada farklı elektrot aralıklarında pozitif korona boşalmaları deneysel olarak analiz edilmiştir. Ayrıca bir tel-düzlem elektrot sisteminde akım-voltaj deşarjı için teorik bir ilişki türetilmiş ve geometrik parametrelere etkisini elde etmek için deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar elektrotlar arası boşluk ve elektrot yarıçapının azalmasıyla birlikte boşalma akımının azaldığını ve boşalmanın daha düşük gerilim seviyelerinde gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte gerilim-akım karakteristiğinin Townsend Kanunu ile uyum içerisinde olduğu belirtilmiştir (Tirumala ve ark., 2011).

He ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada koaksiyel bir tel-silindir elektrot aralığında gerçekleşen AC korona deşarj darbelerinin ve korona darbelerinin yarattığı radyo parazit (RI) seviyelerinin özellikleri incelenmiştir. Bir korona kafesinin içerisinde gerçekleştirilen bu çalışmada AC korona darbelerinin ortalama genlik ve tekrarlama frekansı gibi bazı parametreler analiz edilerek AC korona darbelerinin karakteristiği ve radyo parazit seviyeleri incelenmiştir. Sonuçlar, ölçülen yarı-tepe RI akım değerinin, frekans işleme yöntemi kullanılarak ölçülen korona akım darbesinden hesaplanan tepe akım değer ve RMS akım değer arasında olduğu bulunmuş olup, RI seviyesi ile pozitif darbe genliği çarpımı ile pozitif darbe frekansının karekökü arasında yaklaşık doğrusal bir ilişki vardır. Bununla birlikte AC gerilim altında negatif Trichel deşarjı ve iki farklı pozitif deşarj tipinin gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca elektrotlara uygulanan gerilimin artmasıyla birlikte Trichel darbelerinin negatif yarı döngüdeki ortalama darbe genliğinin, tekrarlama sırasında hafifçe arttığı sonucuna ulaşılmıştır (He ve ark., 2016).

Abdel-Salam ve arkadaşları tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada çubuk-düzlem (needle-plane) elektrot sistemi için darbe korona (impulse korona) başlangıç geriliminin ve başlangıç zamanının hesaplanması için bir yöntem önerilmiştir.

Atmosferde serbest hale gelen elektronların doğal üretim hızına dayanan bu çalışmada hesaplanan korona başlangıç geriliminin, uygulanan anahtarlama darbesinin dikliği ve rampa (ramp-shaped) şeklindeki gerilimlerin farklılığı için deneysel olarak ölçülenler ve belirlenen bir çubuk aralığı için bir anahtarlama darbesi voltajı ile deneysel olarak ölçülenler ile önemli ölçüde örtüştüğü belirtilmektedir. Ayrıca hesaplanan başlangıç zamanının, uygulanan pozitif rampa şeklindeki darbelerin dikliği ve aynı aralık aralığı için çubuk yarıçapının azalması ile azaldığı sonucuna varılmıştır (Abdel-Salam ve ark., 2007).

Koh ve Park tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada yüklü parçacıkların dinamik özelliklerin incelenmesinde kullanılan Monte Carlo simülasyon tekniği yardımıyla nokta düzlem korona boşalmalarının nümerik simülasyonu yapılmıştır. Fotoiyonizasyonla serbest kalan elektron iyon çiftleri, katottan ikincil elektron emisyonu ve elektron darbeli iyonlaşmayı da içeren bu modelin negatif korona boşalmalarının çalışma mekanizmasının anlaşılmasında önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, elektron çığının, pim elektroduna yakın yüksek elektrik alana sahip bölgede gerçekleştiği ve fotoiyonizasyonun, elektron darbe iyonlaşmasının yanı sıra deşarjın sürdürülmesi için temel mekanizma olduğu belirtilmiştir (Koh ve Park, 2010).

Wang ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada AC gerilimin pozitif korona akımı darbelerinin özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma bir tel-silindir elektrot sistemi için artış zamanı, yarım dalga zamanı, süre, tekrarlama oranları, ortalama genlik ve ikincil atımların zaman aralıkları gibi atım dalga form parametrelerinin analiz edilmiş olup, çalışmanın AC geriliminin etkisi altında pozitif DC korona deşarjının mekanizmasını ortaya çıkarmak için iyon bulutu modeline dayanan teorik bir açıklama sunulduğu belirtilmiştir. Akım darbelerinin modunun DC veya AC korona deşarjından farklılık gösterdiği ve AC gerilimin, yükselme süresi, yarım dalga süresi ve genlik gibi pozitif akım darbelerinin geçici özellikleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığını ve DC gerilime bağlı olarak, AC gerilimin ilk önce tekrarlama frekansını yükselttiğini ardından bastırdığı belirtilmiştir (Wang ve ark., 2016).

Adamiak ve Atten tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada korona boşalmalarının sayısal simülasyonu yapılmıştır. Bir nokta-düzlem elektrot sistemi için sayısal simülasyonun yapıldığı bu çalışmada farklı elektrot yarıçapları için pozitif korona boşalması durumunda elektrik alan ve yük dağılımı belirlenmiştir. Sınır ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ve yük dağılımının belirlenmesi yöntemine dayanan bu simülasyon küresel şekilli bir ucu olan bir silindir koni iğnesi kullanılarak ölçülenlere uygun olan, zemin plakası üzerindeki akım yoğunluğu dağılımını vermektedir. Keskin olmayan ( 95mm eğrilik yarıçapı ) elektrotlarda yoğunluk dağılımını yeterli düzeyde tahmin eden simülasyonun buna karşın; keskin elektrotlarda ( 35 mm eğrilik yarıçapı ) kekin elektrot çevresinde oluşan yüksek elektrik alanın doğru bir şekilde hesaplanmasının zorluğu nedeniyle hesaplamaların doğruluğu açısından kötü sonuçlar verdiği sonucuna varılmıştır ( Adamiak ve Atten, 2014 ).

Maglaras ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada çubuk-düzlem elektrot sistemindeki DC ve darbe gerilimleri tarafından hava boşluklarında gerçekleşen korona boşalmalarının başlama ve delinme gerilimlerinin optimizasyonunun sağlanması için kullanılan yöntemlerin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada elektrot geometrisinin, topraklama ve enerjilendirme için seçilen elektrotun, elektrotlar arası mesafenin elektrik alan dağılımını etkileyen faktörler olduğu belirtilmiştir. Teorik, simülasyon ve deneysel çalışmalar sonucunda topraklama için seçilen elektrotun elektrik alan dağılımını ve korona başlama gerilimi ve delinme gerilimini etkilediği sonucuna varılmıştır. Sırasıyla çubuk ve düzlem elektrotlardan biri topraklanıp diğer elektrot negatif olarak enerjilendirildiğinde korona başlangıç geriliminin plaka topraklandığında daha düşük değer aldığı ve koronanın yoğun olduğu; buna karşın; çubuk elektrot topraklandığında korona başlangıç geriliminin daha yüksek olduğu ve koronanın etkilerinin daha az yoğun olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte elektrot boşluklarına bir dielektrik bariyer yerleştirildiğinde korona etkilerinin azaldığı dolayısıyla DC delinme geriliminin yükseldiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, Darbe gerilimlerinden kaynaklanan hava boşluklarında çubuk elektrot topraklandığında korona başlangıç ve delinme geriliminin maksimum olduğu belirtilmiştir (Maglaras ve ark., 2013).

Iagăr ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada hem pozitif hem de negatif DC korona boşalmalarının *Gerilim-Akım* karakteristiği incelenmiştir. Elektrot sisteminin etkisinin incelenmesi için aktif elektrot olarak konik ve küresel olmak üzere 2 farklı elektrot tipi kullanılmış olup elektrotlar arası aralığın incelenmesi için ise hareket ettirilebilen pasif bir düzlem elektrot kullanılmıştır. Belirlenen elektrot sistemi ve elektrotlara arası aralıklarda DC gerilim verilerek *Gerilim-Akım* grafikleri elde edilmiştir. Sonuçlar seçilen aktif elektrotun ve elektrotlar arası açıklığın korona boşalmalarının başlama gerilimi ve boşalma akımı üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte verilen bir elektrot sisteminde korona başlama geriliminin pozitif polaritede negatif polariteye oranla daha düşük olduğunu ve korona başlangıç geriliminin konik-düzlem elektrot sisteminde elektrotlar arası boşluk arttıkça her iki gerilim polaritesi içinde arttığı, boşalma akımının ise azaldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca aktif elektrot yüzeyinin koron boşalma görünümü üzerinde belirgin bir parametre olduğu belirtilmiş olup aynı koşullar altında boşalma akımının konik-düzlem elektrot sistemine oranla küre-düzlem elektrot sisteminde daha düşük değerler aldığı görülmüştür ( Iagăr ve ark., 2017).

Yan ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada korona boşalmalarının karakteristikleri, 293 °K ila 1173 °K arasındaki sıcaklıklarda farklı deşarj boşlukları ve elektrot geometrileri altında bir tel plakalı deşarj konfigürasyonunda incelenmiştir. Sonuçlar, sıcaklık arttıkça boşalma akım yoğunluğunun arttığını göstermiştir. Bununla birlikte sıcaklığın artmasıyla birlikte elektrotlar arasında gerçekleşen korona boşalmalarının kararsız bir hal aldığı ve sıcaklık değerinin 1073 °K'yi aştığında ve deşarj boşluğu 50 mm'den az olduğunda artan elektron sayısından dolayı sık sık delinmelerin olduğu sonucuna varılmıştır. Elektrotlar arası açıklığın 30 mm'den 70 mm'ye yükselmesi beraberinde çalışma geriliminin de 1073 °K'da 8,2 kV'dan 13,6 kV yükseldiği belirtilmiştir. Boşalma boşluğunun artırılmasıyla korona başlangıcı ile kıvılcım arasındaki çalışma gerilim aralığının yüksek sıcaklıklarda genişlediği görülmüştür. Tel ve spiral elektrotlarla karşılaştırıldığında, şerit elektrotların daha kolay kıvılcım ürettiği sonucuna varılmıştır (Yan ve ark., 2015).



Meng ve arkadaşları tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada bir nokta-düzlem (needle-plane) elektrot siteminde korona *Gerilim-Akım* ilişkisinin karakterize edilmesinde kullanılabilecek yeni bir genel formül elde edilmiştir. Güncellenmiş korona başlangıcı bilgisinin yanı sıra deneysel verilerin matematiksel olarak işlenmesiyle  $I = K.(V - V_0)^n$  formülü elde edilmiş olup iğne yarıçapının formülde yer alan  $n$  değeri üzerindeki en güçlü faktör olduğu ancak verilen deneysel koşullar elektrotlar arası açıklığın  $n$  değerini hemen hemen etkilemediği belirtilmiştir. Bununla birlikte deneysel şartlarda gerilim farkının boşalma akımı üzerindeki etkisinin anlaşılmasında tutarsızlıklar içeren diğer formüllere nazaran elde edilen bu formülün daha başarılı sonuçlar içerdiği ifade edilmiştir. Bununla birlikte elde edilen bu ampirik formülün korona fenomeni olayının daha karmaşık çalışmalarında bir ipucu sağlayabileceği belirtilmiştir (Meng ve ark., 2008).

## **2.2. Tezin Güncelliği**

Günümüzde teknolojinin ilerlemesine bağlı olarak çalışılan yöntemler ve araştırma konuları da gün geçtikçe artmakta ve çeşitlilik göstermektedirler. Gazlarda elektrik boşalması yöntemleri de her geçen gün farklı teknolojik alanlara uygulanarak önemli sonuçlara ulaşılmaktadır. Enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde gerçekleşen teknik kayıpların azaltılmasına veya yok edilmesine yönelik çalışmalar da her geçen gün artmaktadır. Bu kayıpların temel sebeplerine işaret eden bu tez çalışmasının sonucunda alınacak olan deneysel verilerin hem elektriksel kayıpların azaltılmasına hem de malzeme üretim tekniği açısından önemli sonuçlara ulaşılmasına önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, ekili alanlardan veya orman sahalarından geçmekte olan elektrik enerjisi iletim hatlarında gerçekleşebilen elektriksel ark boşalmalarının oluşumu sonrasında meydana gelebilecek yangınların önemli ölçüde önlenmesine yönelik katkılar sunması beklenmektedir. Dolayısıyla, tez çalışmamız güncel bazı problemlerin çözüme kavuşturmasına yönelik katkılar sunması nedeniyle önemli ve güncel bir niteliğe sahiptir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Elektrik gaz boşalmalarının önemli bir türü olan korona boşalmalarının çeşitli elektrot parametrelerine bağlı olarak incelenebilmesi için *Düzlem-Düzlem*, *İğne-Düzlem* ve *İğne-İğne* elektrot sistemlerinden yararlanılmıştır. Bu elektrot sistemlerinin imal edildiği malzemenin türüne göre çeşitli kombinasyonlar oluşturularak deneysel uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak yapılan bu tez çalışması kapsamında kullanılan elektrot sistemleri birbirinden bağımsız olarak paslanmaz çelik, bronz ve alüminyum malzemelerden imal edilmiştir. Mevcut çalışma için tasarlanan tüm elektrotlar hassas torna yardımıyla ve yüzeyleri pürüzsüz olarak imal edilmişlerdir. İmal edilen bu elektrotlar özel olarak tasarlanmış olan bir fiberglas malzeme içerisine monte edilerek elektrot açıklığı 5 mm olacak şekilde sabitlenmiş ve bu elektrotlara belirli oranlarda yüksek gerilimler uygulama suretiyle gerekli deneysel ölçümler alınmıştır.

Deneysel çalışmalar Siirt Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi B Bloktaki Yüksek Gerilim Araştırma Laboratuvarında atmosferik koşullarda ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deney seti kapsamında besleme gerilimi için dâhili tip bir gerilim trafosu, elektrot açıklıkları 5 mm olacak şekilde sabit olarak ayarlanmış olan çeşitli malzemelerden ve çeşitli şekillerde üretilen elektrot sistemleri, manuel olarak ayarlanabilen ve 0-33 kV arası gerilim verebilen 220/33000 v dönüştürme oranına sahip olan bir AC Transformatör ile bu transformatörü beslemek amacıyla 0-220 v aralığında çıkış gerilimi verebilen bir ayarlı gerilim kaynağı kullanılmıştır.

Deneysel uygulamaların her aşaması birbirinden bağımsız olacak şekilde, elektrot malzemesinin türüne ve elektrot şekline göre oluşturulan kombinasyonlara göre belirlenmiş ve ölçümler buna göre alınmıştır. Belirlenen elektrot konfigürasyonları için iletim hatlarının modeli göz önüne alınarak *Düzlem-Düzlem*, *İğne-Düzlem* ve *İğne-İğne* şeklinde belirlenmiştir.

Dâhili tip gerilim trafosu bir fazlı olarak imal edilmiş ve toprak terminali bina topraklamasından bağımsız olup özel olarak hazırlanmış olan bir topraklama sistemine sahiptir. Kullanılan trafo 220/33000 v dönüştürme oranına sahip olup 1 kVA gücündedir. Deney trafosunun genel görüntüsü Şekil 3.1’de verilmiştir.



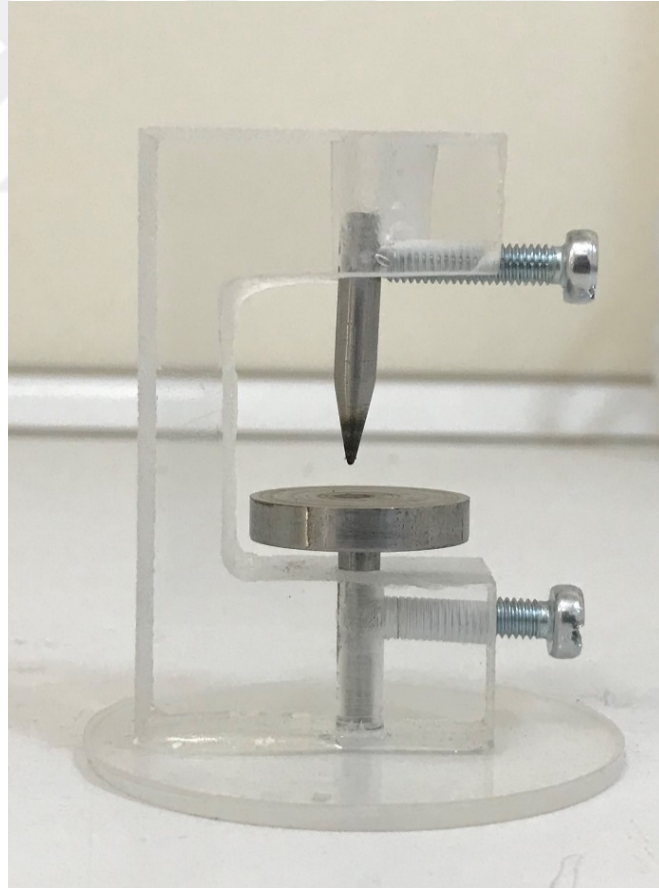
Şekil 3.1. Deney Trafosunun görüntüsü

Şekil 3.2. gösterilen ve trafonun beslemesi için kullanılan gerilim kaynağı 0-220 V aralığında 1 V aralıklarla çıkış gerilimi verebilme özelliğine sahip olan tek fazlı bir varyaktır. Trafonun besleme gerilimi bu cihaz sayesinde istenilen aralıklarla kontrol edilebilir özelliktedir. Çıkış gerilimi değerleri ise sağ üst köşesinde bulunan dijital voltmetre yardımıyla takip edilebilmektedir.



Şekil 3.1: Ayarlanabilir Gerilim Kaynağı

Deney sisteminde kullanılan önemli materyallerden biri de *Düzlem-Düzlem*, *İğne-Düzlem* ve *İğne-İğne* elektrot sistemleridir. Bu konfigürasyonların seçilmesinin temel nedeni ise *iletken-yer* veya *iletken-iletken* konfigürasyonlarına eşdeğer olmasıdır. Deneysel uygulamalarda bu elektrotların arasındaki mesafeler *1-10 mm* aralığında ve her adımda *1 mm* arttırılarak ayarlanmış ve tüm deneyler için bu değerler kullanılmıştır. Düzlem elektrotların çapı *25 mm*; iğne elektrodun mil çapı ise *5 mm* olarak imal edilmiştir. Hazırlanmış olan elektrot sistemine, atmosferik basınç koşullarındaki ortamda belirli kademelerle uygulama gerilimi beslenerek ölçümler alınmıştır. Gerilimin her artış kademesinde karşılık gelen akım değerleri kaydedilmiştir. Gerilim artışı, boşalma ark moduna geçinceye kadar devam ettirilmiş ve ark başlangıcından sonra kademeli olarak azaltılmış ve sifıra çekilmiştir. Örnek teşkil etmesi bakımından *İğne-Düzlem* elektrot sisteminin görüntüsü Şekil 3.3'te verilmiştir.



**Şekil 3.3.** *İğne-Düzlem* elektrot sistemi görüntüsü

Boşalmanın akım ve gerilim dalgalarının görüntülerinin elde edilmesi için *Gwinstek GOS 652 G* tip analog osiloskop kullanılmıştır. Boşalma akımlarının bazıları dijital besleme kaynağının ekranından direk olarak okunabilirken, varyakla besleme yapıldığı durumlarda ise  $1\text{ k}\Omega$ 'luk direnç üzerinden osiloskop yardımıyla gerekli ölçümler alınmıştır. Kaynaklarla besleme işlemi ayrı ayrı ve birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilmiştir. Deney setinin analog osiloskop görüntüsü Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Deney setinin analog osiloskop görüntüsü

### 3.2. Metot

DeneySEL çalışma kapsamında paslanmaz çelik, bronz ve alüminyum malzemelerden üretilmiş olan *Düzlem-Düzlem İğne-Düzlem* ve *İğne-İğne* elektrot sistemlerine  $50\text{ Hz}$  sabit frekans değerlerinde ve hava ortamında çeşitli gerilimler uygulanarak her durumda birbirinden bağımsız olacak şekilde gerilim ve akım değerleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Elektrot malzemesinin türüne ve şekillerine bağlı olarak her bir deney için uygulama gerilimi belirli adımlarla (ortalama 5'er voltluk gerilim değerleriyle) arttırılarak her adıma karşılık gelen akım değerleri kaydedilmiştir. Bu işlemler her bir elektrot malzemesinin türü, konfigürasyonu ve her bir elektrotlar arası açıklık için ayrı ayrı olarak tekrarlanmıştır. Alınan deneysel veriler doğrultusunda boşalmanın tutuşma ve sönümlenme karakteristiklerini veren  $U_d=f(a)$  ve  $U_s=f(a)$  özeğrileri oluşturulmuş ve yorumlanmıştır. Ayrıca boşalmanın arka dönüştüğü andaki gerilim değeri ile gerilimin azaltılmasıyla boşalmanın sönümlendiği ana karşılık gelen

gerilim değerleri kaydedilerek boşalmanın tutuşma ve sönümlenme gerilimleri belirlenmiştir.

Başlangıçta Ohm Kanununa uygun olarak artan akım değerleri, uygulama geriliminin belirli bir artış sınırından sonra boşalmanın tutuşmasıyla birlikte akım ani bir sıçrayışla artarak *Mikroamper* seviyelerinden *Amper* seviyelerine kadar bir artış göstermiştir. Bu noktadaki gerilim değeri kaydedilmiş ve boşalmanın tutuşma gerilimi olarak adlandırılmıştır. Daha sonra uygulama geriliminin yavaş adımlarla azaltılmasıyla birlikte boşalmanın belirli bir gerilim değerinde (tutuşma gerilim değerinden daha düşük bir değerde) boşalmanın sönüdüğü görülmüş ve bu ana karşılık gelen gerilim değeri de boşalmanın sönümlenme gerilimi olarak kaydedilmiştir.

*DBB* deney sisteminin elektrik devresi, akım ve gerilim eğrilerinin yanı sıra  $i=f(u)$  ve  $q=f(u)$  bağıntılarının görüntülenmesini gerçekleştirebilecek şekilde tasarlanmıştır. Boşalmanın ve değişim eğrileri eşzamanlı olarak reaktörün çıkışına bağlanmış olan  $330 \Omega$  direnç üzerinden osiloskop yardımıyla görüntülenmiş olup, resimler hızlı çekim yapabilme özelliğine sahip olan bir cep telefonu yardımıyla kayda alınmıştır.

Dielektrik bariyer boşalmasının gerçekleştirildiği sistemde kullanılan materyal ve yöntemin doğru seçimi, boşalma parametrelerinin yüksek hassasiyette elde edilmesi açısından oldukça önemlidir. Sistemin önemli bir parçasını oluşturan yüksek gerilim trafosunun gücünün yeterli değerde olması da akım osilasyonlarının kararlılığı açısından önemli bir gerekliliktir.

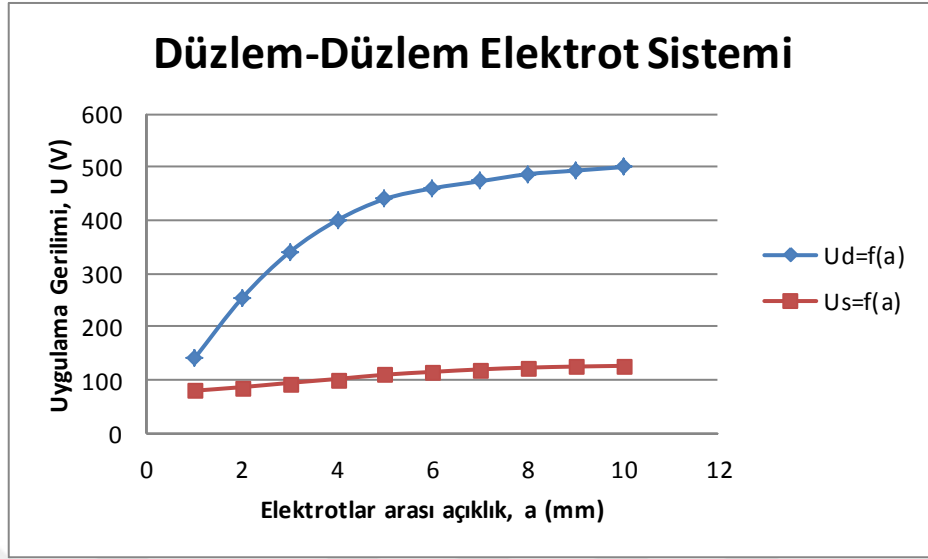
#### 4. BULGULAR

Korona boşalmalarının Labaratuvar ortamında çeşitli elektrot malzemesi ve farklı elektrot kombinasyonları için yapılan deneysel uygulamalardan alınan sonuçlar tablolar ve grafiksel olarak hazırlanmış ve yorumlanmıştır. İlk uygulama düzeneğinde paslanmaz çelik malzemedan oluşturulan *Düzlem-Düzlem* elektrot konfigürasyonunun delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  için elde edilen veriler Tablo 4.1'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilim değerleri de buna göre belirli oranlarda artmıştır. Bu artış oranı aşağıdaki grafiklerde detaylı olarak ifade edilmiştir.

**Tablo 4.1.** Paslanmaz çelik malzemedan üretilen *Düzlem-Düzlem* elektrot sistemin de, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  değerleri

$a$ (mm)	$U_d$ (V)	$U_s$ (V)
1	139,986	79,992
2	253,308	86,658
3	339,966	94,66
4	399,96	102
5	439,956	110
6	459,954	115,32
7	473,286	120
8	486,618	123,3
9	493,284	125,3
10	499,95	126,654

Paslanmaz çelik malzemedan oluşturulan *Düzlem-Düzlem* elektrot konfigürasyonunda gerçekleşen korona boşalmasına ait tutuşma ve sönümlenme gerilimlerinin uygulama gerilimine göre değişim eğrileri Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere elektrotlar arası açıklığın az olduğu noktalarda delinme gerilimleri lineer olarak artış gösterirken, büyük elektrot açıklıklarında bu değişim logaritmik artan bir davranış sergilemiştir. Benzer şekilde, boşalmanın sönümlenme gerilimleri ise delinme gerilimi değerlerine nazaran çok daha düşük seviyelerde fakat bu değerler lineere yakın bir davranış göstermiştir.



**Şekil 4.1.** Paslanmaz çelik malzemeden üretilen *Düzlem-Düzlem* elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri

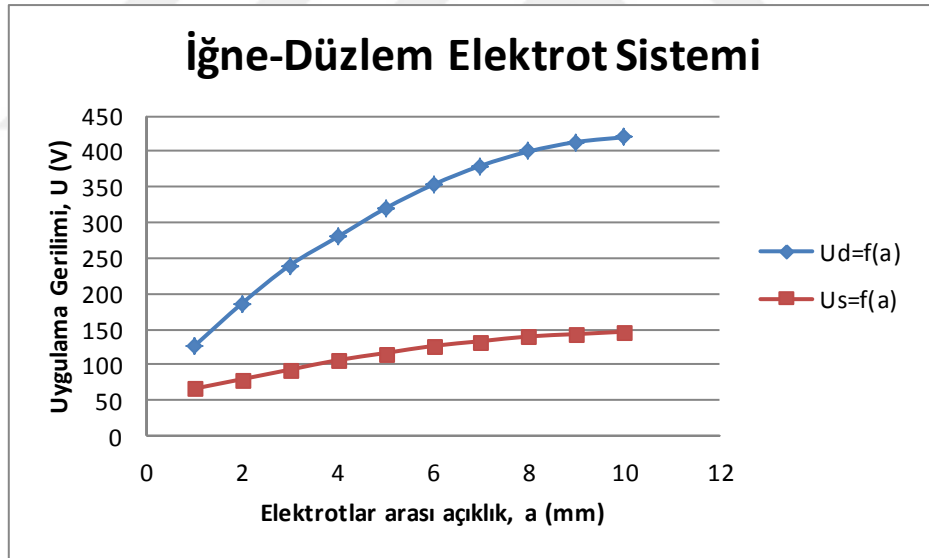
Paslanmaz çelik malzemeden oluşturulan *İğne-Düzlem* elektrot konfigürasyonunun delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  için elde edilen veriler Tablo 4.2’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilim değerleri de buna göre belirli oranlarda artmıştır. Fakat bu uygulamadaki gerilim seviyeleri *Düzlem-Düzlem* elektrot konfigürasyonuna göre daha düşük değerlerdedir. Bu durum, *İğne-Düzlem* elektrot konfigürasyonunun non-homojen elektrik alanına sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

**Tablo 4.2.** Paslanmaz çelik malzemeden üretilen *İğne-Düzlem* elektrot sisteminde, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  değerleri

$a$ (mm)	$U_d$ (V)	$U_s$ (V)
1	126,654	68,66
2	186,648	83,992
3	239,976	97,324
4	279,972	109,656
5	319,968	119,655
6	353,298	126,654
7	379,962	133,32
8	399,96	139,986
9	413,292	143,319
10	419,958	146,652



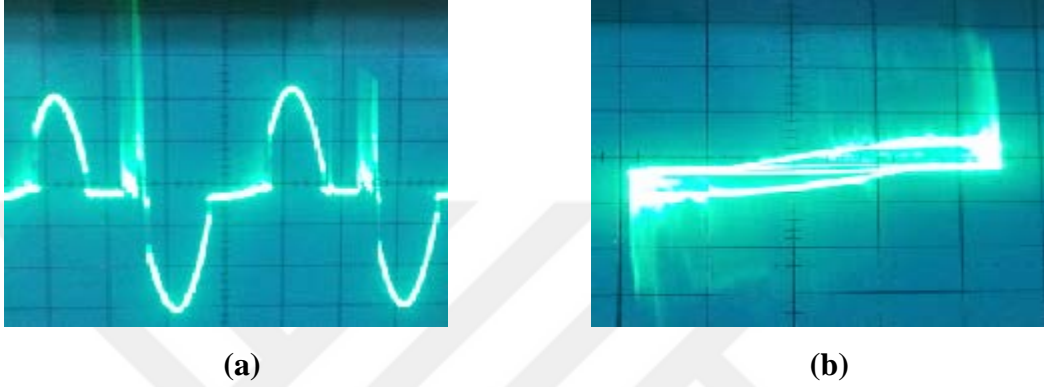
Paslanmaz çelik malzemeden oluşturulan *İğne-Düzlem* elektrot konfigürasyonunda gerçekleşen korona boşalmasına ait tutuşma ve sönümlenme gerilimlerinin uygulama gerilimine göre değişim eğrileri Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere elektrotlar arası açıklığın az olduğu noktalarda delinme gerilimleri lineere yakın olan bir artış gösterirken, büyük elektrot açıklıklarında bu değişim logaritmik artan bir davranış sergilemiştir. Benzer şekilde, boşalmanın sönümlenme gerilimleri ise delinme gerilimi değerlerine nazaran çok daha düşük seviyelerde fakat bu elektrot konfigürasyonunda alınan değerler de logaritmik değişime uygun bir davranış göstermiştir. Grafikten görüldüğü gibi, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın tutuşma ve sönümlenme gerilimleri arasındaki fark da non-lineer bir şekilde artış göstermiştir. Bu durum, elektrotlar aralığında gerçekleşen boşalma esnasında meydana gelen uzay hacim yük taşıyıcılarının sayılarının fazla olmasının bir sonucu olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.2. Paslanmaz çelik malzemeden üretilen *İğne-Düzlem* elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri

Paslanmaz çelik malzemeden oluşturulan *İğne-Düzlem* elektrot konfigürasyonunda gerçekleşen korona boşalmasına ait tutuşma esnasındaki akım osilasyonlarını içeren *Gerilim-Zaman* ve *Gerilim-Yük* eğrileri Şekil 4.3’te verilmiştir.

Korona boşalmanın Şekil 4.3a'da verilen *Gerilim-Zaman* eğrisinde, boşalmanın tutuşmasıyla birlikte pozitif koronaya ait akım osilasyonlarının meydana geldiği görülmektedir. Şekil 4.3b'de ise boşalmanın *Gerilim-Yük* eğrileri verilmiştir. Gerilim yük eğrisi bir paralelkenar şeklinde olup uç noktalarında akım osilasyonları olarak bilinen Trichell darbeleri görülmektedir.



**Şekil 4.3.** Paslanmaz çelik malzemeden oluşturulan *İğne-Düzlem* elektrot konfigürasyonunda gerçekleşen korona boşalmasına ait tutuşma esnasındaki akım osilasyonlarını içeren a) *Gerilim-Zaman* ve b) *Gerilim-Yük* eğrileri

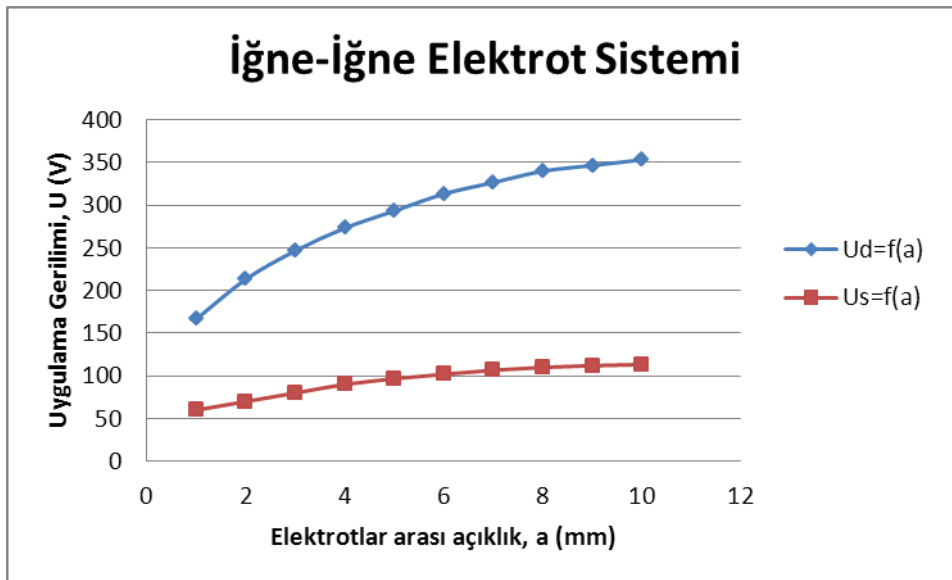
Boşalmanın diğer elektrot konfigürasyonlarına ait *Gerilim-Zaman* ve *Gerilim-Yük* eğrileri de aynı karakterli olduklarından dolayı bundan sonraki açıklamalarda tekrar verilmemiştir. Neticede bu eğriler boşalmanın mekanizmasıyla alakalı olduklarından dolayı, genel olarak hepsinin aynı karakterli davranışlar sergiledikleri görülmüştür.

Paslanmaz çelik malzemeden oluşturulan *İğne-İğne* elektrot konfigürasyonunun delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  için elde edilen veriler Tablo 4.3'te verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilim değerleri de buna göre belirli oranlarda artmıştır. Fakat bu uygulamadaki gerilim seviyeleri *Düzlem-Düzlem* ve *iğne-Düzlem* elektrot konfigürasyonuna göre daha yüksek değerlerdedir. Bu durum, *İğne-İğne* elektrot konfigürasyonunun elektrik alanının non-homojenlik derecesinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Literatürdeki çalışmalar da bu teoriyi destekleyecek yöndedir.

**Tablo 4.3.** Paslanmaz çelik malzemeden üretilen *İğne-İğne* elektrot sistemin de, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  değerleri

$a$ (mm)	$U_d$ (V)	$U_s$ (V)
1	166,65	59,994
2	213,312	69,993
3	246,642	79,992
4	273,306	89,991
5	293,304	96,657
6	313,302	101,9898
7	326,634	106,656
8	339,966	109,989
9	346,632	111,9888
10	353,298	113,322

Paslanmaz çelik malzemeden oluşturulan *İğne-İğne* elektrot konfigürasyonunda gerçekleşen korona boşalmasına ait tutuşma ve sönümlenme gerilimlerinin uygulama gerilimine göre değişim eğrileri Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere elektrotlar arası açıklığın artmasına bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimleri logaritmik bir artış göstermiştir. Grafikten görüldüğü gibi, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın tutuşma ve sönümlenme gerilimleri arasındaki fark da non-lineer bir şekilde artış göstermiştir.



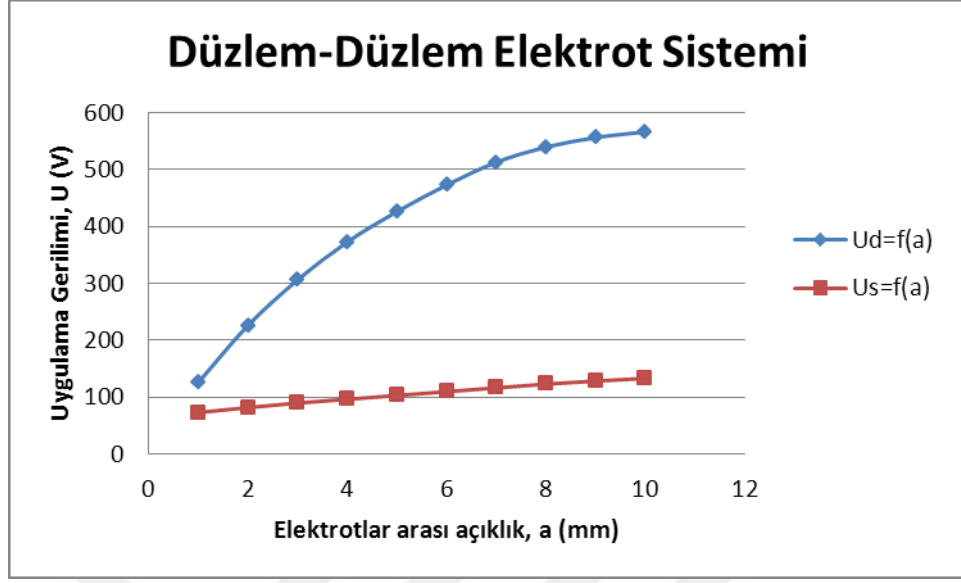
**Şekil 4.4.** Paslanmaz çelik malzemeden üretilen *İğne-İğne* elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri

Korona boşalmasının deneysel uygulamalarının diğere bir kombinasyonu olarak bronz malzemeden oluşturulan *Düzlem-Düzlem* elektrot konfigürasyonunun delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  için elde edilen veriler Tablo 4.4'te verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilim değerleri de buna göre belirli oranlarda artmıştır. Bu artış oranları, paslanmaz çelik elektrotlara göre daha farklı aşağıdaki grafiklerde detaylı olarak ifade edilmiştir.

**Tablo 4.4.** Bronz malzemeden üretilen *Düzlem-Düzlem* elektrot sisteminde, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  değerleri

$a$ (mm)	$U_d$ (V)	$U_s$ (V)
1	126,54	73,326
2	226,644	81,9918
3	306,636	89,991
4	373,296	96,657
5	426,624	103,323
6	473,286	109,989
7	513,282	116,655
8	539,946	123,321
9	556,611	128,6538
10	566,61	133,32

Bronz malzemeden oluşturulan *Düzlem-Düzlem* elektrot konfigürasyonunda gerçekleşen korona boşalmasına ait tutuşma ve sönümlenme gerilimlerinin uygulama gerilimine göre değişim eğrileri Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere elektrotlar arası açıklığın artmasına bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimleri logaritmik bir artış göstermiştir. Şekilden görüldüğü gibi, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın tutuşma ve sönümlenme gerilimleri arasındaki fark da non-lineer bir şekilde artış göstermiştir. Bu olay, elektrotlar aralığında gerçekleşen boşalma esnasında meydana gelen serbest yük taşıyıcılarının sayılarının fazla olmasının bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Boşalma aralığının genişliği arttıkça, birim hacme düşen yük yoğunluğu daha fazla olacağından dolayı bu yüklerin sahip oldukları kinetik enerjinin toplam miktarı da buna bağlı olarak artacaktır. Dolayısıyla, boşalma aralığının sahip olduğu bu yüksek enerjiyi deşarj etmesi zaman alacaktır.



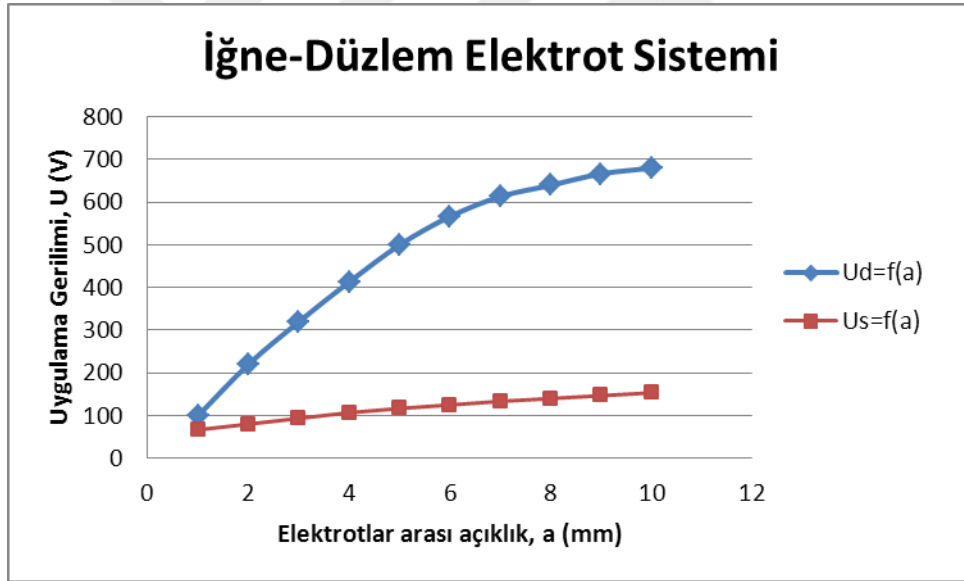
**Şekil 4.5.** Bronz malzemeden üretilen *Düzlem-Düzlem* elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri

Bronz malzemeden oluşturulan *İğne-Düzlem* elektrot konfigürasyonunun delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  için elde edilen veriler Tablo 4.5'te verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilim değerleri de buna göre belirli oranlarda artmıştır. Fakat bu uygulamadaki gerilim seviyeleri *Düzlem-Düzlem* elektrot konfigürasyonuna göre çok daha düşük değerlerdedir. Bu olay, *İğne-Düzlem* elektrot konfigürasyonunun non-homojen elektrik alanına sahip olması ve elektrot malzemesinden kaynaklanmaktadır.

**Tablo 4.5.** Paslanmaz çelik malzemeden üretilen *İğne-Düzlem* elektrot sisteminde, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  değerleri

a (mm)	$U_d$ (V)	$U_s$ (V)
1	99,990	66,660
2	219,978	79,992
3	319,968	93,324
4	413,292	106,656
5	499,950	116,655
6	566,610	125,000
7	613,272	133,320
8	639,936	139,986
9	666,600	146,652
10	679,932	153,318

Bronz malzemeden oluşturulan *İğne-Düzlem* elektrot konfigürasyonunda gerçekleşen korona boşalmasına ait tutuşma ve sönümlenme gerilimlerinin uygulama gerilimine göre değişim eğrileri Şekil 4.6’da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere elektrotlar arası açıklığın artmasına bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimleri logaritmik bir artış göstermiştir. Şekilden görüldüğü gibi, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın tutuşma ve sönümlenme gerilimleri arasındaki fark da non-linear bir şekilde artış göstermiştir. Bu olay, elektrotlar aralığında gerçekleşen boşalma esnasında meydana gelen serbest yük taşıyıcılarının sayılarının fazla olmasının bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Boşalma aralığının genişliği arttıkça, birim hacme düşen yük yoğunluğu daha fazla olacağından dolayı bu yüklerin sahip oldukları kinetik enerjinin toplam miktarı da buna bağlı olarak artacaktır. Dolayısıyla, boşalma aralığının sahip olduğu bu yüksek enerjiyi deşarj etmesi zaman alacaktır.



Şekil 4.6. Bronz malzemeden üretilen *İğne-Düzlem* elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri

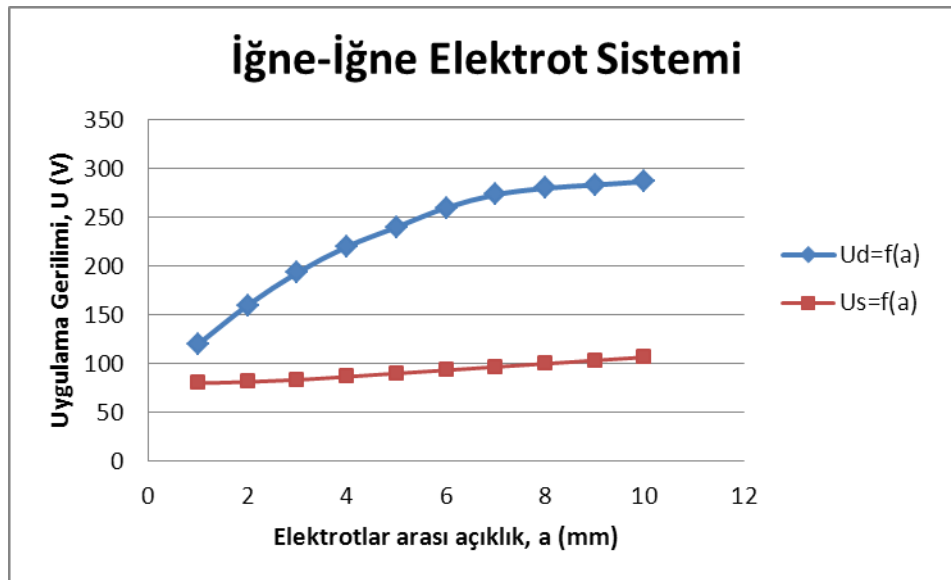
Bronz malzemeden oluşturulan *İğne-İğne* elektrot konfigürasyonunun delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  için elde edilen veriler Tablo 4.6’da verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilim değerleri de buna göre belirli oranlarda artmıştır. Fakat bu uygulamadaki gerilim seviyeleri *Düzlem-Düzlem* elektrot konfigürasyonuna göre çok

daha düşük değerlerdedir. Bu olay, *İğne-İğne* elektrot konfigürasyonunun non-homojen elektrik alanına sahip olması ve elektrot malzemesinden kaynaklanmaktadır.

**Tablo 4.6.** Bronz malzemedan üretilen *İğne-İğne* elektrot sistemin de, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  değerleri

$a$ (mm)	$U_d$ (V)	$U_s$ (V)
1	119,988	79,992
2	159,984	81,3252
3	193,314	83,325
4	219,978	86,658
5	239,976	89,991
6	259,974	93,324
7	273,306	96,657
8	279,972	99,990
9	283,305	103,323
10	286,638	106,656

Bronz malzemedan oluşturulan *İğne-İğne* elektrot konfigürasyonunda gerçekleşen korona boşalmasına ait tutuşma ve sönümlenme gerilimlerinin uygulama gerilimine göre değişim eğrileri Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere elektrotlar arası açıklığın artmasına bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimleri logaritmik bir artış göstermiştir.



**Şekil 4.7.** Bronz malzemedan üretilen *İğne-İğne* elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri

Şekilden görüldüğü gibi, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın tutuşma ve sönümlenme gerilimleri arasındaki fark da lineer olmayan bir artış göstermiştir. Bu olay, elektrotlar aralığında gerçekleşen boşalma esnasında meydana gelen serbest yük taşıyıcılarının sayılarının fazla olmasının bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Boşalma aralığının genişliği arttıkça, birim hacme düşen yük yoğunluğu daha fazla olacağından dolayı bu yüklerin sahip oldukları kinetik enerjinin toplam miktarı da buna bağlı olarak artacaktır. Dolayısıyla, boşalma aralığının sahip olduğu bu yüksek enerjiyi deşarj etmesi zaman alacaktır.

Korona boşalmasının deneysel uygulamalarının nihai kombinasyonu olarak alüminyum malzemedan oluşturulan *Düzlem-Düzlem* elektrot konfigürasyonunun delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  için elde edilen veriler Tablo 4.7'de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilim değerleri de buna göre belirli oranlarda artmıştır. Bu artış oranları, paslanmaz çelik elektrotlara göre daha farklı aşağıdaki grafiklerde detaylı olarak ifade edilmiştir.

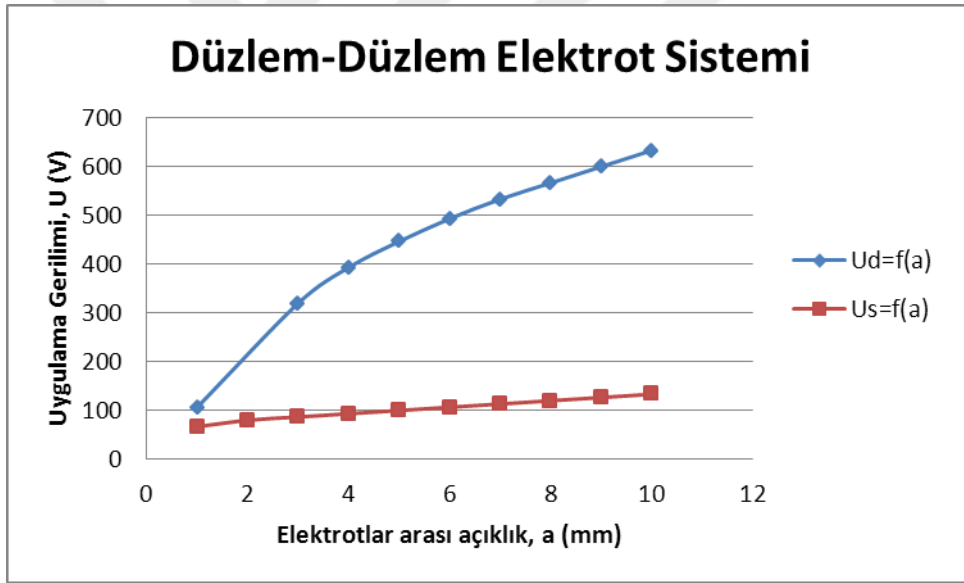
**Tablo 4.7.** Alüminyum malzemedan üretilen *Düzlem-Düzlem* elektrot sistemin de, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  değerleri

$a$ (mm)	$U_d$ (V)	$U_s$ (V)
1	106,656	66,660
2	226,644	79,992
3	319,968	86,658
4	393,294	93,324
5	446,622	99,990
6	493,284	106,656
7	533,280	113,322
8	566,610	119,988
9	599,940	126,654
10	633,270	133,320

Alüminyum malzemedan oluşturulan *Düzlem-Düzlem* elektrot konfigürasyonunda gerçekleşen korona boşalmasına ait tutuşma ve sönümlenme



gerilimlerinin uygulama gerilimine göre değişim eğrileri Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere elektrotlar arası açıklığın artmasına bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimleri logaritmik bir artış göstermiştir. Şekilden görüldüğü gibi, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın tutuşma ve sönümlenme gerilimlerinin değerleri ile bu gerilimler arasındaki fark da non-lineer bir şekilde artış göstermiştir. Bu olay, elektrotlar arasındaki elektriksel alanın non-homojenliği ve elektrotlar aralığında gerçekleşen boşalma esnasında meydana gelen serbest yük taşıyıcılarının sayılarının fazla olmasının bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Boşalma aralığının genişliği arttıkça, birim hacme düşen yük yoğunluğu daha fazla olacağından dolayı bu yüklerin sahip oldukları kinetik enerjinin toplam miktarı da buna bağlı olarak artacaktır.



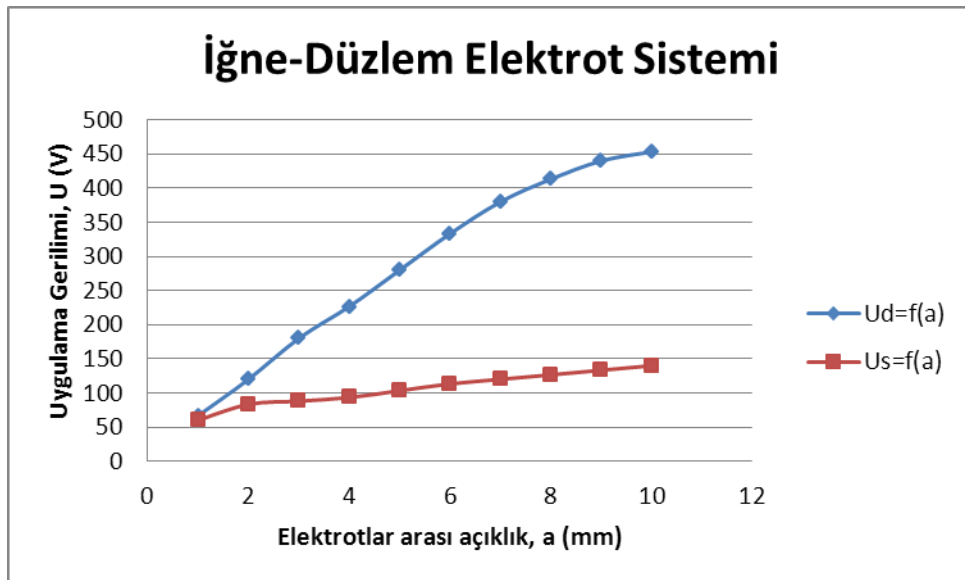
**Şekil 4.8.** Alüminyum malzemedен üretilen *Düzlem-Düzlem* elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri

Korona boşalmasının deneysel uygulamalarının nihai kombinasyonu olarak alüminyum malzemedен oluşturulan *İğne-Düzlem* elektrot konfigürasyonunun delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  için elde edilen veriler Tablo 4.8’de verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilim değerleri de buna göre belirli oranlarda artmıştır.

**Tablo 4.8.** Alüminyum malzemeden üretilen *İğne-Düzlem* elektrot sisteminde, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  değerleri

$a$ (mm)	$U_d$ (V)	$U_s$ (V)
1	66,660	59,994
2	119,988	73,325
3	179,982	85,000
4	226,644	93,324
5	279,972	103,323
6	333,300	113,322
7	379,962	119,988
8	413,292	126,654
9	439,956	133,320
10	453,288	139,986

Alüminyum malzemeden oluşturulan *İğne-Düzlem* elektrot konfigürasyonunda gerçekleşen korona boşalmasına ait tutuşma ve sönümlenme gerilimlerinin uygulama gerilimine göre değişim eğrileri Şekil 4.9’da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere elektrotlar arası açıklığın artmasına bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimleri logaritmik bir artış göstermiştir. Küçük elektrot açıklıklarında boşalmanın tutuşma ve sönümlenme gerilimleri arasındaki farkın çok az olduğu görülürken, büyük elektrot aralıklarında bu farkın giderek arttığı görülmüştür.



**Şekil 4.9.** Alüminyum malzemeden üretilen *İğne-Düzlem* elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri

Şekilden görüldüğü gibi, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın tutuşma ve sönmüleme gerilimlerinin değerleri ile bu gerilimler arasındaki fark da non-lineer bir şekilde artış göstermiştir. Bu olay, elektrotlar arasındaki elektriksel alanın non-homojenliği ve elektrotlar aralığında gerçekleşen boşalma esnasında meydana gelen serbest yük taşıyıcılarının sayılarının fazla olmasının bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Boşalma aralığının genişliği arttıkça, birim hacme düşen yük yoğunluğu daha fazla olacağından dolayı bu yüklerin sahip oldukları kinetik enerjinin toplam miktarı da buna bağlı olarak artacaktır.

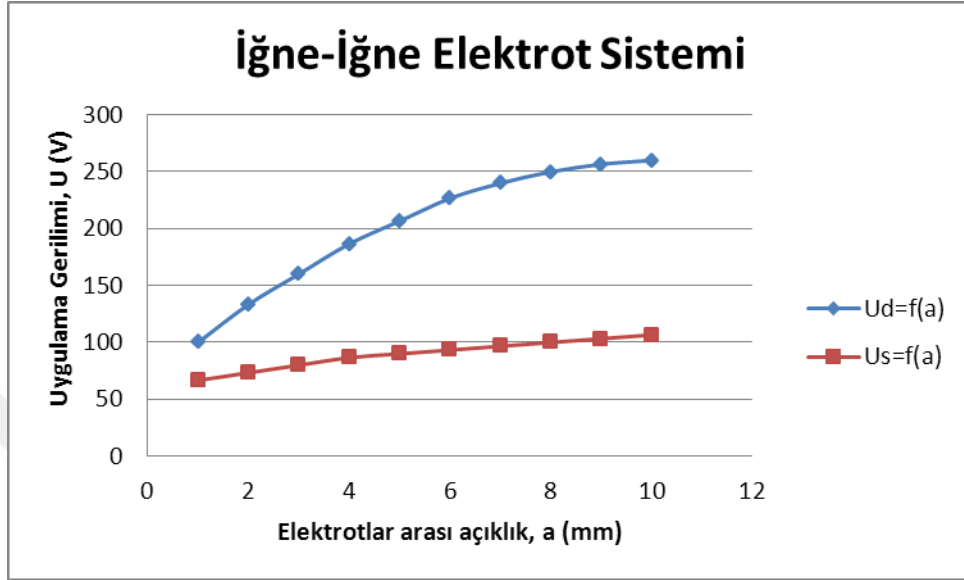
Korona boşalmasının deneysel uygulamalarının nihai kombinasyonu olarak alüminyum malzemeden oluşturulan *İğne-İğne* elektrot konfigürasyonunun delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  için elde edilen veriler Tablo 4.9’da verilmiştir. Tablodan da görüldüğü üzere, elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın delinme ve sönmüleme gerilim değerleri de buna göre belirli oranlarda artmıştır.

**Tablo 4.9.** Alüminyum malzemeden üretilen *İğne-İğne* elektrot sisteminde, elektrotlar arası açıklığa bağlı ölçülmüş olan delinme gerilimi  $U_d$  ve Sönümlenme gerilimi  $U_s$  değerleri

$a$ (mm)	$U_d$ (V)	$U_s$ (V)
1	99,990	66,660
2	133,320	73,326
3	159,984	79,992
4	186,648	86,658
5	206,646	89,991
6	226,644	93,324
7	239,976	96,657
8	249,975	99,990
9	256,641	103,323
10	259,974	106,656

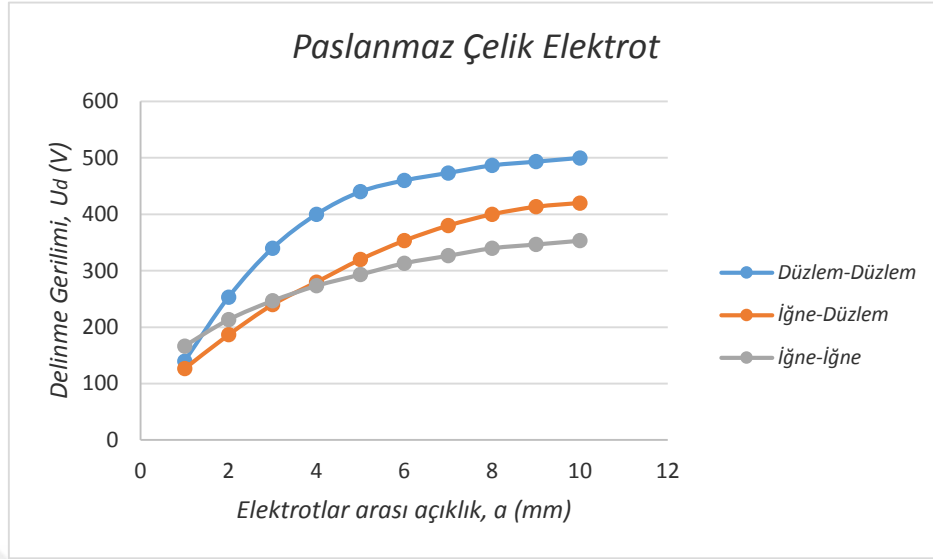
Alüminyum malzemeden oluşturulan *İğne-İğne* elektrot konfigürasyonunda gerçekleşen korona boşalmasına ait tutuşma ve sönmüleme gerilimlerinin uygulama gerilimine göre değişim eğrileri Şekil 4.10’da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere elektrotlar arası açıklığın artmasına bağlı olarak boşalmanın delinme ve sönmüleme gerilimleri logaritmik bir artış göstermiştir. Küçük elektrot açıklıklarında boşalmanın

tutuşma ve sönümlenme gerilimleri arasındaki farkın daha az olduğu görülrken, büyük elektrot aralıklarında bu farkın giderek arttığı görülmüştür.



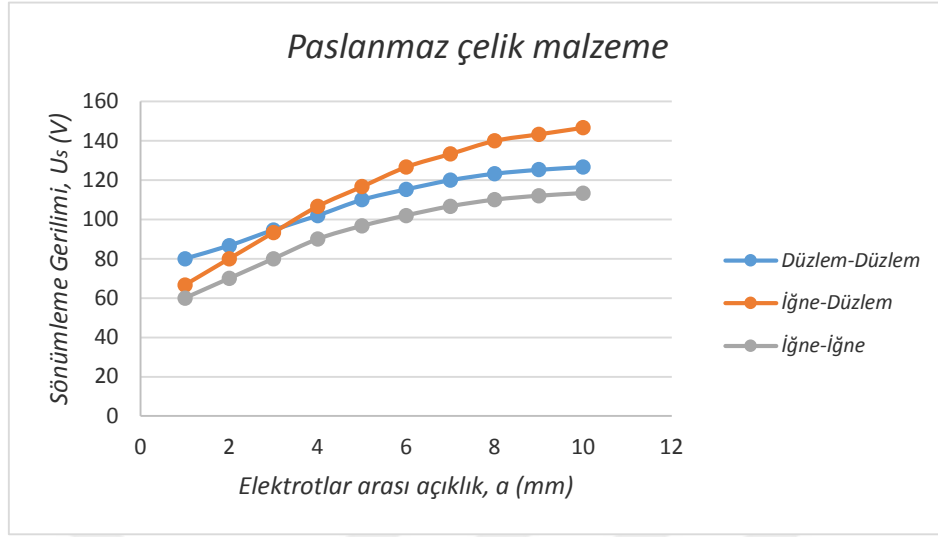
Şekil 4.10. Alüminyum malzemeden üretilen İğne-İğne elektrot sisteminde, uygulama gerilimine bağı olarak boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağı değışim eğrileri

Korona boşalmasının deneysel uygulamalarında kullanılan ve paslanmaz çelik malzemeden üretilen elektrot şekillerinin (konfigürasyonlarının) delinme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa göre değışim eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.11'de verilmiştir. Grafiklerden de görüldüğü üzere aynı elektrot malzemesi durumunda, elektriksel delinme olayı en kolay İğne-İğne elektrot konfigürasyonunda gerçekleşmiştir. Daha sonra İğne-Düzlem elektrot konfigürasyonunda ve en son ise Düzlem-Düzlem elektrot konfigürasyonunda gerçekleşmiştir. Bunun en büyük etkeni ise elektrotlar arasındaki elektrik alanının homojenlik veya non-hojenlik derecesidir. Aynı elektrot malzemesi durumunda, İğne-Düzlem ile İğne-İğne konfigürasyonlarının delinme gerilimleri arasındaki fark daha az iken; İğne-Düzlem ile Düzlem-Düzlem konfigürasyonu arasındaki delinme gerilimi farkı çok daha fazladır. Bu durum, ortamdaki elektrik alanının bir sonucu olduğunu doğrular yöndedir ve literatür çalışmaları da bu yorumu destekler yöndedir. Elektrotlar arası açıklık arttıkça delinme gerilimleri arasındaki oran farkı da logaritmik bir artış göstermiştir.



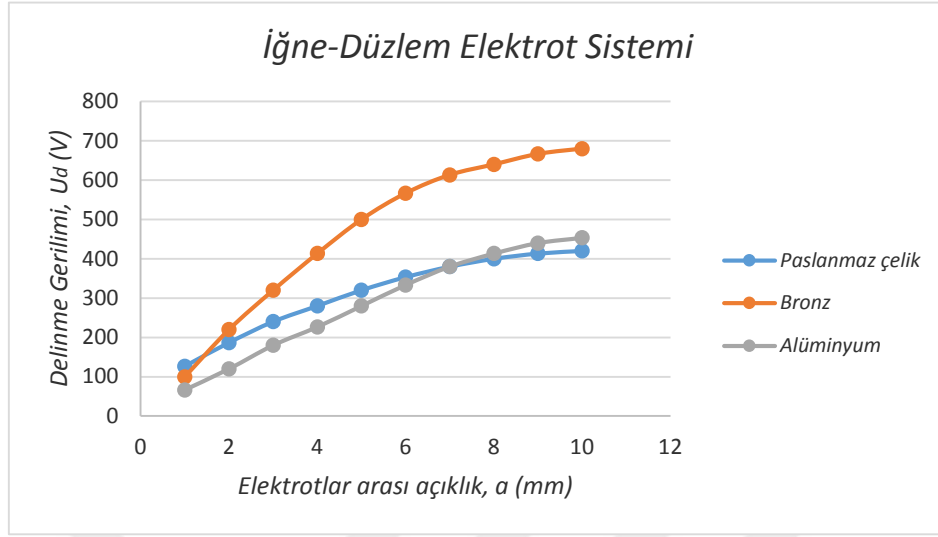
**Şekil 4.11.** Paslanmaz çelik malzemeden üretilen elektrot sisteminde, elektrot konfigürasyonlarının delinme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri

Benzer şekilde korona boşalmasının deneysel uygulamalarında kullanılan ve paslanmaz çelik malzemeden üretilen elektrot şekillerinin (konfigürasyonlarının) sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa göre değişim eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.12’de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere aynı elektrot malzemesi durumunda, boşalmanın sönümlenmesi bir önceki durumdan farklı olarak en erken *İğne-Düzlem* elektrot konfigürasyonunda gerçekleşmiştir. Daha sonra *Düzlem-Düzlem* elektrot konfigürasyonunda ve en son ise *İğne-İğne* elektrot konfigürasyonunda gerçekleşmiştir. Bunun en büyük etkeni ise elektrotlar arasındaki açıklığın fazlalık derecesidir. Aynı elektrot malzemesi durumunda, *İğne-Düzlem* ile *Düzlem-Düzlem* konfigürasyonlarının sönümlenme gerilimleri arasındaki fark eşit oranda değişim gösterirken; *İğne-Düzlem* konfigürasyonunda sönümlenme gerilimi farkı çok daha fazladır. Bu durum, ortamdaki elektrik alanının kararlılığının zayıf olduğunun bir sonucu olarak yorumlanabilir. Elektrotlar arası açıklık arttıkça delinme gerilimleri arasındaki oran farkı da neredeyse eşit oranlı bir artış göstermiştir. Bu durumu etkileyen parametrelerden birinin de termal etki olduğu bilinmelidir.



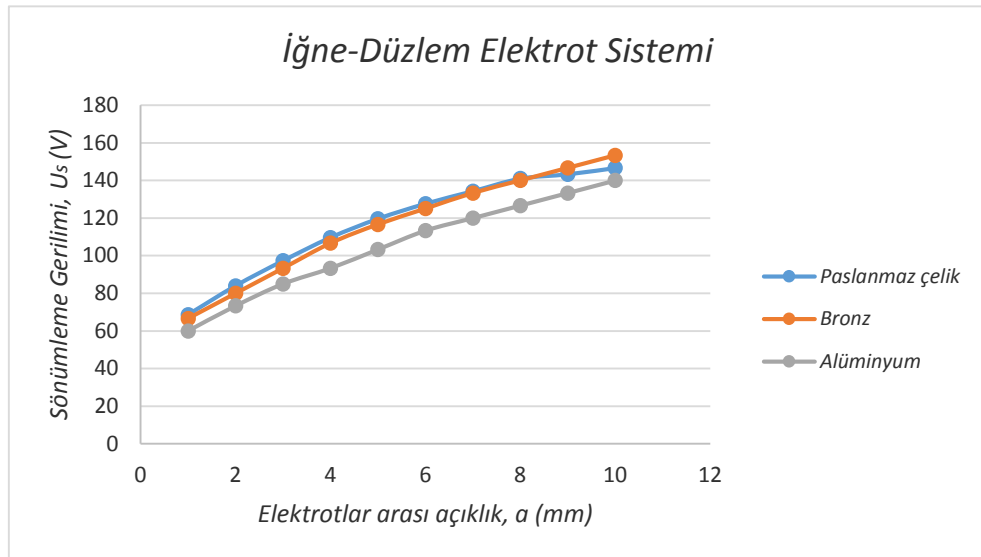
**Şekil 4.12.** Paslanmaz çelik malzemeden üretilen elektrot sisteminde, elektrot konfigürasyonlarının sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri

Korona boşalmasının deneysel uygulamalarında kullanılan elektrot şekillerinden (konfigürasyonlarından) yaygın eşdeğere (*iletken-yeryüzü* örneği) sahip olan ve elektrot malzemesine bağlı olarak delinme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa göre değişim eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.13'te verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere aynı elektrot konfigürasyonu durumunda, boşalmanın tutuşması en erken alüminyum elektrot malzemesinde gerçekleşmiştir. Daha sonra paslanmaz çelik elektrot malzemesinde ve en son ise bronz elektrot malzemesinde gerçekleşmiştir. Bunun en büyük etkeni ise elektrot malzemesinin kararlılık derecesidir. Aynı elektrot konfigürasyonu durumunda, paslanmaz çelik ile alüminyum elektrot malzemesinin delinme gerilimleri arasındaki fark birbirine yakın değerlerde iken; bronz malzemenin delinme gerilimi farkı çok daha fazladır. Bu durum, elektrot malzemesinin kararlılığının iyi olduğunun bir sonucu olarak yorumlanabilir. Elektrotlar arası açıklık arttıkça, delinme gerilimleri arasındaki oran farkı da logaritmik bir artış göstermiştir. Bronz malzemenin kararlılığının yüksek düzeylerde olması, bu malzemeden elektron koparılma zorluğunun da yüksek olduğu anlamına gelir. Özetle açıklamak gerekirse, bronz elektrot kullanılması durumunda boşalmanın tutuşmasını başlatacak elektron çığlarının oluşabilmesi için daha fazla bir gerilime ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.13. İğne-Düzlem elektrot sisteminde, elektrot malzemelerinin delinme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri

Benzer şekilde, korona boşalmasının deneysel uygulamalarında kullanılan elektrot şekillerinden (konfigurasyonlarından) yaygın eşdeğere (*iletken-yeryüzü* örneği) sahip olan ve elektrot malzemesine bağlı olarak sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa göre değişim eğrileri ise karşılaştırmalı olarak Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14. İğne-Düzlem elektrot sisteminde, elektrot malzemelerinin sönümlenme gerilimlerinin elektrotlar arası açıklığa bağlı değişim eğrileri

Şekillerden de görüldüğü üzere aynı elektrot konfigürasyonu durumunda, boşalmanın tutuşması en erken alüminyum elektrot malzemesinde gerçekleşmiştir. Daha sonra paslanmaz çelik ve bronz elektrot malzemesinde gerçekleşmiştir. Bunun en büyük etkeni ise elektrot malzemesinin kararlılık dereceleridir. Aynı elektrot konfigürasyonu durumunda, paslanmaz çelik ile bronz elektrot malzemesinin sönümlenme gerilimleri arasındaki fark birbirine çok yakın değerlerde iken; alüminyum malzemenin sönümlenme gerilimi farkı çok daha fazladır. Bu durum, alüminyum elektrot malzemesinin kararlılığının oldukça düşük olduğunun bir sonucu olarak yorumlanabilir.





## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Korona boşalmalarının tutuşma ve sönümlenme gerilim değerlerini belirleyen önemli faktörlerden olan çeşitli elektrot malzemesi (paslanmaz çelik, bronz ve alüminyum) ve farklı elektrot kombinasyonları (*Düzlem-Düzlem*, *İğne-Düzlem* ve *İğne-İğne*) için yapılan deneysel uygulamalardan alınan sonuçlar tablolar ve grafiksel olarak hazırlanmış ve yorumlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu varılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Alınan sonuçlara göre, küçük elektrot aralıklarında korona boşalmasının tutuşma ve sönümlenme gerilimleri arasındaki farkın çok az olduğu; fakat tutuşma geriliminin sönümlenme geriliminden daima yüksek olduğu görülmüştür.
- Elektrotlar arası açıklık arttıkça, boşalmanın delinme ve sönümlenme gerilim değerlerinin de buna bağlı olarak belirli oranlarda arttığı; fakat bu artış oranının logaritmik olarak artan bir değişim gösterdiği saptanmıştır.
- Elektrot malzemesinin (yapısı ve kararlılığının) boşalmanın tutuşma ve sönümlenme gerilimleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğu; malzemenin kararlılığı arttıkça boşalmanın tutuşmasının daha da zorlaştığı görülmüştür.
- Elektrot konfigürasyonunun korona boşalmasının tutuşması ve sönümlenmesi üzerinde önemli bir etki gösterdiği; elektrotlar arasındaki elektrik alanın homojenliği azaldıkça boşalmanın tutuşmasının da buna bağlı olarak kolaylaştığı görülmüştür.
- Korona boşalmasının tutuşmadan sonraki aşaması olan ark aşamasının uzun sürmesi halinde, elektrotlar üzerinde önemli tahribatlar oluşturduğu görülmüştür.
- Elektrotlar arasında gerçekleşen korona boşalmasının kararlılığının elektrotlar arasındaki elektrik alanının kararlılığıyla doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır.

## 5.2. Öneriler

Korona boşalmasının çeşitli elektrot parametrelerine göre tutuşma ve sönümlenme gerilimlerinin belirlenmesine yönelik alınan sonuçların elektrik enerjisi iletim ve dağıtım hatlarında kullanılan iletken, direk, izolatör ve koruma sistemlerinin tasarımlarında göz önünde bulundurulması durumunda, elektriksel kayıpların derecede azaltılabileceği düşünülmektedir. Bu tez çalışmasından alınan sonuçlar doğrultusunda sunulması istenen öneriler aşağıda sıralanmıştır:

- Özellikle tarım arazisi veya ormanlık alanlardan geçen elektrik enerjisi iletim hatlarında meydana gelen ark kaçakları sonucunda oluşan yangınların önüne geçilebilmesi için, bu tez çalışmasında alınan sonuçlar doğrultusunda hareket edilmesinin ekonomik ve güvenlik açısından büyük yararlar sağlayabileceği düşünülmektedir.
- Bu tez çalışmasında araştırılan konuya benzer çalışmaların gelecekte çeşitliliğinin artırılması ve alınan sonuçların malzeme imalat sanayisinde de kullanılmasının teknik açıdan önemli yararlar sağlayabileceği beklenmektedir.
- İzolasyon sistemlerinin testlerinde bazı avantajlar sağlayabileceği düşüncesiyle, bu tür çalışmaların bariyer boşalması koşullarında da yapılmasının önemli sonuçlar verebileceği beklenmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abdel-Salam, M., Allen, N. L., Cotton, I. , 2007. Computation of inception voltage and inception time of positive impulse corona in rod-plane gaps, *IET Science, Measurement and Technology*, 1, 179-184.
- Adamiak, K. And Atten, P., 2004. Simulation of corona discharge in point–plane configuration, *Journal of Electrostatics*, 61, 85-98.
- Altamimi, G., Illias, H.A., Mokhtar, N., Mokhlis, H. and Bakar, A.H.A, 2014. Corona discharges under various types of electrodes, *2014 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*, Malaysia, 5–8.
- Anumaka, M. C., 2012. Influence of Corona and Skin Effect on the Nigerian 330KV Interconnected Power System, *IJRRAS*, 12(2), 328–332.
- Bal, M., 2010, Yüksek gerilim enerji iletiminde korona kayıpları, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 22.
- Carsimamovic, A., Mujezinovic, A., Carsimamovic, S., Bajramovic, Z., Kosarac, M., Stankovic, K., 2016. Analyzing of AC corona discharge parameters of atmospheric air, *Procedia Computer Science*, Volume 83, 2016, Pages 766-773.
- Dawood, M. A., and Narejo G. B. 2015. Modelling of Corona Effect in AS Transmission Systems, *International Journal Scientific & Engineering Research*, 6(1).
- Dordizadeh, P., Adamiak, K., Castel, G. S. P., 2017. Experimental study of the characteristics of Trichel pulses in the needle-plane negative corona discharge in atmospheric air, *Journal of Electrostatics*, Volume 88, August 2017, Pages 49-54.
- Gomber, M.G., Deno, D.W and Zaffanella L.E., 1982. Transmission Line Reference Book 345 kV and Above, Second Edition, J. J. Laforest, *Electric Power Research Institute*, California, 182.
- Güneş, D. S., 2003. Korona Kayıplarının Modellenmesi, *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt:7, Sayı:4, 2–6.
- Hansu, F., 2005. Bariyer Boşalmasının Gaz-Dielektrik ve Sıvı-Dielektrik sistemlerinin sorbsiyon özellikleri üzerine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 10.
- He, W., Wang, Y., Lan, L., Wen, X., Wan, B., 2017, Characteristics of AC corona discharge pulses and RI levels in a coaxial wire-cylinder gap, 2016 *IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*, *IEEE Conference Publications*, Chengdu, China, 19-22 Sept. 2016, Pages 1-4.
- Ilhan, S., Font A., Ozdemir, A. and Espino-cortes, F., 2018. Determination of Corona Inception Voltages of Rod- Plane Electrode Systems, *2018 IEEE International*

- Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*. IEEE, Greece, 1–4.
- Intra, P., Yawootti, A., Rattanadecho, P., 2015. Influence of the corona-wire diameter and length on corona discharge characteristics of a cylindrical tri-axial charger, *Journal of Electrostatics*, Volume 74, April 2015, Pages 37-46.
- İzgi, E., 2006. Enerji İletim Sistemlerinin Çevresel Faktörlere Bağlı Olarak Toprak Yolu Analizi ve Simülasyonu, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 17.
- Jaworek, A., Krupa, A., 1996. Corona discharge from a multipoint electrode in flowing air, *Journal of Electrostatics*, Volume 38, Issue 3, November 1996, Pages 187-197.
- Jialin, L., Ming, D., Jiacheng, X., Rixin, Y., Li, W., Ming, R., Ao, M., 2016. Study on characteristics of corona discharge light pulse in SF<sub>6</sub> gas at Multi-spectral Regions, *2016 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), IEEE Conference Publications*, Xi'an, China, 25-28 Sept. 2016, Pages 546-549.
- Jiang, Y., Zheng, N., Guo, G., Fu, X., 2015. Corona discharge and electromagnetic environment degradation of aging transmission lines, *International Journal of Plasma Environmental Science & Technology*, Vol.9, No.1, April 2015, Pages 35-39.
- Jonson, E.S., Pedrow, P.D., Qin, B. L., 1994, Influence of voltage and load current on dc bipolar corona pulses, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Volume: 1, Issue: 2, Apr 1994, Pages: 284 – 293.
- Kantouna, K., Ekonomou, L., Fotis, G.P. and Chatzarakis, G.E., 2012. Finite element method analysis of an electric field in wire-cylinder electrode configuration during corona discharge, *Latest Advances in Systems Science and Computational Intelligence*, 97-103.
- Koh, W. H., Park, I., 2009. Numerical simulation of point-to-plane corona discharge using a Monte Carlo method, *Vacuum*, Volume 84, Issue 5, 10 December 2009, Pages 550-553.
- Kumar, A., 2013. Corona Effect on Transmission Lines, *International Journal of Electrical and Electronics Engineering Research (IJEEER)*, 3(5), 133–136.
- Lagăr, A., Diniş, C. M. and Popa, G. N., 2017. Experimental analysis of direct current corona discharge, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 163, 1-9.
- Maglaras, L. A., Kousiouris, G. T., Topalis, F. V., Maglaras L. A. And Giannakopoulou G. K., 2013. Optimization of Corona Onset and Breakdown Voltage of Small Air Gaps Stressed by DC and Impulse Voltages, *IEEE EUROCON 2013 Conference, Zagreb*, 1207-1214.

- Meng, X., Zhang, H. and Zhu, J., 2008. A general empirical formula of current–voltage characteristics for point-to-plane geometry corona discharges, *Journal of Physics D Applied Physics.*, 41 (6), 1-10.
- Mok, Y. S., 2000. Efficient energy delivery condition from pulse generation circuit to corona discharge reactor, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, Volume 20, Issue 3, September 2000, pp 353–364.
- Naidu, M.S. and Kamaraju V., 1995. High Voltage Engineering, Second Edition, *Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, U.S.A.*, 13.
- Navani, J. P., Sharma, N. K. and Sapra, S., 2012. Technical and Non-Technical Losses in Power System and Its Economic Consequence in Indian Economy, *International Journal of Electronics and Computer Science Engineering*, 1(2), 757–761.
- Özkaya, M., 2008. Yüksek Gerilim Tekniği ‘statik elektrik alanı ve boşalma olayları’ cilt 1, *Birsen Yayın Evi*, 2008, 233-284.
- Rezinkina, M., Rezinkin, O., D’Alessandro, F., Danyliuk, A., Guchenko, A., Lytvynenko, S., 2017. Experimental and modelling study of the dependence of corona discharge on electrode geometry and ambient electric field, *Journal of Electrostatics*, Volume 87, June 2017, Pages 79-85.
- Rybka, D. V., Trigub, M. V., Sorokin, D. A., Evtushenko, G. S., Tarasenko, V. F., 2014. Corona discharge in atmospheric pressure air when using modulated voltage pulses, *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2014, Vol. 27, No. 6, pp. 582–586.
- Said, H. A., Nouri, H., Zebboudj, Y., 2014. Analysis of current-voltage characteristics in the wires-to-planes geometry during corona discharge, *The European Physical Journal Applied Physics*, Volume 67, Number 3, September 2014.
- Sawant, V. S., 2013. Experimental studies on corona discharge ionization, *IOSR Journal of Applied Physics*, Volume 3, Issue 2 (Mar. - Apr. 2013), PP 11-15.
- Sharma, S. K., Goel, K, Gupta A., and Kumar H., 2012. Corona Effects on EHV AC Transmission Lines, *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*, 1(5), 160–164.
- Sun, H., Huang, S., Wang, Q., Wang, S. and Zhao, W., 2019. Characteristics of Negative Corona Discharge in Air at Various Gaps, *IEEE Transactions on Plasma Science*. IEEE, 47(3), 736–741.
- Taplamacioglu, M. C. and Kuniyiko Hidaka., 2000. Coaxial Corona Discharge under Controlled Air Conditions, *T. IEE Japan*, 120–A, No.(1).
- Tirumala, R., Li, Y., Pohlman, D. A., Go, D. B., 2011. Corona discharges in sub-millimeter electrode gaps, *Journal of Electrostatics*, Volume 69, Issue 1, February 2011, Pages 36-42.
- Tirumala, R., Li, Y., Pohlman, D.A. and Go, D.B., 2011. Corona discharges in sub-millimeter electrode gaps, *Journal of Electrostatics*, 69, 36-42.

- Tonmitr, K. and Ratanabuntha, T., 2016. Comparison of Power Loss Due to Corona Phenomena Model with Peek's Formula in High Voltage 115 kV and 230 kV System *Procedia Computer Science*, 86, 385–388.
- Tonmitr, K., Ratanabuntha, T., 2016. Comparison of power loss due to corona phenomena model with peek's formula in high voltage 115 kV and 230 kV system, *Procedia Computer Science*, Volume 86, 2016, Pages 385-388.
- Trinh, N. G. and Jordan J. B., 1968. Modes of Corona Discharges in Air, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems PAS*, 87(5), 1207–1215.
- Vincent N. O., Sampson A. Bendor, and Akpama E. James., 2017. Open Access Analysis of Corona Effect on Transmission Line, *American Journal of Engineering Research ( AJER )*, 6(7), 75–88.
- Wadhwa C. L., 2007. High voltage Engineering, Second Edition, *New Age International Limited*, New Delhi, 2-3.
- Wang, Z., Lu, T., Cui, X., Li, X. and Hiziroglu, H., 2016. Influence of AC Voltage on the Positive DC Corona Current Pulses in a Wire-cylinder Gap, *CSEE journal of power and energy systems*, 2(4), 58-65.
- Wang, Z., Lu, T., Liu, Y., Bian, X., Li, X., 2017. Comparative study of two different measuring methods for corona current pulses, *Journal of Electrostatics*, Volume 88, August 2017, Pages 134-138.
- Wen, X., Yuan, X., Lan, L., Long, M. and Hao, L., 2016. Study on the Effective Ionization Rate of Atmospheric Corona Discharge Plasmas by Considering Humidity, *IEEE Transactions on Plasma Science*, 44(12), 3386–3391.
- Yahaya, E. A., Jacob T., Nwohu, M., and Abubakar, A., 2013. Power Loss due to Corona on High Voltage Transmission Lines *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 8(3), 14-19.
- Yan, P., Zheng, C., Xiao, G., Xu, X., Gao, X., Luo, Z. and Cen, K., 2015. Characteristics of negative DC corona discharge in a wire–plate configuration at high temperatures, *Separation and Purification Technology*, 139, 5-13.
- Yellaiah, A and Gunasekaran B., 2010. Corona Loss Measurements in Corona Cage on UHV Bundle, *16th national Power Systems Conferance, India*, 558–561.
- Yıldırım, H. ve Kalenderli, Ö., 2005. Korona Başlangıç Geriliminin Yük Benzetim Yöntemiyle Hesabı, *Itüdergisi/d Mühendislik*, 4(1), 25–36.
- Zhang, Y., Liu, L., Chen, Y., Ouyang, J., 2015. Characteristics of ionic wind in needle-to-ring corona discharge, *Journal of Electrostatics*, Volume 74, April 2015, Pages 15-20
- Zile, M., 1999. Koaksiyel, paraksiyel ve çubuk düzlem geometrilerde korona başlangıç voltaj ve elektrik alan analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Ocak 1999

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** Nimetullah EDEBALI  
**Doğum Yeri ve Tarihi** Batman/Merkez 17/07/1987  
**Telefon** 0545 847 5232  
**E-posta** Nimetullah.edebali@hotmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Batman Fatih Lisasi	2007
Üniversite	: İnönü Üniversitesi	2012
Yüksek Lisans	: Siirt Üniversitesi	2013- Halen

**YABANCI DİLLER : İngilizce**