

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

**KORONA BOŞALMALARININ TUTUŞMASINDA VE SÖNÜMLEMESİNDE  
YÜKSEK FREKANS ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İlker ARI  
(153111001)**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fevzi HANSU**

**Ocak-2018  
SİİRT**

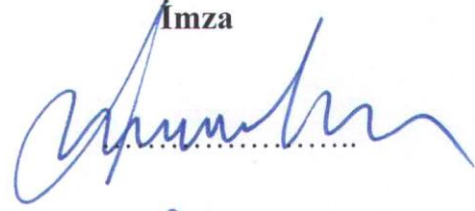
## TEZ KABUL ve ONAY SAYFASI

İlker ARI tarafından hazırlanan “Korona Boşalmalarının Tutuşmasında ve Sönümlenmesinde Yüksek Frekans Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması 25.01.2018 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

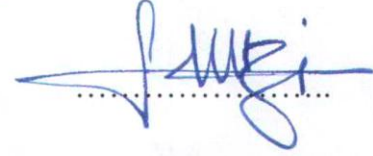
#### Başkan

Yrd. Doç. Dr. Ramazan TEKİN

İmza  


#### Danışman

Doç. Dr. Fevzi HANSU




#### Üye

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Recep MİNAZ



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

  
Doç. Dr. Koray ÖZRENK  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü y.

## ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında bana her yönüyle rehberlik eden, bilgi ve tecrübesini aktarmada kendisini eksik etmeyen, çalışma sürecinin son gününe kadar her türlü fedakârlığı gösteren ve ayrıca kıymetli zamanını esirgemediğim tezimin yazımı ve düzenlenmesi konularında her yönüyle katkı sunan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fevzi HANSU' ya, eğitimim süresince bana destek olan DEDAŞ Siirt İl Müdürü Sayın Naci OBUT'a, DEDAŞ Bölge Özel Müşteriler Saha Müdürü Sayın İlhami ÇAKIR'a ve DEDAŞ Siirt Özel Müşteriler Müdürü Sayın Hakan ERDEMCI'ye 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 eşime ve biricik oğlum Mikdat Ömür'e sevgilerimi sunarım.

**İlker ARI**

**2018-SİİRT**

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖN SÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Genel Bilgiler.....	1
1.2. Korona Boşalması.....	2
1.3. Korona Boşalmalarının Enerji İletim Hatları Üzerindeki Etkisi.....	3
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>8</b>
2.1. Konuyla İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar.....	8
2.2. Tezin Güncelliği.....	21
<b>3. MATERYAL ve METOT.....</b>	<b>22</b>
3.1. Materyal.....	22
3.2. Yöntem.....	26
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>27</b>
4.1. <i>İğne-Düzlem</i> Elektrot Sistemi.....	27
4.2. <i>Küre-Düzlem</i> Elektrot Sistemi.....	35
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>44</b>
5.1. Sonuçlar.....	44
5.2. Öneriler.....	45
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>46</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>50</b>

## TABLULAR LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 4.1.</b> <i>İğne-Düzlem</i> sistemindeki boşalmanın tutuşma ve sönmleme <i>Gerilim-Akım</i> değerleri .....	35
<b>Tablo 4.2.</b> <i>Küre-Düzlem</i> sistemindeki boşalmanın tutuşma ve sönmleme <i>Gerilim-Akım</i> değerleri .....	43



## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Korona Boşalmasına ait tipik bir <i>Gerilim-Akım</i> değişimi grafiği .....	4
Şekil 1.2. Peterson formülündeki $U/U_0$ oranının $F$ katsayısına göre değişim grafiği .....	7
Şekil 3.1. Dâhili gerilim trafosu .....	23
Şekil 3.2. Dijital AC Güç kaynağı .....	23
Şekil 3.3. <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sistemi görüntüsü.....	24
Şekil 3.4. <i>Küre-Düzlem</i> elektrot sistemi görüntüsü.....	25
Şekil 3.5. Deney setine ait kumanda ve ölçüm elemanları.....	25
Şekil 3.6. Deney setinin genel görüntüsü .....	26
Şekil 4.1. <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminin 50 Hz frekansındaki akım osilasyonları görüntüsü.....	27
Şekil 4.2. <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminin 500 Hz frekansındaki pozitif koronaya ait akım osilasyonları görüntüsü .....	28
Şekil 4.3. <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminde düşük frekanslarda gerçekleşen korona boşalması görüntüsü.....	28
Şekil 4.4. <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminde yüksek frekanslarda oluşan korona boşalması görüntüsü.....	29
Şekil 4.5. <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminde $f=50$ Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan <i>Gerilim-Akım</i> değişimi grafiği.....	30
Şekil 4.6. <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminde $f=150$ Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan <i>Gerilim-Akım</i> değişimi grafiği.....	31
Şekil 4.7. <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminde $f=250$ Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan <i>Gerilim-Akım</i> değişimi grafiği.....	32
Şekil 4.8. <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminde $f=350$ Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan <i>Gerilim-Akım</i> değişimi grafiği.....	32
Şekil 4.9. <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminde $f=500$ Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan <i>Gerilim-Akım</i> değişimi grafiği.....	33
Şekil 4.10. <i>İğne-Düzlem</i> elektrot sisteminde 50, 150, 250, 350 ve 500 Hz besleme gerilimi frekanslarında alınmış olan toplu <i>Gerilim-Akım</i> değişimleri grafiği .....	34
Şekil 4.11. <i>Küre-Düzlem</i> elektrot sisteminin 50 Hz frekansındaki akım osilasyonları görüntüsü .....	35

<b>Şekil 4.12.</b> <i>Küre-Düzlem</i> elektrot sisteminin 50 Hz frekansındaki boşalma geriliminin boşalma akımına göre değişim grafiği görüntüsü ( <i>X-Y Modu</i> ) .....	36
<b>Şekil 4.13.</b> <i>Küre-Düzlem</i> elektrot sisteminin 50 Hz frekansındaki boşalma akımı ve geriliminin zamana göre değişim grafiği görüntüsü.....	36
<b>Şekil 4.14.</b> <i>Küre-Düzlem</i> elektrot sisteminde düşük frekanslarda oluşan korona boşalması görüntüsü .....	37
<b>Şekil 4.15.</b> <i>Küre-Düzlem</i> elektrot sisteminde yüksek frekanslarda oluşan korona boşalması görüntüsü .....	37
<b>Şekil 4.16.</b> <i>Küre-Düzlem</i> elektrot sisteminde $f=50$ Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan <i>Gerilim-Akım</i> değişimi grafiği .....	38
<b>Şekil 4.17.</b> <i>Küre-Düzlem</i> elektrot sisteminde $f=150$ Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan <i>Gerilim-Akım</i> değişimi grafiği .....	39
<b>Şekil 4.18.</b> <i>Küre-Düzlem</i> elektrot sisteminde $f=250$ Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan <i>Gerilim-Akım</i> değişimi grafiği .....	39
<b>Şekil 4.19.</b> <i>Küre-Düzlem</i> elektrot sisteminde $f=350$ Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan <i>Gerilim-Akım</i> değişimi grafiği .....	40
<b>Şekil 4.20.</b> <i>Küre-Düzlem</i> elektrot sisteminde $f=500$ Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan <i>Gerilim-Akım</i> değişimi grafiği .....	41
<b>Şekil 4.21.</b> <i>Küre-Düzlem</i> elektrot sisteminde 50, 150, 250, 350 ve 500 Hz besleme gerilimi frekanslarında alınmış olan toplu <i>Gerilim-Akım</i> değişimleri grafiği .....	42

## KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
<i>AC</i>	: Alternating Current (Alternatif Akım)
<i>DC</i>	: Direct Current (Doğru Akım)
<i>FEM</i>	: Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Yöntemi)
<i>HFCT</i>	: High Frequency Current Transformer (Yüksek Frekans Akım Trafosu)
<i>HVDC</i>	: High Voltage Direct Current (Yüksek Gerilim Doğru Akım)
<i>RMS</i>	: Root Mean Square (Etkin Değer)
<i>YG</i>	: Yüksek Gerilim

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
<i>a</i>	: Hatlar Arası Açıklık
<i>E<sub>k</sub></i>	: Korona Elektrik Alan Şiddeti
<i>E<sub>mak</sub></i>	: Demet İletkenli Hatlardaki Maksimum Alan Şiddeti
<i>E<sub>0</sub></i>	: Çarpma ile İyonlaşmanın Başladığı Elektrik Alan Şiddeti
<i>f</i>	: Frekans
<i>Hz</i>	: Hertz
<i>kV</i>	: Kilovolt
<i>l</i>	: Hat Uzunluğu
<i>m</i>	: Hat Pürüzlülüğü
<i>P</i>	: Basınç
<i>P<sub>fK</sub></i>	: Bir Faza Ait Korona Kaybı
<i>r</i>	: Yarıçap
<i>R<sub>K</sub></i>	: Tekil Hat İçin Korona Radyasyon Direnci
<i>T</i>	: İletken Yüzey Sıcaklığı
<i>U</i>	: Fazlar Arası Gerilim
<i>U<sub>f</sub></i>	: Faz-Nötr Gerilimi
<i>U<sub>f0</sub></i>	: Çarpma ile İyonlaşmanın Başladığı Faz-Nötr gerilimi
<i>U<sub>k</sub></i>	: Peek Korona Gerilimi
<i>U<sub>o</sub></i>	: İyonlaşma Başlama Gerilimi
<i>V</i>	: Volt
<i>VA</i>	: Voltampmer
<i>δ</i>	: Bağıl Hava Yoğunluğu
<i>Ω</i>	: Ohm



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## KORONA BOŞALMALARININ TUTUŞMASINDA VE SÖNÜMLEMESİNDE YÜKSEK FREKANS ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

İlker ARI

**Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Fevzi HANSU**

**2018, 50+x Sayfa**

Son yıllarda, nüfus artışına ve sanayinin hızla gelişmesine bağlı olarak enerjiye olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Dolayısıyla, artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla araştırmacılar bir yandan yeni enerji kaynaklarına yönelirken veya yeni enerji türlerini keşfetmeye çalışırken; diğer yandan da var olan enerji sistemlerinin kayıplarını yok etmeye yönelik çalışmalar yapmaktadırlar. Elektrik enerji verimliliği kavramının büyük öneme sahip olduğu günümüzde, enerji iletim hatlarında meydana gelen kayıpların azaltılmasına yönelik çalışmalar büyük önem kazanmıştır. Elektrik enerjisinin, iletim hatlarında yüksek gerilim şeklinde taşınmasının avantajlarının yanı sıra bazı önemli dezavantajları da söz konusudur. Bu dezavantajlardan birisi de hatlarda meydana gelen yüksek gerilim kaynaklı korona kayıplarıdır. Bu çalışmada, elektrik enerjisi iletim hatlarında meydana gelen Korona boşalmalarının tutuşması ve sönmülmesinde yüksek frekanslı gerilim/akım osilasyonlarının etkisinin deneysel olarak incelenmesine yönelik bir takım çalışmalar yapılmıştır. Enerji üretim, iletim ve dağıtım hatlarında gerçekleşen devre açma-kapama, kısa devre arızaları, çeşitli sebeplerle oluşan iç ve dış aşırı gerilimlerin etkisi ve enterkonnekte şebekeye anlık olarak devreye giren-çıkan dengeli veya dengesiz yükler sebebiyle hatlar üzerinde çeşitli frekanslardaki gerilim/akım osilasyonlarının oluşmasına yol açtıkları bilinmektedir. Bu noktadan hareketle, şebekelerde oluşan çeşitli frekanslardaki harmonik veya akım osilasyonlarının iletim hatları üzerinde gerçekleşen korona boşalmalarının tutuşması ve sönmülmesi üzerindeki etkisi, iletim hattı modeline karşılık gelen *İğne-Düzlem* ve *Küre-Düzlem* elektrot sistemlerinde 50, 150, 250, 350 ve 500 Hz'lik besleme gerilimi frekanslarında deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel olarak alınmış ölçüm sonuçlarına göre oluşturulan korona boşalmalarının belirli frekanslardaki Gerilim-Akım grafikleri karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Çalışma neticesinde yüksek frekanslı gerilim/akım osilasyonlarının korona boşalmalarının tutuşma ve sönmülme gerilimleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve frekans değerinin artmasının korona boşalmalarının tutuşmasını önemli oranda kolaylaştırdığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Korona, Osilasyon, Yüksek Frekans, Elektrot Sistemi

## **ABSTRACT**

### **MSc. THESIS**

## **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF HIGH FREQUENCY EFFECT ON THE IGNITION AND DAMPING OF CORONA DISCHARGES**

**İlker ARI**

**The Graduate School of Natural and Applied Science of Siirt University  
The Degree of Master of Science  
In Electrical-Electronics Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fevzi HANSU**

**2018, 50+x Pages**

In recent years, there has been an increasing need for energy, depending on population growth and the rapid development of industry. Therefore, in order to support the growing need for energy, researchers are on the one hand looking for new energy sources or trying to discover new types of energy; on the other hand they are working on minimize the losses of existing energy systems. Today, as the concept of electric energy efficiency has great importance; studies aiming at reducing losses occurring on energy transmission lines have gained importance. There are some significant disadvantages as well as the advantages of high voltage transport of electric energy on transmission lines. One of these disadvantages is the loss of high-voltage caused corona from the line. In this study, a number of studies have been carried out to experimentally investigate the effect of high frequency voltage/current oscillations on the ignition and damping of corona discharges that occur in electrical energy transmission lines. Due to the effects of various reasons such as internal and external over voltages caused by shutdowns, switching circuit breakers, balanced or unbalanced loads coming into and out of the interconnection network instantaneously, some voltage/current oscillations at various frequencies on the lines are known to have occurred in power generation, transmission and distribution lines. From this point, the effect of the harmonic or current oscillations with various frequencies, on the supply voltage of corona discharges occurs on the networks have been experimentally investigated in terms of 50, 150, 250, 350 and 500 Hz frequencies at the *Needle-Plane* and *Sphere-Plane* electrode systems that corresponding to the transmission line model. By using obtained experimental measurement results, the generated Voltage-Current graphs at certain frequencies of corona discharges were interpreted comparatively. As a result of the study, high frequency voltage/current oscillations have a significant effect on the ignition and damping voltages of corona discharges, and the increase in the frequency value has facilitated the ignition of corona discharges considerably.

**Keywords:** Corona, Oscillation, High Frequency, Electrode System

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Genel Bilgiler

Teknolojinin hızla gelişmesine paralel olarak enerjinin verimli kullanımı gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır. Stratejik değeri yüksek olan enerjiler arasında, kullanımı en yaygın olan elektrik enerjisi, günümüzde insanoğlunun vazgeçilmez enerji kaynağı olma özelliği ile en popüler araştırma konularından biri haline gelmiştir. Son yıllarda elektrik enerjisine olan ihtiyacın giderek artması, enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve enerji çeşitlerinin sınırlı sayıda olması gibi faktörler göz önüne alındığında, elektrik enerjisinin verimli kullanılmasının önemini de kayda değer ölçüde arttırmıştır. Elektrik enerjisi verimliliğinin artışı kavramı pratik anlamda kayıpların azaltılması olarak değerlendirilebilir. Bu bağlamda, elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım aşamalarında meydana gelen kayıpların minimize edilmesi veya tamamen yok edilmesi konusu güncel problemler arasında yerini almış ve özellikle son yıllarda araştırmacıların büyük dikkatini çekmiştir. Araştırmacılar artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla bir yandan yeni enerji kaynaklarına yönelirken veya yeni enerji türlerini keşfetmeye çalışırken; diğer yandan mevcut enerji sistemlerinin kayıplarını yok etmeye yönelik çalışmalar yapmaktadırlar. Literatürde yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde, elektrik enerjisinin üretilmesinden tüketilmesine kadar olan ara sistemlerde meydana gelen kayıpların çok sayıda çeşitlilik arz ettikleri görülmektedir. Dolayısıyla bu alanlarda yapılmış olan çok sayıda çalışmalara rastlanılması mümkündür. Bu çalışmalar incelendiğinde, birçok konuya açıklık getirilmiş olduğu görülebilir ancak hâlâ çözüm bulamamış olan çok sayıda problemlerle karşılaşılması olasıdır.

Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım hatlarında meydana gelen kayıp miktarlarına etki eden birçok faktör mevcuttur. Bu etkenlerden önemli olanları, atmosferik koşullar, hat uzunluğu, iletken kesiti, iletken türü, şebekeye bağlı olan yüklerin çeşitliliği, gerilim seviyesi, hatlardaki iyonizasyon olayları şeklinde sıralanabilir (Özkaya, 1987). Literatürde yapılan araştırmalar incelendiğinde özellikle görsel hat kayıpları alanlarında çok sayıda çalışmanın yapılmış olduğu görülmüştür. Ayrıca, iyon-elektron teknolojisi açısından bakıldığında korona kayıplarının da mevcut kayıplar arasında önemli bir yer teşkil ettiği bilinmektedir (Özkaya, 1987). Ancak korona kayıplarının temelini teşkil eden bazı önemli sebepler hakkında yapılan

çalışmaların çok sınırlı sayıda oldukları görülmüştür. Temelde gaz ortamında meydana gelen bir elektrik boşalması olan korona boşalmaları, elektrik enerjisi iletim hatlarında meydana gelen kayıplar açısından kritik bir öneme sahiptirler. Korona kayıplarının incelenebilmesi için korona boşalmaları mekanizmasının iyi bilinmesi ve doğru biçimde modellenmesi gerekir. Korona boşalmalarının tam olarak anlaşılabilmesi için ise öncelikle gazlarda meydana gelen elektrik boşalmalarının mekanizmalarının bilinmesi ön koşul olarak değerlendirilebilir.

Normal koşullarda yalıtkan olan belirli hacimdeki bir gaz ortamına iki iletken elektrot yerleştirilerek bu elektrotlara bir gerilim uygulanması durumunda ve uygulanan gerilimin yavaş yavaş arttırılarak belirli bir kritik değere ulaşması sonucunda, gazın veya havanın yalıtkan formdan iletken forma dönüşerek ani bir akım geçirmesi olayına elektriksel gaz boşalması denir. Bu ani akım yükselmesi neticesinde hava veya gaz yalıtkanlık özelliğini kaybederek iletken hale geçer ve bu durumda ortamda bir iyonizasyon olayı gerçekleşmiş olur (Hansu, 2005). Yüksek Gerilim teknolojisinde bu iyonizasyon olayının önemli bir yeri söz konusudur. Gazlarda elektrik boşalma olaylarının temelini teşkil eden iyonizasyon olayının mekanizması temelde iki elektrot arasında meydana gelen elektrik alanının etkisiyle oluşturulmuş olan yoğun bir iyon-elektron alışverişine dayanır. Bu olay homojen veya non-homojen elektrik alan etkisiyle gerçekleştirilen iyon-elektron bombardımanı mekanizmasının da kontrol edilmesine zemin hazırlar. Yüksek Gerilim *iyon-elektron* teknolojisi alanında son yıllarda yapılmış olan yoğun çalışmalar neticesinde önemli gelişmeler kaydedilmiş olmakla birlikte, bu çalışmaların prototip ürüne dönüşmeleri de önemli bir seviyeye ulaşmış durumdadır. Elektriksel gaz boşalmalarının günümüzde plazma televizyon teknolojisinde, su arıtma işlemlerinde, elektrostatik boyamada ve izolasyon test işlemleri gibi geniş bir kullanım alanı vardır.

## **1.2. Korona Boşalması**

Korona boşalması veya diğer adıyla korona deşarjı en basit tanımıyla bir elektriksel boşalma türüdür. Korona, eğrilik yarıçapı küçük olan elektrotlarda veya sivri uç gibi elektrik alan şiddetinin yüksek olduğu noktalarda meydana gelen, tam olmayan fakat kendi kendini besleyen bir kısmi (yerel) elektriksel boşalma türüdür. Bir iletkendeki veya elektrottaki elektrik alan şiddeti; kendisini çevreleyen havanın veya

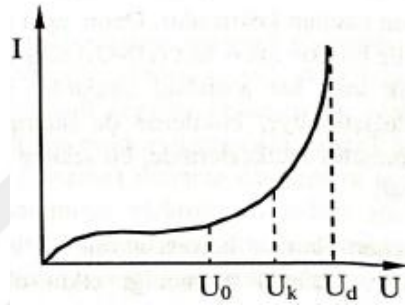
gazın dayanma gerilimini aşması neticesinde bir elektriksel boşalması meydana gelir (Hansu, 2005). Sisli ve nemli koşullarda enerji nakil hatlarının faz iletkenlerinde hava molekülleri iyonize olur ve iletken yüzeyinde korona boşalması olarak adlandırılan taç şeklinde ışıklı halkalar oluşur. İletim hatlarındaki kayıplar açısından bakıldığında, koronanın hat üzerinde akustik ses oluşturma, radyo ve televizyon alıcılarında parazit oluşturma, hatlarda gerilim düşümü oluşturma, iletkenlerdeki yalıtkanlık veya iletkenlik özelliklerinin kaybedilmesi ve hatlarda güç kaybı oluşturma gibi zararlı etkileri vardır (Url-1, 2017).

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).

### **1.3. Korona Boşalmalarının Enerji İletim Hatları Üzerindeki Etkisi**

Ülkemizde elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımı işlemlerinin % 90'ından fazlası şebeke frekansı 50 Hz olan alternatif akım olarak gerçekleştirilir. Avrupa ülkelerinde şebeke frekansı 50 Hz iken Amerika'da şebeke frekansı 60 Hz'dir. Korona boşalmasının tutuşma ve sönmeme gerilimlerinin sınır değerlerinde frekansın etkisinin göz ardı edilemeyecek derecede önemli olduğu düşünülmektedir. Sabit aralıkta gerçekleşen boşalmalar genellikle kapasitif özellikli olduğundan dolayı, frekans değerinin artması boşalmanın tutuşması açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, ortamdaki gazın türünün özellikleri de boşalma parametrelerini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Ancak enerji iletim hatları normal koşullarda atmosferik ortamda buldukları için ve bu koşullara doğrudan müdahale etkisi mümkün olmadığı için ortamdaki gaz

türü parametresinin etkisi sabit olarak düşünölmek zorunda kalınır. Dolayısıyla, boşalmanın tutuşması ve gelişimi açısından önemli olan frekans parametresinin belirlenmesi, enerji iletim hatlarında meydana gelen kayıpların kontrolünde ve çeşitli (iç ve dış) faktörler nedeniyle iletim hatlarında meydana gelen gerilim dalgalanmalarının oluşturduğu farklı frekanslardaki harmonikler ile bu harmoniklerin bileşenlerinin oluşturduğu etkilerin dezavantajlarının ortadan kaldırılması açısından önemli bir yere sahiptir (Hansu, 2012). Korona geriliminin tutuşma aralığına ait genel bir değişim grafiğı Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Korona Boşalmasına ait tipik bir Gerilim-Akım değişimi grafiğı

Korona gerilimi; hatların yarıçapına ( $r$ ), hatlar arası açıklığı ( $a$ ), hava koşullarına (sıcaklık, basınç) ( $\delta$ ) ve hatların pürüzlülüğüne ( $m$ ) bağlıdır. Peek Korona Gerilimi;

$$U_k = U_0 \cdot \delta \left( 1 + \frac{0,301}{\sqrt{r \cdot \delta}} \right) \quad (1)$$

Burada  $U_0$ : Çarpma ile iyonlaşmanın başladığı gerilim;  $\delta$ : Bağlı hava yoğunluğu;  $r$ : İletken yarıçapıdır. Bağlı Hava Yoğunluğu;

$$\delta = 0,386 \cdot \frac{P}{T} \quad (2)$$

bağıntısıyla bulunur. Burada  $P$ : ortamın basıncı;  $T$ : ortam sıcaklığıdır. Korona gerilimine ulaşıldığında hat üzerindeki korona alan şiddeti ise,

$$E_k = E_0 \cdot m \cdot \delta \cdot \left( 1 + \frac{0,301}{\sqrt{r \cdot \delta}} \right) \quad (3)$$

Bağıntısıyla belirlenir. Burada  $E_0$ ; Çarpma ile iyonlaşmanın başladığı gerilime karşılık alan şiddetidir (ve değeri yaklaşık olarak  $21,213 \text{ kVeff} / \text{cm}$ 'dir). Demet iletkenli hatlardaki maksimum elektrik alan şiddeti aşağıdaki formülle belirlenebilir:

$$E_{mak} = \frac{U}{n.r.ln\frac{a}{R_e}} \cdot \left(1 + A \cdot \frac{2.r}{d}\right)^n \quad (4)$$

Havai hatlarda meydana gelen korona kayıplarını azaltmak için bu değer mümkün olduğunca düşük olması istenir. Bu işlem için demet iletkenler arasındaki açıklık ( $d$ ) artırılır.

Peek'e göre tek fazlı bir hatta meydana gelen korona kaybı;

$$P_{fK} = \frac{(U_f - U_{f0})^2}{R_K} \quad (5)$$

Bağıntısıyla belirlenir. Benzer şekilde üç fazlı bir hat için toplam korona kaybı ise aşağıdaki bağıntıdan yararlanarak belirlenebilir:

$$P_K = 3 \cdot P_{fk} = 3 \cdot \frac{(U_f - U_{f0})^2}{R_K} \quad (6)$$

$U_f$ ; Faz-Nötr gerilimi ( $kV$ )

$U_{f0}$ ; Çarpma ile iyonlaşmanın başladığı faz-Nötr gerilimi ( $kV$ )

$U$ ; Fazlar arası gerilim ( $kV$ )

$P_{fK}$ ; Bir faza ait korona kaybı

$P_K$ ; Üç faza ait korona kaybı ( $kW/km-faz$ )

$f$ ; Frekans ( $Hz$ )

Peek formülü adı verilen bu formülde  $R_K$  tekil hat için korona radyasyon direncini ifade eder ve değeri aşağıdaki bağıntıdan yararlanarak belirlenebilir:

$$R_K = \frac{\delta}{241} \cdot \frac{1}{f+25} \cdot \sqrt{\frac{a}{r}} \cdot 10^5 [k\Omega/km - faz] \quad (7)$$

Üç fazlı hatlar için  $R_K$ 'nin açık ifadesinin hesaba katılması ile korona kaybı bağıntısı aşağıdaki forma dönüşür:

$$P_K = \frac{241}{\delta} \cdot (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{a}} \cdot (U - U_0)^2 \cdot 10^{-5} [kw/km] \quad (8)$$

Hattın tamamında meydana gelen toplam korona kaybı ise  $P_K$  ile hat uzunluğunun çarpılmasıyla elde edilir (Özkaya, 1987).

$$P_T = P_K \cdot l \quad (kW) \quad (9)$$

Yapılan araştırmalarda Peek formülünün daha çok hava koşullarının iyi olduğu durumlarda doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu nedenle hatlarda meydana gelen korona kayıplarının hesaplanması için kullanılan diğer bir bağıntı ise Peterson tarafından verilmiştir (Özkaya, 1987).

Peterson'a göre korona kaybı hesabı yapılırken iletken yüzey sıcaklığı ( $T$ ) ve  $U/U_0$  bağılı olarak değişen  $F$  katsayısı da hesaba katılır (Özkaya, 1987). Bu durumda elde edilen bağıntı aşağıdaki gibi olur:

$$U_0 = \sqrt{3} \cdot E_0 \cdot m \cdot \delta^{2/3} \cdot r \cdot \ln \frac{a}{r} \quad (10)$$

Peterson'a göre iletim hatlarında km başına düşen korona kaybı;

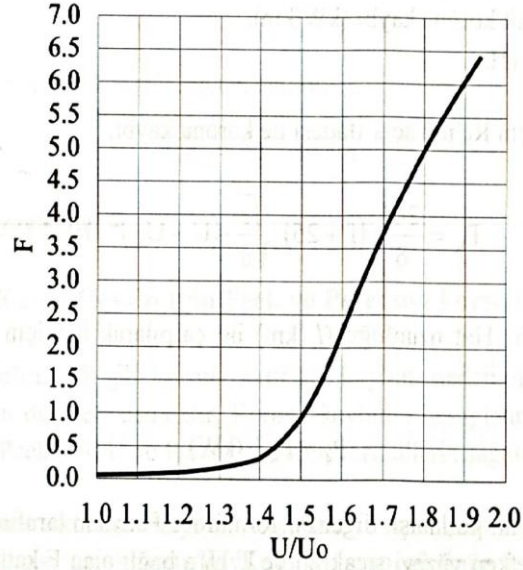
$$P_k = F \cdot \frac{2,1 \cdot 10^{-5} \cdot f \cdot U^2}{(\log \frac{a}{r})^2} [kw/km] \quad (11)$$

Bağıntısı ile belirlenebilir. Hat boyunca meydana gelen toplam korona kaybı ise;

$$P_{Toplam} = P_K \cdot l \quad (kW) \quad (12)$$

ifadesiyle belirlenir (Özkaya, 1987).  $F$  katsayısının  $U/U_0$  oranına göre değişim grafiği Şekil 1.2'de verilmiştir.





Şekil 1.2. Peterson formülündeki  $U/U_0$  oranının  $F$  katsayısına göre değişim grafiği

Alternatif gerilimde korona kayıplarının hesabı için gerekli olan ilk amperik formül Peek tarafından verilmiştir. Peek'e göre korona kayıpları Faz-Nötr geriliminin çarpma suretiyle iyonizasyonun başladığı Faz-Nötr geriliminden büyük olması durumunda başlar ve bu iki gerilimin farkının karesiyle orantılı olarak büyür. Kayıp formülü tamamen deneysel sonuçlara dayanır ve hiçbir şekilde teorik esası yoktur. Peterson formülü de teorik bir formül değildir. Bu formül daha çok deney sonuçlarının grafik-analitik değerlendirmesi şeklinde olup kısmen fiziksel düşüncelere dayanılarak çıkarılmıştır. Peek ve Peterson formülleri amperik formüllerdir ve bazı koşullarda Peek formülü daha doğru sonuçlar verirken bazı durumlarda ise Peterson formülünün daha gerçekçi sonuçlar verdiği görülmüştür. Her iki bağıntıdan da görüldüğü üzere korona kayıpları yukarıda belirtilen parametrelerin yanı sıra işletme frekansına da bağlı olduğu ve bu korona kayıplarının işletme frekansıyla doğru orantılı olarak değiştiği anlaşılmaktadır (Özkaya, 1987).

Korona boşalmaları özellikle çok yüksek gerilimlerde büyük önem kazanır. İletim hatlarındaki korona etkisini azaltmak için adına demet iletkenler denilen iletken yapı düzeni kullanılır. Demet iletkenlerde, hattaki her bir faz için tek bir iletken yerine, kesiti tek iletkene eşit birden fazla, örneğin iki, üç, dört iletken kullanılır. Sistemimizde 154 kV hatlarda tek iletken kullanılmakta, 380 kV hatlarda ise ikili ve üçlü demet sistemleri kullanılmaktadır. Demetlerin fiziki şekli ara tutucular (Spacer) ile sağlanır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1. Konuyla İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar

Enerji verimliliği kavramı son yıllarda araştırmacılar açısından önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Günümüzde enerjiye olan ihtiyacın önemli oranda artması, enerji üretim, iletim ve dağıtım hatlarında meydana gelen kayıpların azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalara büyük ivme kazandırmıştır. Enerji nakil hatlarında meydana gelen kayıpların önemli bir türü olan korona boşalmaları ile ilgili literatürde daha önce yapılmış olan önemli çalışmalardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

Lewis ve arkadaşları tarafından 1991 yılında yapılmış olan çalışmada korona boşalmasının düşük basınç ortamındaki frekans özellikleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, düşük basınçta korona boşalma akımının frekans spektrumunu ölçmek için bir test sistemi tasarlanmış ve sisteme AC gerilim uygulanarak korona boşalması oluşana kadar farklı düzenlemelerde çeşitli test numuneleri incelenmiştir. Aynı test farklı basınç değerlerinde tekrarlanmış ve frekans spektrumunun önemli parametresi olan boşalma akımının basınca bağlı önemli bir değişim gösterdiği sonucuna varılmıştır. Düşük basınçlarda boşalma frekansı spektrumunun  $17\text{ kHz}$ 'de tepe noktasında dar bir bantta yoğunlaştığı; ve ayrıca basıncın artmasına bağlı olarak spektral genişlik bileşenlerinin geniş bir bant boyunca arttığı sonucuna varılmıştır (Lewis ve ark., 1991).

Jonson ve arkadaşları tarafından 1994 yılında yapılmış olan çalışmada ise gerilim ve yük akımının DC bipolar korona darbeleri üzerine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada anot ve katot korona darbelerini gözlemlemek için çift kutuplu bir HVDC iletim hattına laboratuvar ölçekli sayısallaştırma osiloskopları bağlanmıştır. İlk aşamada veriler, yük akımı olmadan  $60\text{ kV}$  ile enerjilendirilmiş olan iletim hattı üzerinden alınmış; daha sonra yüksek gerilim ve ilave yük akımı etkileri ayrı ayrı olarak incelenmiştir. Histogramlarda, ardışık korona darbeleri zamana göre dağılımları gösterilmiştir. Çalışma neticesinde, iletim hattı geriliminin artırılması ile korona darbe genliğinin arttığı; ayrıca hem anot hem de katot için korona darbe süresini azaltma etkisine sahip olduğu; yük akımının eklenmesiyle birlikte korona darbe genliğini düşürdüğü ve anot için korona darbe zamanı oranının arttırdığı; buna karşılık yük

akımının eklenmesiyle birlikte Katot korona darbe genliği ve darbe zamanı oranının azaldığı tespit edilmiştir (Jonson ve ark., 1994).

Jaworek ve Krupa tarafından 1996 yılında yapılmış olan çalışmada; düzlem geometride havadaki çok noktadan elektrik alanına çapraz olarak  $4 \text{ m/s}$ 'e kadar olan hızlarla akan *DC* korona boşalması için deneysel incelemelerde bulunulmuştur. Boşalmanın *Akım-Gerilim* özellikleri belirlenmiş ve kendiliğinden üretilen akım darbeleri kaydedilmiştir. Pozitif polarite için, ortalama boşalma akımı  $0$  ile  $0.5 \text{ m/s}$  gaz hızı aralığında zamanla arttığı ve daha sonra tekrar düştüğü gözlenmiştir. Hareketsiz hava ortamıyla karşılaştırıldığında,  $4 \text{ m/s}$ 'lik bir hız için korona başlangıç gerilimi ve arıza (breakdown) geriliminin yaklaşık % 25 oranında arttığı tespit edilmiştir. İncelenen aralıkta gaz hızı arttıkça başlatma şeritlerinin (onset stream) darbeleri akım genliklerinin azaldığı, fakat arıza şeritlerinde (breakdown stream) arttığı görülmüştür. Çalışma sonucunda ayrıca, negatif polarite boşalması için seçilen gaz akış hızına herhangi bir bağımlılık gözlenmemiştir (Jaworek ve Krupa, 1996).

Abdel-Salama ve Muftib tarafından 1998 yılında yapılmış olan çalışmada; monopolar *DC* iletim hatlarında meydana gelen korona kayıpları incelenmiştir. Çalışmada, Monopolar iletim hatlarının çevresindeki iyonize alanı tanımlayan denklemlerin çözülmesi için bir yük benzetim tabanlı yöntem sunulmuştur. Yöntem, iki ve üç alt iletkenli iletken demetlerinin korona güç kaybı ile yer seviyesi arasındaki akım yoğunluğu profilini hesaplamak için uygulanmıştır. Zemin seviyesindeki akım yoğunluğu profilinin, zemin düzlemine göre demetin yönlendirilmesinden nasıl etkilendiğini araştırmak için iletken demetinin farklı yönleri araştırılmıştır. Bu durumda, her bir alt-iletken üzerindeki noktadan referans noktaya olan korona başlangıç voltajının değişimi hesaba katılmıştır. Çalışma sonucunda, demet iletkenler için hesaplanan korona güç kaybı ile yer seviyesindeki akım yoğunluğunun, deneysel ölçümlerle birebir uyum içinde olduğu görülmüştür (Abdel-Salama ve Muftib, 1998).

Zile tarafından 1999 yılında yapılan çalışmada koaksiyel, paraksiyel ve çubuk düzlem geometrilerde korona başlangıç gerilimi ile elektrik alan analizleri yapılmıştır. Çalışmada koaksiyel ve paraksiyel geometrilerde yapılmış ölçüm sonuçları kullanılarak hem analitik ve hem nümerik olmak üzere teorik hesaplamalarla bazı karşılaştırmalar yapılmıştır. Doğrusal elektrik alan probu kullanılarak silindirik bir dış elektrotun yüzeyi

boyunca gerekli ölçümler alınmış; koaksiyel ve paraksiyel geometrilerdeki deneysel sonuçlar kullanılarak teorik modellemeler yapılmıştır. Çalışmada, elektrot mesafesi 2 *m* kadar olan çubuk düzlem geometrileri için Negatif *DC* korona başlangıç gerilimleri hesaplanmıştır. Korona başlangıç geriliminin nümerik hesabı için yük benzetim programı kullanılmış olup, Townsend çığ mekanizması göz önünde bulundurularak çeşitli etkin iyonizasyon katsayıları için bazı hesaplamalar yapılmıştır. Analiz ve hesaplamaların doğruluğunun test edilmesi için elde edilen veriler karşılaştırılmış ve alınan sonuçların birbiriyle önemli ölçüde uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Zile, 1999).

Zebboudj ve Hartmann tarafından 1999 yılında yapılan çalışmada; koaksiyel elektrot sisteminde koronayı iki ayrı bölgede ayıran bir model kullanılarak değişen nem ile dengeli bir pozitif korona boşalması analiz edilmiştir. Sürüklenme bölgesinde, özellikle de katot yüzeyinde sınır koşullarının dikkatli bir şekilde seçilmesinin gerekli olduğu belirtilmiştir. Akım ve elektrik alan ölçümlerinin ölçümü için, dış silindirin içine doğrusal olarak bağlanmış olan bir prob kullanılarak yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Belirli bir gerilimdeki korona akımının neme bağlı olarak azaldığı; ancak dış silindirdeki elektrik alanının ise nemden bağımsız olduğu; fakat katot ile anottaki yüzeylerin elektrik alanının elektrotlar arasındaki gerilim ile doğrusal olarak değiştiği tespit edilmiştir. Sürüklenme bölgesindeki pozitif iyonların ortalama hareket kabiliyetinin tam değerlerinin akım ve alan ölçümlerinden anlaşılacağı; sürüklenme bölgesindeki potansiyel fark arttıkça bu hareketliliğin arttığı ve hava daha nemli hale geldiğinde ise hafifçe azaldığı gözlenmiştir. Neticede pozitif koronanın diğer parametrelerinin de akım ve alan ölçümleri ile belirlenebileceği ve özellikle elektrotlar arasındaki toplam alan dağılımı ile belirlenebileceği sonucuna varmışlardır ( Zebboudj ve Hartmann, 1999).

Mok tarafından 2000 yılında yapılmış olan bir çalışmada; darbe üretme devresinden korona boşalma reaktörüne enerji aktarım verimliliği araştırılmıştır. Yöntem olarak optimum enerji transfer koşulunun bulunması için darbe oluşturma devresinde darbe oluşturma kapasitörünün değeri değiştirilerek bazı analizler yapılmıştır. Darbe oluşturma kapasitesinin reaktörün geometrik kapasitesine oranı yaklaşık 3.0 olduğunda, darbe üretme devresinden korona boşalma reaktörüne maksimum enerji aktarımının gerçekleştiği tespit edilmiştir. Gerilim ve akım dalga

formları analiz edildiğinde, koronanın gelişiminden dolayı reaktörün kapasitörünün yaklaşık üç kat arttığı gözlemlenmiştir. Bu artış, darbe oluşturma kapasitesinin, reaktörün başlangıç kapasitesinden üç kat daha büyük olduğu andaki maksimum enerji transferinin gerçekleşme sebebi olarak gösterilmiştir. Çalışmada ayrıca, ortamda oluşan nitrik oksidin giderilmesi için gerekli olan enerji tüketiminin de bu kapasite oranında en aza indirildiği gösterilmiştir (Mok, 2000).

Korzhov ve arkadaşları tarafından 2004 yılında; Chelyabinsk ana iletim şebekesinin Shagol 500- kV trafo merkezinin açık şalt sahasında ve 500-kV Shagol-Kozyrevo havai iletim hattı altında; korona boşalmasının spektral kompozisyonu ve elektromanyetik radyasyonunun yoğunluğu hakkında veri elde etmek üzere deneysel bir çalışma yapılmıştır. 500 kV açık şalt sahasındaki elektromanyetik ortamın, elektrik kaynağının frekans harmoniklerinden dolayı dar bantlı radyasyonlarla ve yüksek gerilim kaynaklarının korona boşalmalarından dolayı oluşan geniş bantlı radyasyonlarla belirlenebildiğini göstermişlerdir (Korzhov ve ark., 2004).

Kasdi ve arkadaşları tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada, iki iletken-düzlem konfigürasyonunda kararlı bir korona boşalması analiz edilmiştir. Doğrusal olarak bağlanmış bir prob yardımıyla doğrusal bir geometriye uyarlanmış iki kutuplu korona sırasındaki zemin düzleminin akım yoğunluğu ve elektrik alanının ölçülmesi için yeni bir yöntem kullanılmıştır. Elektrik alanı ve akım yoğunluğunun değerlerinin iki taçlandırıcı iletken altında maksimum seviyede olduğu ve iletkenlerden uzaklaştıkça bu değerlerin düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca, birleşmiş alan-yük ve elektrik alan probleminin yönetim denklemlerinin genel bir çözümünün elde edilmesi için hibrid bir teknik geliştirilmiştir. Kullanılmış olan teknik, Poisson denklemini çözmek için sonlu elemanlar yöntemi (*FEM*) ve akım-süreklilik ilişkisinden yararlanarak yük yoğunluğunu bulmak için ise karakteristik bir yöntemdir (*MOC*). Çalışma neticesinde elde edilen değerler ile hesaplanan değerlerin uyumlu oldukları tespit edilmiştir (Kasdi ve ark., 2007).

Cheng ve arkadaşları tarafından 2008 yılında yapılmış olan çalışmada; hattaki arızalı izolatörlerin incelenmesi için yüksek gerilim (*YG*) iletim hatlarındaki porselen izolatör tellerindeki korona desenleri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, çeşitli kriterlerden oluşan arızalı porselen izolatörlerin incelenmesi için bir desen tanıma

yöntemi tasarlanmıştır. Kullanılan yöntemde, yüksek frekanslı bir sensör bandı seçilerek (2 MHz-20 MHz) iletim hatlarındaki elimine edilebilecek harmoniklerin ve taşıyıcıların tasarlanmış olan bu desen tanıma yöntemini ciddi şekilde etkilediği görülmüştür. Bu noktadan hareketle, Çin'de Lanzhou ve Zhengzhou elektrik santrallerinde alan ölçümlerinde yeni bir araç geliştirilip kullanılmıştır. Neticede, alandaki sonuçların bu yöntemi destekler nitelikte veriler gösterdiği belirlenmiştir. 76 tane örnek kulenin ölçümüne istinaden yapılan arızalı izolatörlerin incelenmesi sonucunda ölçme doğruluğunun yaklaşık olarak % 87.5 olduğu tespit edilmiştir (Cheng ve ark., 2008).

Koh ve Park tarafından 2009 yılında Monte Carlo yöntemi ile *nokta-düzlem* korona boşalmasının sayısal benzetimi incelenmiştir. Monte Carlo benzetim teknikleri genel olarak *nokta-düzlem* korona boşalmasında yüklü parçacıkların dinamik özelliklerini incelemek için kullanılabilir. Sayısal model, fotoizasyon ile *elektron-iyon* çiftlerinin salınmasını ve ilk Townsend iyonizasyonunun yanı sıra katottan ikincil elektron emisyonunu da içermiştir. Azottaki negatif korona boşalmasının simülasyon sonuçları neticesinde, elektron çığının pin elektrotu yakınında yüksek elektrik alanı çevresinde gerçekleştiğini ve fotoiyonizasyonun, boşalmayı ve elektron darbe iyonizasyonunu sürdürmek için gerekli mekanizma olduğu gösterilmiştir. Nitrojendeki negatif korona boşalmasının simülasyon sonuçları neticesinde ise, elektron çığının pin elektrotu yakınında yüksek elektrik alanı çevresinde gerçekleştiğini ve fotoiyonizasyonun boşalması ile elektron darbe iyonizasyonunu sürdürmek için gerekli mekanizma olduğu gösterilmiştir (Koh ve Park, 2009).

Tirumala ve arkadaşları tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada milimetre ölçüsünden daha küçük ölçüme sahip aralıklarda korona boşalması araştırılmıştır. Atmosferik basınçta *tel-düzlem* geometrisinde 0.3 mm ile 5 mm arasındaki elektrot boşluklarında gerçekleşen pozitif korona boşalmaları deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada, boşluk mesafesindeki ve tel çapındaki azalmaların boşalma akımlarında önemli bir artış sağladığı ve buna bağlı olarak başlangıç potansiyellerini azalttığı görülmüştür. *Akım-gerilim* karakteristiği ise tipik bir Townsend boşalması ile ilişkili olduğu gözlenmiştir. Deneysel olarak gözlemlenen başlangıç potansiyelleri, boşluk mesafesiyle aynı logaritmik davranış sergilemelerine rağmen Peek'in tahmininden daha yüksek olduğu görülmüştür. Çalışmada ayrıca tel-düzlem elektrot sisteminde geometrik

parametrelere bağımlılığı açıklamak için *akım-gerilim* değişimi ile ilişkili teorik bir ifade türetilmiş olup deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Tirumala ve ark., 2011).

Chen ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada, hem iyi hem de yağışlı hava koşulları altında pratik iletken kullanılarak korona boşalma süreci araştırılmıştır. Çalışmada, iletken yüzey koşulları baz alınarak bazı araştırmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalarda, yağmur damlaları genişlediğinde ve iletken etrafında sıklaştığında korona boşalmasının çok daha yoğun olduğu belirlenmiştir. Korona boşalmasının önemli bir parametresi olan korona başlangıç gerilimi, ultraviyole görüntüleyici (*UV* görüntüleyici) kullanılarak da elde edilmiştir. Yağışlı koşullardaki korona başlangıç gerilimi, iyi koşullardaki korona başlangıç geriliminden % 25 daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Chen ve ark., 2012).

Sawant tarafından 2013 yılında yapılmış olan çalışmada, sis azalmasına bağlı olarak korona boşalması iyonlaştırma tekniğinin meydana gelme olasılığı incelenmiştir. Korona boşalması iyonlaşması için yüksek gerilimli bir güç kaynağı tasarlanmış ve imal edilmiştir. Yüksek çıkış gerilimini etkinleştirmek için izolasyon trafosu, oto trafo ve yüksek gerilimli neon trafo kullanılmış olup, Wheatstone köprü devresi ve yüksek gerilimli kapasitörler kullanılarak *DC* gerilime çevrilmiştir. Boşalmayı gerçekleştirmek için -9 *kV* gerilim değeri seçilerek, sisin giderilmesi için devrenin performansı test edilmiştir. Yapay olarak oluşturulan sis, kapalı cam kaplarda toplanan ultrasonik su sisleyici sistem kullanılarak üretilmiştir. Cihazın 6 dakika süreyle sürekli çalıştırılmasından sonra aerosol karışımların % 90 ile % 95'inin kaptan çekildiği gözlenmiştir (Sawant, 2013).

Aissou ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, değişken nemli hava şartlarında *DC* bipolar korona boşalmasının iki *tel-düzlem* arası düzenekteki davranışı analiz edilmiştir. Bipolar korona sırasında yer düzlemi akım yoğunluğu ile elektrik alanını ölçmek için düzleme dairesel şekilde hazırlanmış bir prob uyarlanmıştır. Elektrik alanının değerleri ve düzlem yüzeyindeki akım yoğunluğunun iki korona telinin altında maksimum olduğu ve tellerden uzaklaştıkça değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlar, *Gerilim-Akım* karakteristiklerinin ikinci dereceden Townsend yasasını izlediğini, bipolar korona boşalmasının hava neminden önemli

derecede etkilendiğini ve ayrıca akım yoğunluğunun ve elektrik alanının test edilen tüm tel çapları için nem ile doğrusal olarak azaldığını göstermiştir (Aissou ve ark., 2013).

Yahaya ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, yüksek gerilim iletim hatlarında meydana gelen koronadan kaynaklanan güç kaybı ile korona parametreleri arasındaki ilişki incelenmiş ve korona kaybının en aza indirgenmesi için olası bazı adımlar araştırılmıştır. Numune analizi için matlab programı kullanılarak, nemli koşullarda korona kaybının kuru mevsimden daha fazla olduğu, iletkenler arasındaki boşluğun koronanın tolere edilebilecek seviyede seçilmesi gerektiği, iletken şekillerinin korona kaybını etkilediği dolayısıyla silindirik iletkenlerin diğerlerine nazaran daha az korona kaybına sahip olduğu, büyük yarıçaplı iletkenlerin kullanılması durumunda korona kaybının daha az olacağı, boşluktan bağımsız katı iletkenler ve izolatörler kullanılması gerektiği tespit edilmiştir (Yahaya ve ark., 2013).

Mahmoudi ve arkadaşları tarafından 2013 yılında dielektrik akışkan filmlerin korona boşalması yayılımı üzerine bir çalışma yapılmıştır. Dielektrik bir damlacığın korona boşalmasına maruz kalmasıyla topraklanmış bir alt tabakanın üzerine yayıldığı gözlenmiştir. Çalışma kapsamında maruziyetin başlangıcındaki yayılma yasasını bulmak için basit bir teorik model geliştirilmiştir. Yüzey yük yoğunluğu ve ara yüzey basıncı için asimptotik yaklaşım modeline göre, maruz kalmanın hemen ardından yayılmakta olan damlaların  $t^{(1/2)}$  yasasına uyduğu gösterilmiştir. Yayılmanın yüksek hızda görüntülenmesi teorik modelin tahmin ettiği eğilim yasasıyla büyük oranda örtüştüğü görülmüştür (Mahmoudi ve ark., 2013).

Said ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada, partiküler madde içermeyen havadaki *Tel-Düzlem* geometrisindeki DC-korona boşalmasının davranışları analiz edilmiştir. Korona boşalmasının her iki polaritesi için, bazı parametrelerin belirlenebilmesi amacıyla *akım-gerilim* karakteristiklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan  $I=KV(V-V_0)$  ve  $I=A(V - V_0)^m$  formüllerinden yararlanılmıştır. Eğri uydurma (Curve fitting) yöntemi kullanılarak  $K$  ve  $A$ 'nın geometrik faktörleri ile üstel katsayı olan  $m$ 'nin deşarj eden tellerin sayısını gösteren  $n$ 'den kuvvetle etkilendiği gösterilmiştir. Ayrıca, yapılan ölçümlere istinaden  $n$ 'nin küçük olması durumunda korona başlangıç geriliminin çok az oranda etkilendiği ve  $n>5$  olduğu durumlarda ise deşarj telinde sabit kaldığı tespit edilmiştir. Boşalmanın başlangıç geriliminin pratik



olarak  $n$  sayısından bağımsız olduğu ve her iki formülün de birden fazla *Tel-Düzlem* geometrilerinde hem negatif hem de pozitif korona için kullanılabileceği doğrulanmıştır (Said ve ark., 2014).

Rybka ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada, modüle edilmiş gerilim darbelerinin kullanılması yöntemiyle atmosferik basınçlı hava ortamındaki korona boşalması incelenmiştir. Elektroda modüle edilmiş gerilim darbeleri uygulanırken atmosferik basınçlı havadaki korona boşalmasının yaygın kanallarının oluşumu ve bozunması durumları incelenmiştir. Korona boşalmasından gelen radyasyonu kaydetmek için photomultiplier tüpler, yüksek hızlı bir kamera ve *CuBr* buhar lazer monitörü kullanılmıştır. Yaygın korona boşalma kanallarının radyasyonunun darbe frekansı zamana bağlı olarak modüle edilen gerilim darbe modülasyon frekansı değerinin yaklaşık iki katı kadar ( $\sim 290$  kHz) olduğu gösterilmiştir. Korona boşalma kanalının bükülmesi durumunda boşalma kanallarının kısa bir mesafede oluşabileceği ve bu durumun boşalma kanal sayılarını azalttığı gözlenmiştir (Rybka ve ark., 2014).

Yan ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, negatif DC korona boşalmaları ve yüksek sıcaklıklarda korona kararlılığının artırılması konusu araştırılmıştır.  $293$  °K -  $1173$  °K sıcaklık aralığında, bir tel-düzlem elektrot sisteminde farklı boşalma aralıkları ve farklı elektrot geometrileri kullanılarak korona boşalmalarının bazı özellikleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında korona başlangıç gerilimleri, çalışma gerilimi aralıkları ve korona akımı parametreleri dâhil olmak üzere *Gerilim-Akım* ( $V-I$ ) özellikleri analiz edilmiştir. Çalışma neticesinde, sıcaklığın artmasına bağlı olarak boşalma akımı yoğunluğunun arttığı, yüksek sıcaklıklarda elektronlar tarafından taşınan akımın boşalmanın gelişimi açısından etkin hale geldiği, sıcaklık ve gerilimin artmasıyla birlikte elektron akımının toplam akıma oranının arttığı, korona boşalmasının  $50$  mm'den daha düşük bir boşalma aralığı için  $1073$  °K'de dengesiz hale geldiği ve tel çapının yüksek sıcaklıklarda boşalma gerilimi ve korona kararlılığı üzerinde çok az etkisi olduğu sonucuna varılmıştır (Yan ve ark., 2015).

Zhang ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, *İğne-Halka* elektrot sisteminde DC korona boşalmasının iyon demetinin bazı karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada uygulama geriliminin polaritesi, aşırı gerilim

ve elektrot aralığı gibi boşalma parametrelerinin etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Merkezdeki iyon demetindeki yük akışının, elektrik alanından elde edilen daha büyük Coulomb kuvveti nedeniyle aşırı gerilim ile doğrusal olarak arttığı ve *Hız-Aşırı gerilim* çizgisinin eğiminin elektrot aralığına bağlı olduğu belirlenmiştir. Çalışma neticesinde; iyon akış hızının birkaç *m/s* civarında olup aşırı gerilim ile doğrusal arttığı, gerilim polaritesinin boşaltma kanalının iletkenliği üzerinde çok az bir etkiye sahip olduğu, pozitif koronadaki iyonik akış, orta kısımda daha büyük bir hıza sahipken, negatif korona içindeki iyonik akışın daha homojen bir şekilde dağıldığı gözlenmiştir (Zhang ve ark., 2015).

Jiang ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, Çin'in Shandong şehrinde uzun süredir faaliyette olan birkaç enerji iletim hattı örneği seçilerek bir korona kafesinde ultrasonik (sesli gürültü ve radyo gürültüsü içeren) bir yöntemle, iletken yaşı ile elektromanyetik çevre arasındaki ilişki deneysel olarak araştırılmıştır. Korona kafesinde yapılan korona testlerine göre, uygulanan gerilim arttıkça korona boşalmasının daha etkin hale geldiği, farklı yıllarda işletilen iletkenlerin arasındaki elektromanyetik ortam farkının arttığı tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda hizmet yılı uzadıkça, korona boşalmasının, sesli gürültüye ve radyo gürültüsüne eşlik ettiği daha etkin hale geldiği ve hizmet yılları yakın olduğu durumlarda, iletim hatları boyunca genel çevrenin elektromanyetik çevresel bozulmada önemli bir rol oynadığı gözlenmiştir (Jiang ve ark., 2015).

Intra ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, tek kutuplu silindirik bir üç eksenli yük üretme cihazının korona tel çapı ve uzunluğunun etkileri üzerindeki *akım-gerilim* ilişkileri açısından korona boşalma karakterizasyonu deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada ticari hesaplamalı akışkan dinamiği yazılım paketi olan *COMSOL Multiphysics™* yük üretim cihazının iyon üretiminde ve yük bölgelerinde elektrik alan dağılımını ve yük üretim cihazının iç elektrodundaki delikli ekranla açılan iyon etkileşim miktarını tahmin etmek için kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre, yük üretme cihazının şarj noktasındaki hem pozitif hem de negatif yük akımlarının artan korona ve iyon sürüklenme gerilimleriyle arttığı görülmüştür. Aynı korona ve iyon sürüklenme gerilimlerinde korona telinin çapının artmasıyla birlikte hem pozitif hem de negatif korona darbelerinin azaltıldığı görülmüştür. Pozitif ve negatif yük akımlarının

büyüklüğü; 22 mm uzunluğundaki korona teliyle karşılaştırıldığında, aynı korona geriliminde 11 mm uzunluğundaki korona telinde belirgin şekilde daha yüksek olduğu ve negatif koronalar için yük akımlarının, aynı korona ve iyon sürüklenme gerilimlerindeki pozitif koronalara göre yaklaşık 1,2 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yük üretim cihazının boşalma ve yük bölgelerindeki elektrik alan dağılımı ile iyon ve yüklü parçacık taşınımlarının sayısal sonuçları, *akım-gerilim* ilişkilerinin deney sonuçları ile uyumlu oldukları sonucuna varılmıştır (Intra ve ark., 2015).

Reguig ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılmış olan çalışmada, çeşitli elektrot şekillerinde korona boşalmalarına maruz kalan izolasyon malzemeleri yüzeyinde elektrik potansiyel dağılımı konusu araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, metalik bir kalkanın "*çift tip*" veya "*üçlü tip*" korona elektrot şekillerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmadaki temel amaç, kullanılan elektrot sisteminde oluşturulan korona boşalmasına maruz kalan polivinil plakaların yüzeyindeki elektrik potansiyelini ölçmektir. Bununla ilgili bazı deneyler yapılmıştır. Birinci yöntem deney sonuçlarına göre, metalik kalkan varlığının, korona boşalması ile oluşturulan yük dağılımını genişlettiği ve polimer yüzeyinde daha yüksek elektrik potansiyeli değerleri verdiği gözlenmiştir. İkinci yöntem deneylerde ise, elektrostatik ayırıcılardaki granül yalıtım malzemelerinin şarj edilmesi için korumalı elektrot sisteminin etkinliği incelenmiştir (Reguig ve ark., 2015).

Fuangpian ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada; *DC* polaritesi ve Alternatif Akım (*AC*) elektromanyetik alan yoğunluğunun yüksek gerilim iğne-düzlem, iğne-iç kusur, yüzey boşalması, başlıksız yeraltı kablosu, çıplak havai iletken gibi bazı test objeleri kullanılarak korona başlangıç gerilimi ve korona boşalması üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu nedenle, *DC* iletim hattının polaritesinin koronanın başlangıç gerilimi ve boşalma gerilimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Test nesnelere gelen korona boşalması ve kısmi boşalma, akan boşalma akım darbesini algılamak için bir yüksek frekanslı akım trafosu (*HFCT*) kullanılarak gerekli ölçümler yapılmıştır. Çalışma neticesinde ölçülen pozitif polaritenin boşalma dalga formunun, tek boşalma darbesiyle birlikte daha büyük genliğe sahipken negatif polaritenin dalga genişliği daha yüksek oluşum sıklığı veya daha yüksek tekrarlama oranı ile daha az genliğe sahip olduğu; pozitif *DC*'nin başlangıç geriliminin

genellikle negatif polarite ve AC gerilimininkinden daha büyük olduğu tespit edilmiştir (Fuangpian ve ark., 2016).

Tonmitr ve Ratanabuntha tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada, Garry modeli ve Peek formülleri kullanılarak matlab programında iletken yarıçapı ve iletkenler arası mesafe baz alınarak 115 kV ve 230 kV sistemlerindeki güç kayıpları simule edilmiştir. Korona boşalmasının sızıntı kapasitesini ve iletim hattının endüktansını etkilediği, sızıntı akımının korona başlamasıyla birlikte arttığı, koronaya bağlı güç kaybının iletkenin yarıçapı ve iletkenler arasındaki mesafe ile ters bir değişime sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışma neticesinde, Gary modelinin 115 kV için uygun olmadığı görülmüştür. Güç sisteminin çalışma noktası nedeniyle, model kayıplarının formülle olan uyuşma farkları 115 kV için % 7.5 ve 230 kV için ise % 14.5 olarak elde edilmiştir (Tonmitr ve Ratanabuntha, 2016).

Carsimamovic ve arkadaşları tarafından 2016 yılında Bosna-Hersek'teki bir hat modeli üzerine yapılan çalışmada atmosferik havada AC korona boşalması ile ilgili bir analiz yapılmıştır. Korona başlangıç gerilim gradyanının incelenmesi için sayısal hesaplama ve ampirik denklemler yöntemleri kullanılarak gaz boşalma kuramına uyarlanmıştır. Her bir telin ucundaki elektrik alanı artışının, aynı genel çaptaki silindirik bir iletkenin elektrik alanından yaklaşık % 14 daha yüksek olduğu, Bosna-Hersek'teki 400 kV'lık elektrik şebekelerindeki gerilim artışının gerilim gradyant değerini arttırmakta olduğu ve AC korona nedeniyle daha yüksek güç kayıplarına neden olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, AC koronaya bağlı olarak gerçekleşen güç kayıplarına göre iletken yüzeyinin yakınında gerilim gradyant değerinin ve korona boşalması başlama gerilim gradyant değerinin belirlenmesinin önemli bir koşul olduğu vurgulanmıştır (Carsimamovic ve ark., 2016).

He ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılmış olan çalışmada, farklı AC gerilimlere sahip küçük bir korona kafesi kullanılarak AC korona boşalma özellikleri ve radyo parazit (RI) performansları incelenmiştir. AC korona darbelerinin ortalama genlik ve tekrarlama frekansı gibi karakteristik parametreleri istatistiksel olarak analiz edilirken, korona darbeleri tarafından üretilen RI (radio interference) seviyeleri aynı anda ölçülmüştür. Daha sonra akım darbeleri ile RI seviyeleri arasındaki ilişki incelendiğinde, ölçülen yarı tepe RI akım değeri frekans işleme yöntemi kullanılarak

ölçülen korona akımı darbesinden hesaplanan tepe ve etkin (*RMS*) akım değeri arasında olduğu ve *RI* düzeyi ile pozitif darbe genliğinin çarpımının ve pozitif darbe frekansının karekökü arasında yaklaşık olarak doğrusal bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (He ve ark., 2016).

Jialin ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada; çoklu-spektral bölgelerde  $SF_6$  gazı ortamında meydana gelen korona boşalmasının ışık darbelerinin karakteristikleri araştırılmıştır.  $SF_6$  gazı ortamında meydana gelen korona boşalmasında çoklu spektral darbenin özelliklerini incelemek için bir optik ve elektriksel kısmi boşalma tespit sistemi kurulmuştur. Kısmi boşalmanın optik darbe özellikleri, ultraviyole, görünür ve yakın kızılötesi bölgelerdeki iğne-düzlem elektrot sisteminde gerçekleşen boşalma test edilerek farklı spektral bölgede incelenmiştir. Çalışma neticesinde, iğne-düzlem elektrot sistemindeki boşalmanın yakın kızılötesi ışık darbelerinin yalnızca pozitif yarı çevrimde var olduğunu, morötesi ışık darbelerinin boşalma ön aşamasında negatif yarı çevrimde olduğunu, boşalma arttıkça ultraviyole ve görünür ışık darbelerinin pozitif yarı devrede gözüktüğü sonucuna varılmıştır. Uygulanan gerilimin artmasına bağlı olarak, görünür ışığın ortalama darbe genliğinin azaldığı ve boşalmanın tekrarlanma hızının arttığı belirlenmiştir (Jialin ve ark., 2016).

Tsui ve arkadaşları tarafından 2017 yılında korona boşalmasının ısı transferinin arttırmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada hem teorik hem de deneysel yöntemler uygulanmıştır. Korona boşalmasından kaynaklanan ısı transferinin incelenmesi için korona elektrotu olarak ince bir düzlem plaka kullanılmış ve topraklama elektrotu olarak da ısıtılmış bir iletken plaka kullanılmıştır. Yapılan deney neticesinde ısıtılmış plakanın merkezindeki ısı transfer katsayısının doğal konveksiyona kıyasla 2,6-4,8 aralığındaki bir oranda arttığı gözlemlenmiştir. Tahmin edilen sıcaklıklar ile ölçümler arasındaki karşılaştırma sonucunda, düşük korona geriliminde önemli farklılıkların bulunduğu ve gerilimin yeterince yüksek olduğunda iyi bir uyum sağladığı gözlenmiştir. Korona boşalmasının küçük elektrot aralıkları için daha yoğun olduğu ve elektrik kıvılcımı oluşmadan önceki korona geriliminin büyük elektrot aralıkları için daha yüksek olduğu, bu durumun da daha iyi bir ısı transferine yol açtığı tespit edilmiştir (Tsui ve ark., 2017).

Rezinkina ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada, topraklanmış çubukların uç kısımlarında meydana gelen korona boşalması, uç yüksekliği, eğrilik yarıçapı, uygulanan elektrik alanının büyüklüğü ve polaritesi dikkate alınarak deneysel gözlem ve bazı matematiksel modellemeler yapılmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde korona akımının elektrik alan şiddetinin hava ortamındaki delinme sınırlarını aştığı ve aktif hacme belirli oranda bağlı olduğu ileri sürülmüştür. Çalışma kapsamında, matematiksel modelleme ile deneysel gözlemlerin sonuçlarının uyumlu olduğu; korona akımının çubuk uç yüksekliğine, uç yarıçapına, uygulanan elektrik alan kuvvetine ve geometriye bağlı olduğu; ayrıca daha fazla deneyle daha da iyi sonuçlar alınabileceği tespit edilmiştir (Rezinkina ve ark., 2017).

Wang ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada; tasarlanmış oldukları koaksiyel bir silindirik elektrot sistemindeki korona akım darbesinin ölçümü için her ikisi de düşük potansiyelde olmak koşuluyla kafes tarafı ve iletken tarafı olmak üzere iki yöntem karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçları ve iki ölçüm metodu arasındaki ilişkinin yorumlanması için basitleştirilmiş iki model önerilmiştir. Korona darbesinin her iki yöntemden de elde edilebileceği ve akım darbesinin dalga şeklinin örnekleme direncine önemli ölçüde bağlı olduğu tespit edilmiştir. Yüksek hassasiyetle korona akımı darbesinin ölçülmesi için iletken tarafı yöntemi önerilmiştir. Büyük örnekleme direnci küçük korona akımı darbesi üretirken; küçük örnekleme direncinin ise darbe osilasyonuna neden olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, korona akım darbesinin doğru bir şekilde ölçülmesindeki anahtar noktanın, uygun örnekleme direncinin seçilmesi olduğu anlaşılmıştır (Wang ve ark., 2017).

Dordizadeh ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılmış olan çalışmada, bir iğne-düzlem elektrot sisteminde atmosferik koşullarda gerçekleşen negatif korona boşalmasındaki Trichel darbelerinin karakteristik özellikleri incelenmiştir. Deneysel oda sıcaklığında ve atmosferik basınç koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında elektrot sistemine bağlı önemli parametreler olan iğne elektrot uç gerilimi, *İğne-Düzlem* aralığı mesafesi, iğne elektrot ucunun eğrilik yarıçapı, frekans, *DC* akım ve darbelerin zamansal karakteristikleri (kalkış süresi, düşme süresi ve darbe genişliği) gibi çeşitli parametrelerin boşalma üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda eğrilik yarıçapları  $19 \mu\text{m}$ - $55 \mu\text{m}$  arasında değişen dört farklı şekillerdeki iğne elektrot

kullanılmıştır. Elektrot sistemindeki *İğne-düzlem* mesafesi 6 mm ila 3 cm arasında değiştirilmiştir. İğne elektroda uygulanan gerilim değeri, başlangıç geriliminden (-4 kV ile -6 kV) -10 kV'a kadar değiştirilmiştir. Çalışma neticesinde darbelerin geçici rejim özelliklerinin, örneğin yükselme süresi, iğne ucunun eğrilik yarıçapı, gerilim seviyesi veya *İğne-düzlem* arası mesafesi gibi parametrelerin bir fonksiyonu olmadığı görülmüştür. Yapılan genel değerlendirmede, deneysel bulguların Lama ve Gallo'nun çalışmaları ile iyi bir uyum içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır (Dordizadeh ve ark., 2017).

## 2.2. Tezin Güncelliği

Enerji verimliliğinin giderek önem kazandığı günümüzde araştırmalar bir yandan yeni enerji kaynaklarına yönelirken; diğer yandan kayıpların azaltılmasına yönelik olarak sürdürülmektedir. Mevcut sistemlerdeki verimliliğin artırılmasının en önemli adımlardan birisi, kayıpların azaltılması yöntemidir. Günümüzde, elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen kayıplara yönelik çalışmalar giderek artmaktadır. Özellikle yüksek gerilimli sistemlerde meydana gelen korona kayıpları, bu sistemlerde oluşan toplam kayıpların önemli bir bölümünü teşkil etmektedirler. Dolayısıyla, bu alanda yapılan çalışmalar da gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır. Korona kayıplarının oluşumuna zemin hazırlayan birçok etken söz konusudur ve bu alandaki çalışmalar da çok çeşitlilik arz etmektedirler. Bu etkenlerden biri de yüksek frekans etkisidir. Yapılan araştırmalarda yüksek frekans etkisinin korona olaylarına olan etkisine yönelik doğrudan yapılmış herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Konuyla ilgili yukarıda verilen literatür çalışmaları incelendiğinde yüksek frekansın korona tutuşma ve sönmleme gerilimleri üzerinde önemli etkisi olabileceği düşünülmüştür fakat yüksek frekansın korona boşalması üzerinde etkisinin yeterince araştırılmadığı görülmüştür. Bu noktadan hareketle, herhangi bir nedenden ötürü (devre açma-kapama, kısa devre olayları gibi) çeşitli iç ve dış faktörlerin etkisiyle elektrik enerjisi iletim hatlarında meydana gelen arklar sonucunda hat üzerinde yüksek frekanslı harmonik bileşenlerin oluşumuna zemin hazırlar. Oluşan bu yüksek frekanslı harmoniklerin korona boşalmalarının tutuşma ve sönmleme gerilimlerinin sınır değerleri üzerinde önemli bir etkisinin olacağı düşünülerek ilgili tez konusu belirlenmiş ve bazı önemli parametreler deneysel olarak araştırılmıştır.

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Materyal

İyon-elektron teknolojisinde önemli bir yere sahip olan ve enerji iletim sistemlerinde önemli derecede kayıpların oluşumuna zemin hazırlayan elektrik gaz boşalmalarının önemli bir türü olan korona boşalmalarının laboratuvar koşullarında incelenebilmesi için bazı uygulamalara karşılık gelen ve özel olarak tasarlanmış olan *İğne-Düzlem* ve *Küre-Düzlem* elektrot sistemlerinden yararlanılmıştır. Bu elektrot sistemlerinin imal edildiği malzemenin türü, geometrik şekli, elektrotlar arası açıklık ve ortamdaki gazın türü, uygulama gerilimi ve uygulanan gerilimin frekansı gibi parametreler boşalmanın tutuşması, gelişmesi ve sönümlenmesi açısından önemli bir yere sahiptirler. Deneysel olarak yapılan bu tez çalışması kapsamında kullanılan elektrot sistemi paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiştir. Mevcut çalışma için tasarlanan alt elektrot sistemi hassas torna yardımıyla ve yüzeyleri pürüzsüz olarak dairesel disk şeklinde imal edilmiştir. İmal edilen bu elektrotlar fiberglas malzemeden yararlanılarak tasarlanan bir *U* şeklindeki yalıtkan malzemeye uygun şekilde monte edilerek elektrot açıklığı *5 mm* olacak şekilde sabitlenmiş ve gerekli deneyler gerçekleştirilmiştir.

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* olarak ayarlanmış olan bir *iğne-düzlem* elektrot sistemi ve *küre-düzlem* elektrot sistemi, 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 ile dijital olarak ayarlanabilen *0-220 v* ve *45-500 Hz* arası frekans çıkışları sağlayabilen bir *AC* güç kaynağı kullanılmıştır.

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 ve bu traфонun görüntüsü Şekil 3.1’de verilmiştir.





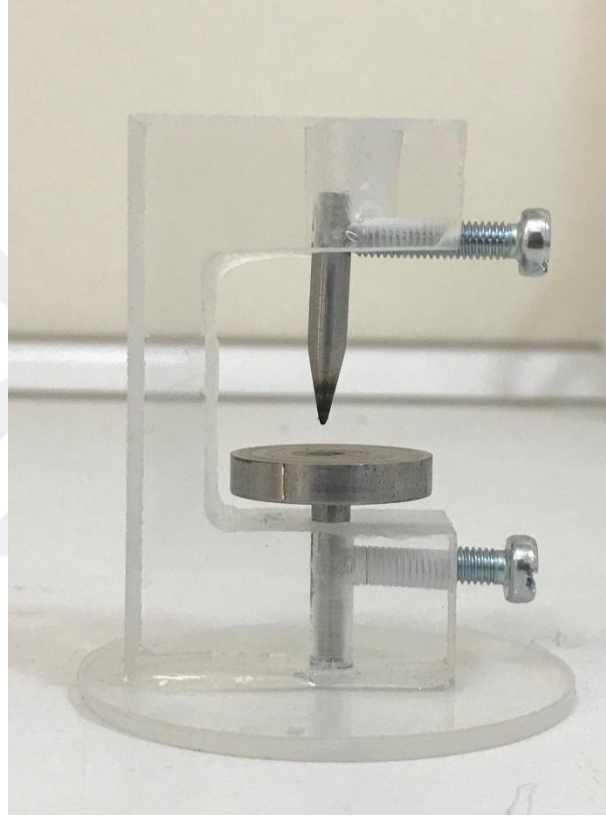
Şekil 3.1. Dâhili gerilim trafosu

Şekil 3.2.'de gösterilen dijital AC güç kaynağı *GWINSTEK APS-9501* modeli olup  $0-300\text{ v}$  aralığında  $1'$ er voltluk adımlarla çıkış gerilimi ve  $45-500\text{ Hz}$  frekans aralığında  $1\text{ Hz}'$ lik adımlarla AC çıkış gerilimi sağlayabilecek özelliklere sahiptir. Kaynağın gücü ise  $500\text{ VA}$  değerindedir. Güç kaynağı ayrıca 5 kanal hafıza özelliğine sahip olup dijital ekranında frekans, gerilim, akım, güç ve güç faktörünü gösterme özelliklerine sahiptir.



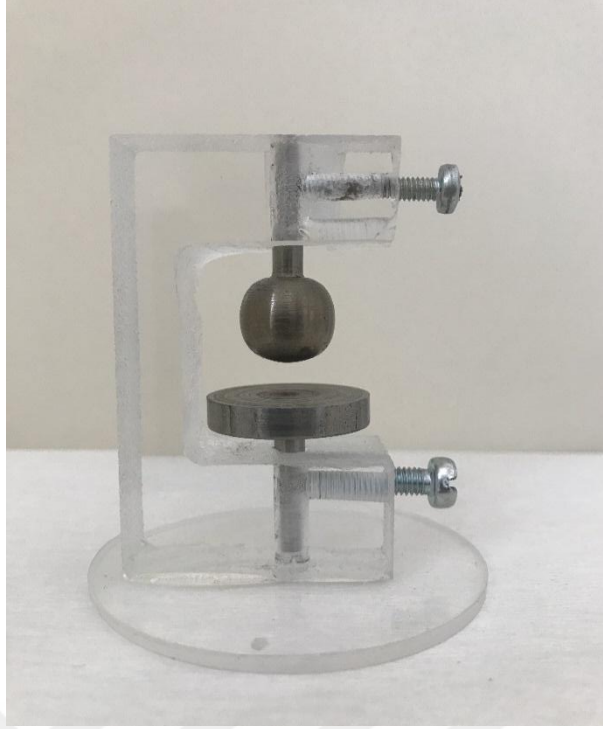
Şekil 3.2. Dijital AC Güç kaynağı

Deney sisteminde kullanılan önemli materyallerden biri de *İğne-Düzlem* elektrot sistemidir. Bu elektrotta kullanılan iğnenin ucu ile düzlem arasındaki mesafe  $5\text{ mm}$  sabit olarak ayarlanmış ve tüm deneyler için bu değer kullanılmıştır. Düzlem elektrotun çapı  $25\text{ mm}$  ve kalınlığı ise  $5\text{ mm}$  olarak imal edilmiştir. Elektrotlar prensip olarak  $U$  şeklinde kesilmiş olan ve  $10\text{ mm}$  kalınlığındaki şeffaf fiberglas dielektrik malzemeye paslanmaz çelik vidalarla monte edilerek elektrot sistemi oluşturulmuştur. *İğne-Düzlem* elektrot sisteminin görüntüsü Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. *İğne-Düzlem* elektrot sistemi görüntüsü

Çalışmada kullanılan bir diğer elektrot sistemi ise *Küre-Düzlem* elektrot sistemidir. Bu elektrot sisteminde kullanılan kürenin çapı  $15\text{ mm}$ 'dir ve paslanmaz demir malzemedен imal edilmiştir. Düzlem elektrot ise çapı  $25\text{ mm}$  ve kalınlığı ise  $5\text{ mm}$  olan paslanmaz demir malzemedен imal edilmiştir. *Küre-Düzlem* elektrot sisteminin elektrot açıklığı  $5\text{ mm}$  olarak ayarlanmıştır. Elektrotlar prensip olarak  $U$  şeklinde kesilmiş olan ve  $10\text{ mm}$  kalınlığındaki şeffaf fiberglas dielektrik malzemeye paslanmaz çelik vidalarla monte edilerek elektrot sistemi oluşturulmuştur. *Küre-Düzlem* elektrot sisteminin görüntüsü Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Küre-Düzlem elektrot sistemi görüntüsü

Deney setinin kumanda elemanları olarak ayrıca  $50\text{ Hz}$  sabit frekansta  $0-220\text{ v}$  çıkış gerilimi verebilen ve  $500\text{ VA}$  gücüne sahip olan manuel olarak ayarlanabilen bir adet varyak kullanılmıştır. 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 kumanda elemanlarının görüntüsü Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Deney setine ait kumanda ve ölçüm elemanları

Deney sisteminin içeriğinde bir adet yüksek gerilim trafosu, elektrot sistemi, besleme ve otomasyon elemanları, ölçüm elemanları ve koruma elemanları bulunmaktadır. Sistemin genel görüntüsü Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Deney setinin genel görüntüsü

### 3.2. Yöntem

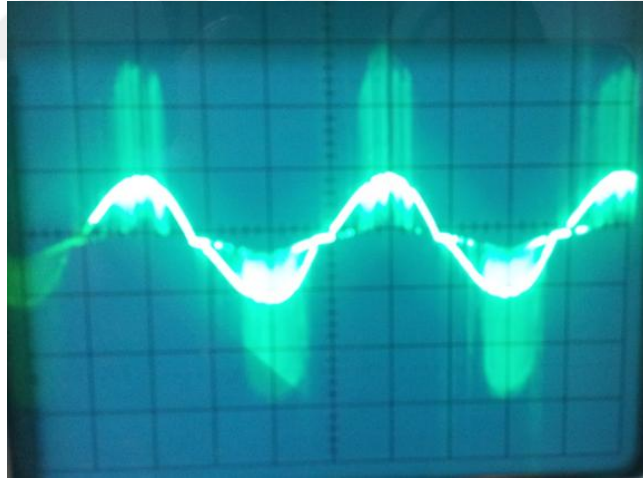
Deneysel çalışma kapsamında *İğne-Düzlem* elektrot sistemine ve *Küre-Düzlem* elektrot sistemlerine  $50\text{ Hz}$ ,  $150\text{ Hz}$ ,  $250\text{ Hz}$ ,  $350\text{ Hz}$  ve  $500\text{ Hz}$  sabit frekans değerlerinde çeşitli gerilimler uygulanarak her durumda birbirinden bağımsız olacak şekilde gerilim ve akım değerleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Her bir frekans değerinin belirlenmesinden sonra uygulama gerilimi belirli adımlarla artırılarak her adıma karşılık gelen akım değerleri kaydedilmiştir. 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 söndüğü görülmüş ve bu ana karşılık gelen gerilim değeri de boşalmanın sönmüleme gerilimi olarak kaydedilmiştir.

## 4. BULGULAR

Korona boşalmalarının deneysel analizlerini gerçekleştirmek ve gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek amacıyla elektrik enerjisi iletim hatlarındaki modele büyük ölçüde karşılık gelen *İğne-Düzlem* ve *Küre-Düzlem* elektrot sistemlerinden yararlanılmıştır. Ortam koşulları olarak da atmosferik koşullar referans alınarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar sırasında, özellikle düşük frekans durumlarındaki akım kararsızlıklarının etkisinin azaltılması için tekrarlama yöntemi kullanılarak aynı deneyde çok sayıda ölçüm alınarak bu ölçümlerin ortalaması alınmış ve kaydedilmiştir.

### 4.1. *İğne-Düzlem* Elektrot Sistemi

Deneysel çalışmalar esnasında osiloskop ekranından doğrudan fotoğraflanan *İğne-Düzlem* elektrot sisteminin 50 Hz frekansındaki akım osilasyonlarının görüntüsü Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere pozitif ve negatif koronanın akım osilasyonlarının birim alandaki sayısı az olup kararsız bir yapıya sahiptirler.



Şekil 4.1. *İğne-Düzlem* elektrot sisteminin 50 Hz frekansındaki akım osilasyonları görüntüsü

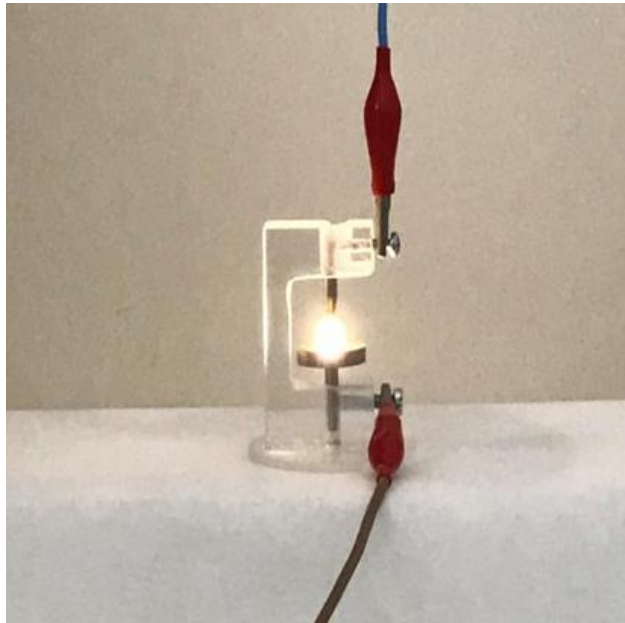
Enerji iletim hatlarındaki korona boşalmaları normal koşullarda iletken yüzeyinde veya yakın bölgelerde meydana gelirler. Özellikle alternatif gerilimlerde pozitif alternansta boşalmalar iletkene doğru, negatif alternansta ise iletken yüzeyinden zayıf bir alana doğru hareket ederler. Boşalma sırasında pozitif alternans üzerinde meydana gelen *Trichel* akım osilasyonları elektrot geometrisine ve kutuplanmaya bağlı olarak gelişim gösterir. Osiloskop ekranından fotoğraflanmış olan *İğne-Düzlem* elektrot

sisteminin 500 Hz frekansındaki pozitif koronanın akım osilasyonlarının görüntüsü ise Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekilden, pozitif koronanın akım osilasyonlarının birim alandaki sayısının fazla olduğu ve daha kararlı bir durum sergiledikleri görülmektedir.



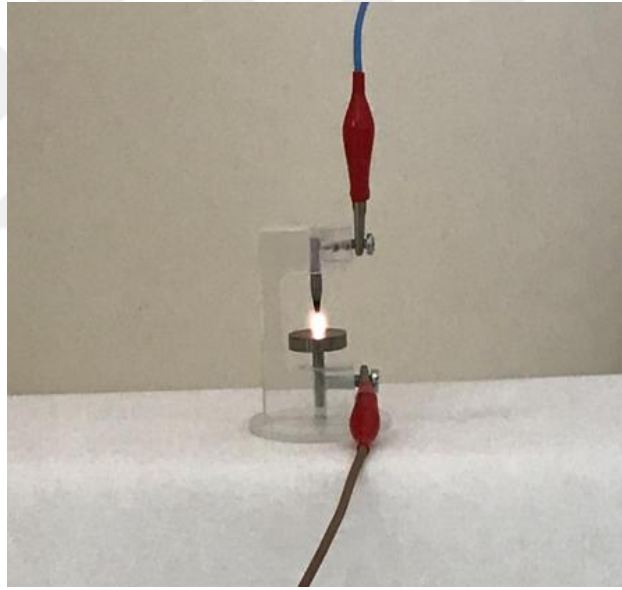
**Şekil 4.2.** *İğne-Düzlem* elektrot sisteminin 500 Hz frekansındaki pozitif koronaya ait akım osilasyonları görüntüsü

*İğne-Düzlem* elektrot sisteminde düşük frekanslarda (50-150 Hz) ve non-homojen elektrik alanında gerçekleşen korona boşalmasına ait fotoğraflanmış görüntü Şekil 4.3’te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi boşalmanın geometrik yapısı elektrot sisteminin geometrik yapısına bağlı olarak bir koni şeklinde yayılmıştır.



**Şekil 4.3.** *İğne-Düzlem* elektrot sisteminde düşük frekanslarda gerçekleşen korona boşalması görüntüsü

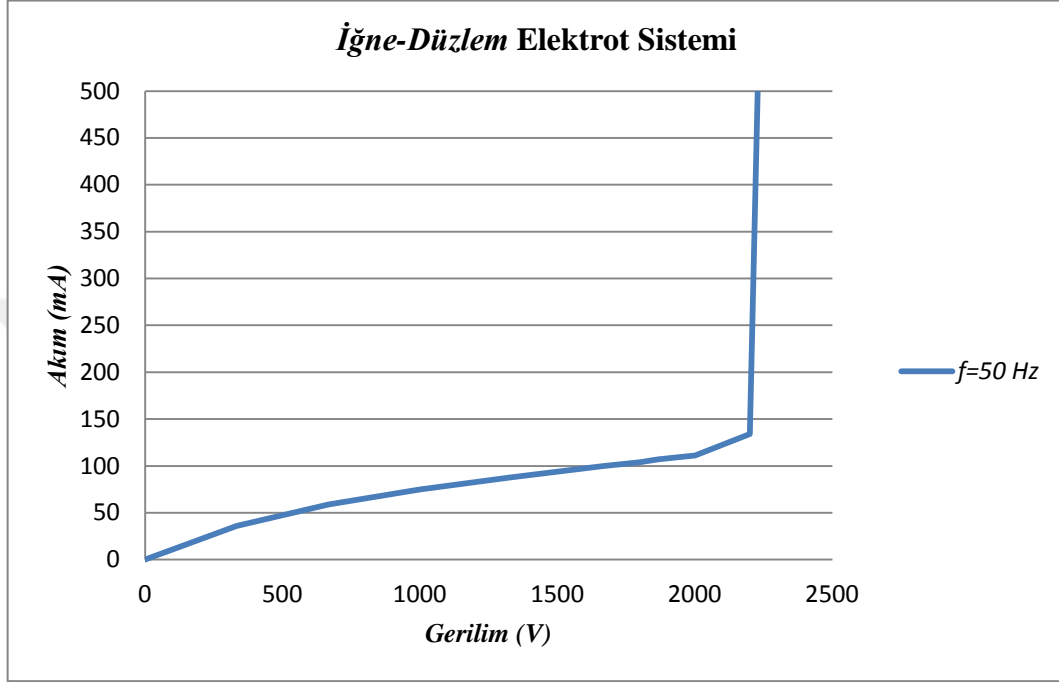
Boşalma kanalcıklarının bir ucu iğne elektrot çevresinde yoğunlaşırken, diğer uçları ise düzlem elektrot yüzeyine yayılmış bir vaziyettedir. Bu nedenle düzlem elektroda yakın yüzeylerdeki boşalma kanalcıklarının daha seyrek bir davranış sergiledikleri gözlenmiştir. Frekans değerlerinin daha da yükseltilmesi durumlarında *İğne-Düzlem* elektrot sisteminin kullanılmasıyla yüksek frekanslarda (350-500 Hz) ve non-homojen elektrik alanında gerçekleşen korona boşalmasına ait fotoğraflanmış görüntü ise Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi boşalmanın geometrik yapısı elektrot sisteminin geometrik yapısına bağlı olarak dar bir kanal şeklinde gerçekleşmiştir. Boşalma kanalcıklarının bir ucu iğne elektrot çevresinde yoğunlaşırken, diğer uçları ise düzlem elektrot yüzeyinin sadece orta kısımlarında ve dar bir kanal vaziyetini almıştır. Bu nedenle boşalma kanalındaki yük yoğunluğu daha fazla ve birim yüzeye çarpan yük sayısında önemli derecede bir artış gözlenmiştir. Bu durum, elektrot yüzeyinde meydana gelen tahribat etkisinden yararlanılarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.4. *İğne-Düzlem* elektrot sisteminde yüksek frekanslarda oluşan korona boşalması görüntüsü

Korona boşalmalarının bazı temel parametrelerinin belirlenebilmesi ve daha iyi modellenebilmesi için *Gerilim-Akım* özeğrilerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu boşalmalarının *İğne-Düzlem* elektrot sisteminde gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmalarda frekans etkisinin belirlenebilmesi için 50, 150, 250, 350 ve 500 Hz frekans değerleri seçilerek her durum birbirinden bağımsız olacak şekilde ölçümler alınmıştır. Şekil 4.5'te verilen *İğne-Düzlem* elektrot sisteminin kullanılmasıyla 50 Hz'lik besleme

frekansında Gerilim-Akım grafiği 0-2266 volt aralığında yaklaşık olarak Ohm kanununa uygun bir değişim göstermektedir. Ancak 2266 volttan sonraki gerilim değerlerinde boşalma tutuştuğu için akım ani bir sıçrayışla yükselerek kaynağın üst sınır değerini aştığı görülmüştür. Bu durumda tespit edilen boşalma tutuşma gerilimi 2266 volt, sönümlenme gerilimi ise 866 volt olarak ölçülmüştür.

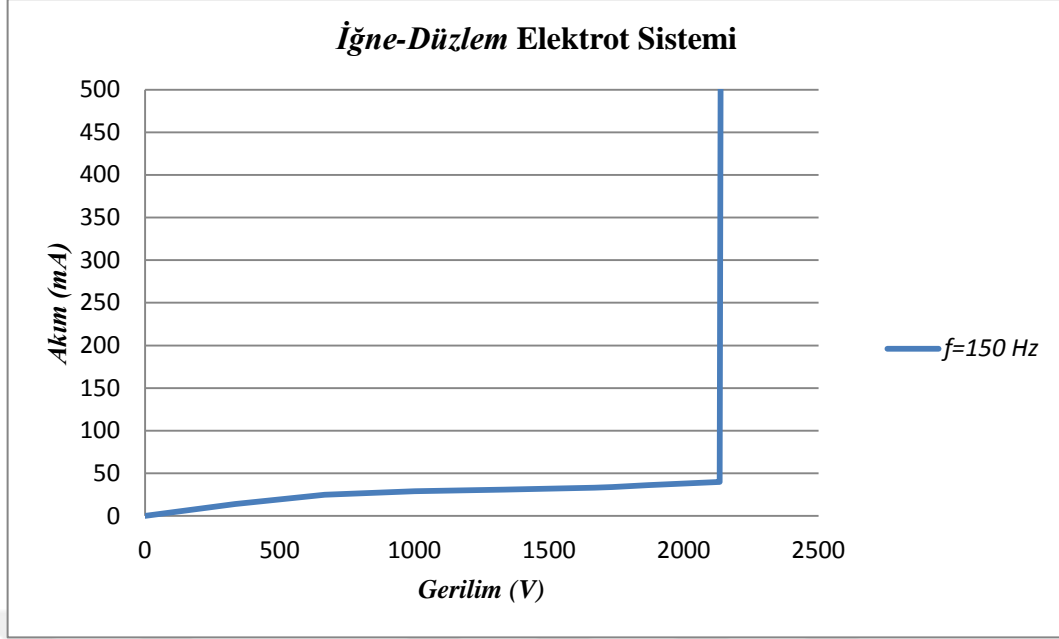


Şekil 4.5. İğne-Düzlem elektrot sisteminde  $f=50$  Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan Gerilim-Akım değişimi grafiği

Korona boşalmasının Gerilim-Akım (V-I) karakteristikleri genel olarak basamak Şeklindeki bir yapıya sahiptir. Gerilimin sıfırdan başlayarak boşalmanın başlangıç gerilimi sınırına kadar olan bölgede grafiğin değişimi Ohm Kanunu'yla uyuşacak şekilde bir değişim göstermektedir. Ancak boşalmanın tutuşmasıyla birlikte akımın, kararsız ve ani bir şekilde artarak keskin bir sıçrayış gösterdiği sonucuna varılmıştır. Kaynağın gücünün yeterli olması ve gerilimin daha da arttırılması sonucu boşalma daha da kuvvetlenerek ark olayı meydana gelir.

İğne-Düzlem elektrot sisteminin kullanılmasıyla Şekil 4.6'da verilmiş olan 150 Hz'lik besleme frekansında alınan ölçümler neticesinde oluşturulan Gerilim-Akım grafiği 0-2140 volt aralığında yaklaşık olarak Ohm kanununa uygun bir değişim göstermiştir.

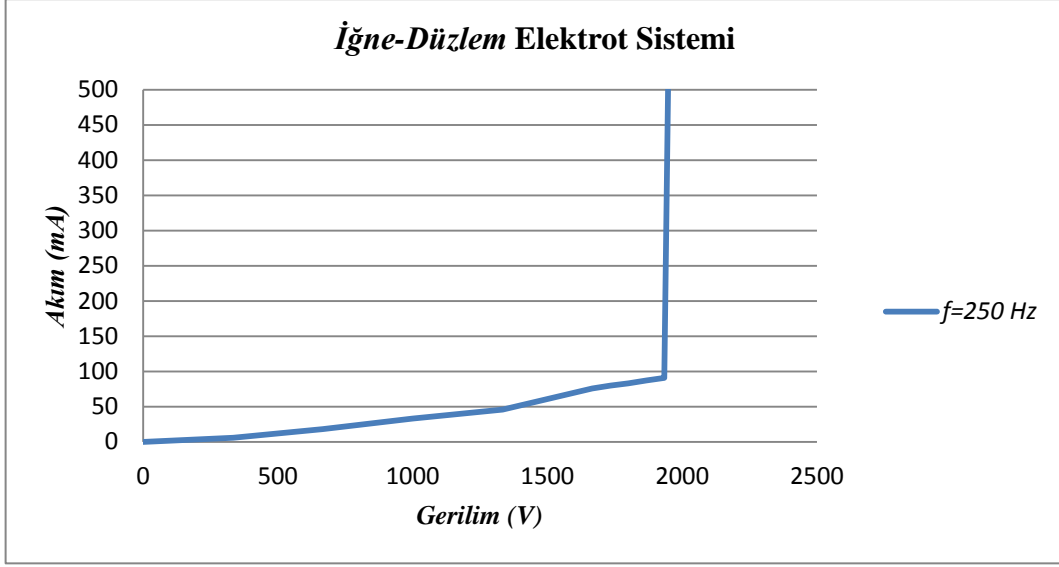




Şekil 4.6. İğne-Düzlem elektrot sisteminde  $f=150$  Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan Gerilim-Akım değişimi grafiği

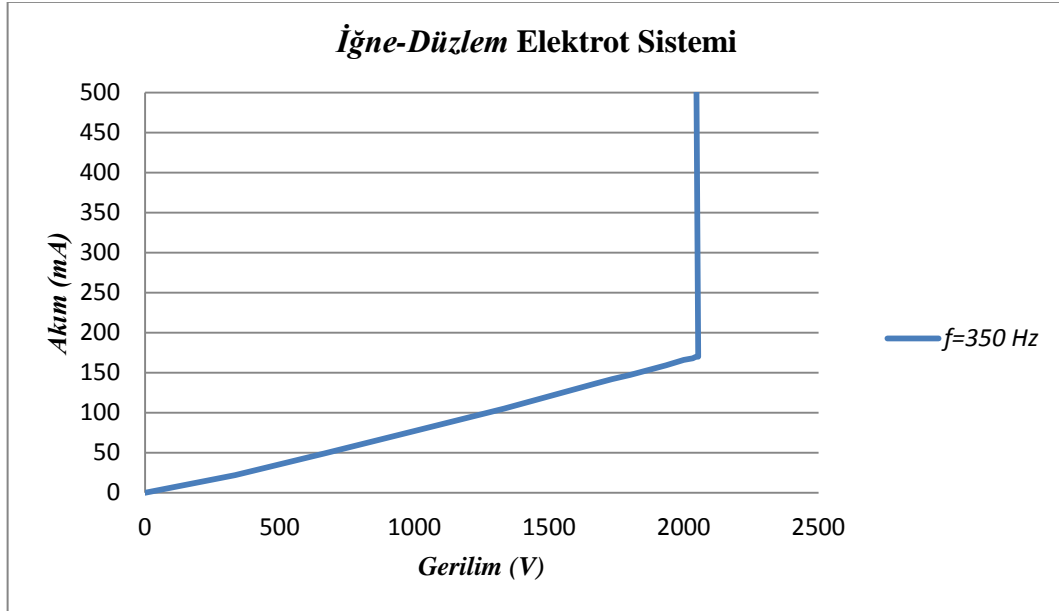
Grafikten görüldüğü üzere, 2140 volttan sonraki gerilim değerlerinde boşalma tutuştuğu için akım ani bir sıçrayışla yükselerek kaynağın üst sınır değerini aşmıştır. Bu durumda tespit edilen boşalma tutuşma gerilimi 2140 volt olarak belirlenmiştir. Çekilen akım değeri, kaynağın akım üst sınır değerini aştığı için besleme kaynağı devreyi otomatik olarak keserek koruma moduna geçtiği için 150 Hz'lik besleme frekansında boşalmanın sönümlenme gerilimi belirlenememiştir.

Şekil 4.7'de verilen İğne-Düzlem elektrot sistemi için 250 Hz'lik besleme gerilimi frekansında alınmış olan Gerilim-Akım grafiği 0-2060 volt aralığında yaklaşık olarak Ohm kanununa uygun bir değişim göstermiştir. Ancak 2060 volttan daha büyük değerlerde, boşalmanın tutuşmasıyla birlikte akım değeri ani bir sıçrayışla artmıştır. Çünkü bu durumda, boşalma kanalında bir delinme olayı söz konusudur ve boşalma kanalının iletkenliği hızla artmıştır. Bu durumda boşalmanın tutuşma gerilimi 2060 volt, sönümlenme gerilimi ise 873 volt olarak ölçülmüştür. Dijital besleme kaynağının kullanılmasıyla, düşük frekanslarda (50-150 Hz gibi) boşalmanın sönümlenme gerilim değerinin belirlenmesi oldukça zordur. Bunun nedeni, belirtilen frekanslarda boşalma akımının kaynağın maksimum akım sınırını aşması ve dolayısıyla kaynağın devreyi kesmesidir.



Şekil 4.7. İğne-Düzlem elektrot sisteminde  $f=250$  Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan Gerilim-Akım değişimi grafiği

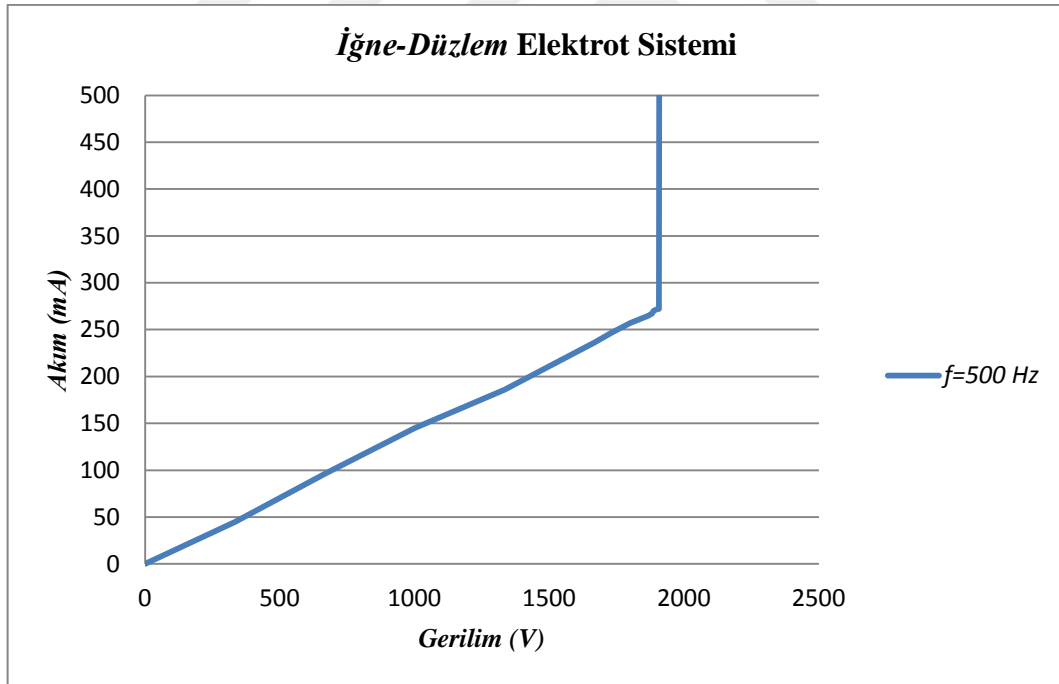
Şekil 4.8’de verilen İğne-Düzlem elektrot sisteminin kullanılmasıyla 350 Hz’lik besleme frekansında Gerilim-Akım grafiği 0-2000 volt aralığında yaklaşık olarak Ohm kanununa uygun bir değişim göstermektedir. Ancak 2000 volttan sonraki gerilim değerlerinde boşalma tuttuğu için akım ani bir sıçrayışla yükselerek kaynağın üst sınır değerini aştığı görülmüştür.



Şekil 4.8. İğne-Düzlem elektrot sisteminde  $f=350$  Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan Gerilim-Akım değişimi grafiği

Korona boşalmasının 350 Hz'lik besleme frekansında tespit edilen boşalma tutuşma gerilimi 2000 volt, sönümlenme gerilimi ise 1073 volt olarak belirlenmiştir. Bu durumda frekansın artmasına ters orantılı olarak boşalma akımının azaldığı görülmüştür. Genel olarak boşalma karakteristikleri incelendiğinde, yüksek frekanslarda boşalmanın tutuşma gerilimi değerlerinin daha düşük seviyelere indiği görülmektedir.

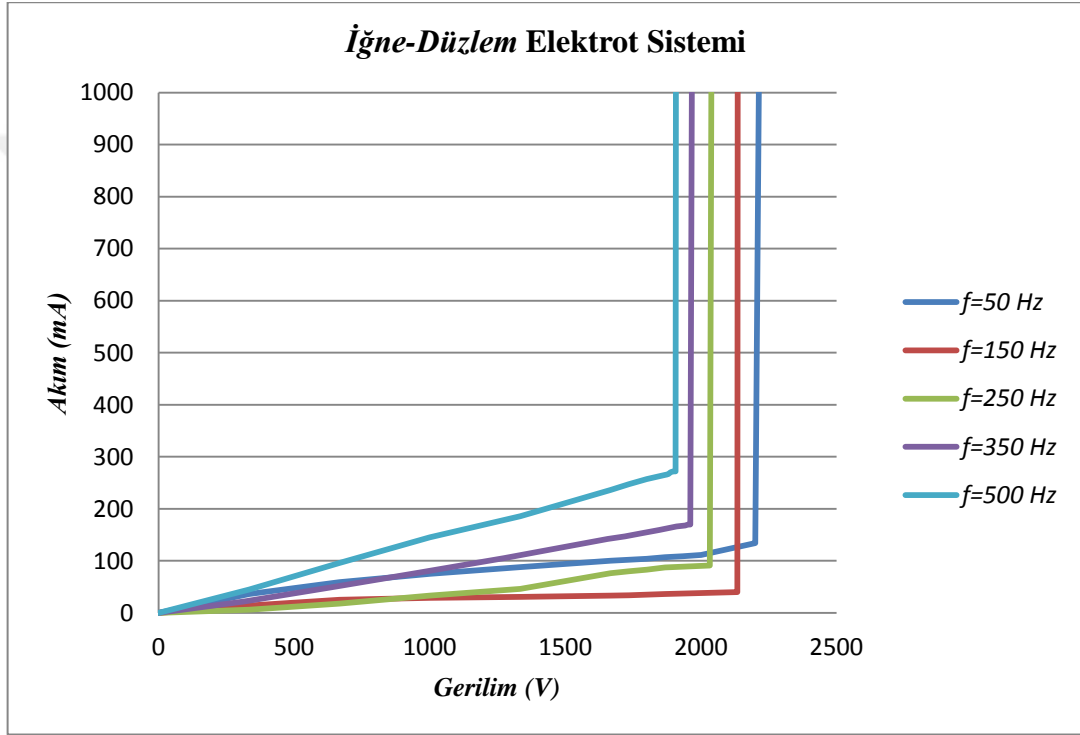
İğne-Düzlem elektrot sisteminin kullanılmasıyla Şekil 4.9'da görülen 500 Hz'lik besleme frekansındaki Gerilim-Akım grafiği 0-1913 volt aralığında yaklaşık olarak ohm kanununa uygun bir değişim göstermiştir. Ancak 1913 volttan sonraki gerilim değerlerinde boşalma tutuştuğu için akım ani bir sıçrayışla yükselerek kaynağın üst sınır değerini aştığı görülmüştür. Bu durumda tespit edilen boşalma tutuşma gerilimi 1913 volt, sönümlenme gerilimi ise 1140 volt olarak belirlenmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere frekansın artmasına bağlı olarak boşalmanın tutuşma öncesindeki akım değerleri giderek artmıştır. Bu durum, boşalma aralığının kapasitif bir özelliğe sahip olmasının bir sonucu olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.9. İğne-Düzlem elektrot sisteminde  $f=500$  Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan Gerilim-Akım değişimi grafiği

İğne-Düzlem elektrot sisteminde deneysel olarak alınmış olan sonuçların karşılaştırılması amacıyla 50, 150, 250, 350 ve 500 Hz'lik besleme gerilimi

frekanslarındaki *Gerilim-Akım* grafiklerinin toplu şekildeki gösterimi Şekil 4.10'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere besleme geriliminin frekans değeri arttıkça korona boşalmasının tutuşma gerilimi sınır değerleri buna ters orantılı olarak düzgün bir azalma göstermiştir. Deneysel çalışmalarda ölçülen sonuçlara göre 50 Hz'lik besleme gerilimi frekansında boşalmanın tutuşma öncesindeki akım değerleri diğer frekans değerlerindeki akımlara nazaran daha yüksek değerlerde çıktığı görülmüştür. Bunun muhtemel nedeni ise 50 Hz frekans değeri için kullanılan besleme kaynağının diğer frekans değerleri için kullanılan besleme kaynağından farklı bir kaynak olmasıdır.



Şekil 4.10. İğne-Düzlem elektrot sisteminde 50, 150, 250, 350 ve 500 Hz besleme gerilimi frekanslarında alınmış olan toplu Gerilim-Akım değişimleri grafiği

Yukarıdaki grafikten, korona boşalmalarının İğne-Düzlem elektrot sisteminde deneysel olarak alınmış olan sonuçların karşılaştırılması amacıyla 50, 150, 250, 350 ve 500 Hz'lik besleme gerilimi frekanslarında elde edilen boşalmaların tutuşma ve sönmüleme gerilim değerlerinin frekansa bağlı; fakat ters orantılı olarak bir değişim sergiledikleri görülmektedir. Ayrıca farklı frekanslarda oluşturulmuş boşalmaların tutuşma gerilimlerinden küçük olan gerilim değerlerindeki boşalma akımlarının da frekansa bağlı olan bir değişim gösterdikleri aşikârdır.

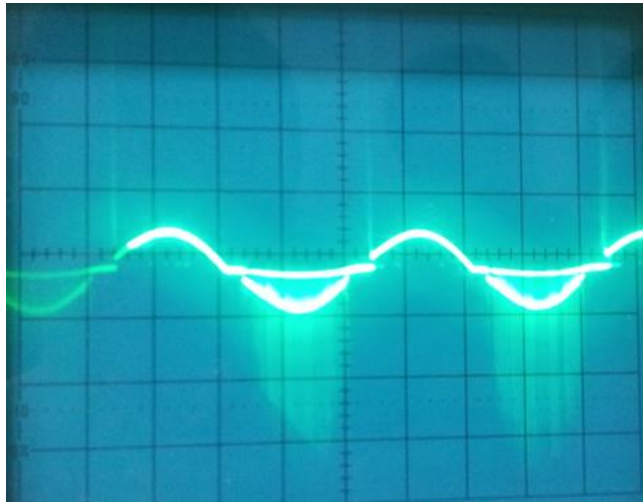
**Tablo 4.1.** *İğne-Düzlem* sistemindeki boşalmanın tutuşma ve sönmleme Gerilim-Akım değerleri

<i>İğne-Düzlem</i> elektrot sistemi	50 Hz	150 Hz	250 Hz	350 Hz	500 Hz
$U_{Boşalma}$ (v)	2266,78	2140,11	2060,10	2010,10	1913,43
$U_{Sönümleme}$ (v)	866,71		873,37	1073,38	1140,05
$I_{Boşalma}$ (mA)	4200	4000	3810	2910	1910
$I_{Sönümleme}$ (mA)	800		1000	1042	1131

*İğne-Düzlem* elektrot sisteminde 50, 150, 250, 350 ve 500 Hz'lik besleme gerilimi frekanslarında deneysel olarak ölçülmüş olan korona boşalmalarının tutuşma ve sönmleme gerilim ile akım değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Tablo 4.1'deki veriler incelendiğinde besleme geriliminin frekans değerleri yükseldikçe boşalmanın tutuşma gerilimi sınır değerleri azalmaktadır. Buna karşılık boşalma sönmleme gerilimi sınır değerleri ise artmıştır. Bu durum korona boşalmalarının tutuşmasındaki frekans etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

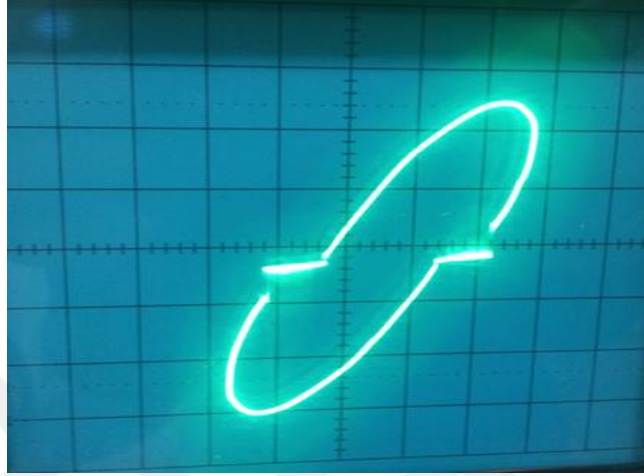
#### 4.2. *Küre-Düzlem* Elektrot Sistemi

Korona boşalmalarının tutuşma ve sönmleme gerilimleri sınır değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla kullanılan diğer bir elektrot sistemi ise *Küre-Düzlem* elektrot sistemidir. Deneysel çalışmalar sırasında osiloskop ekranından doğrudan fotoğraflanan *Küre-Düzlem* elektrot sisteminin 50 Hz frekansındaki akım osilasyonlarının görüntüsü Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere pozitif ve negatif koronanın akım osilasyonlarının birim alandaki sayıları oldukça yoğun ve kararlı bir yapıya sahiptirler.



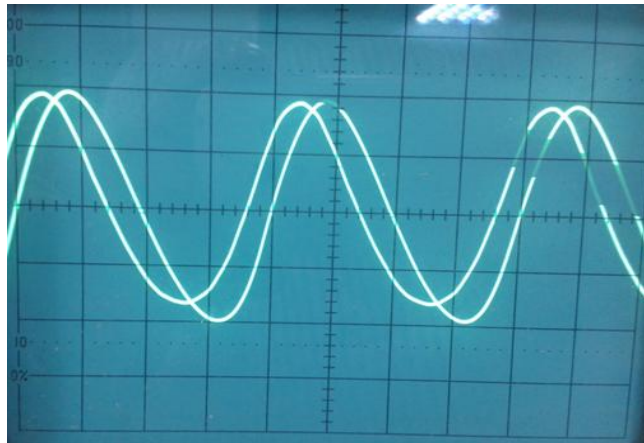
**Şekil 4.11.** *Küre-Düzlem* elektrot sisteminin 50 Hz frekansındaki akım osilasyonları görüntüsü

*Küre-Düzlem* elektrot sisteminde gerçekleşen korona boşalmasının tutuşması sırasında ölçülen akım ve gerilim değerlerinin birbirlerine göre değişimlerinin osiloskop ekranından doğrudan alınmış fotoğrafı Şekil 4.12’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi boşalma geriliminin boşalma akımına göre değişim durumu kararlı bir *Lysajous* diyagramı şeklindedir.



**Şekil 4.12.** *Küre-Düzlem* elektrot sisteminin 50 Hz frekansındaki boşalma geriliminin boşalma akımına göre değişim grafiği görüntüsü (X-Y Modu)

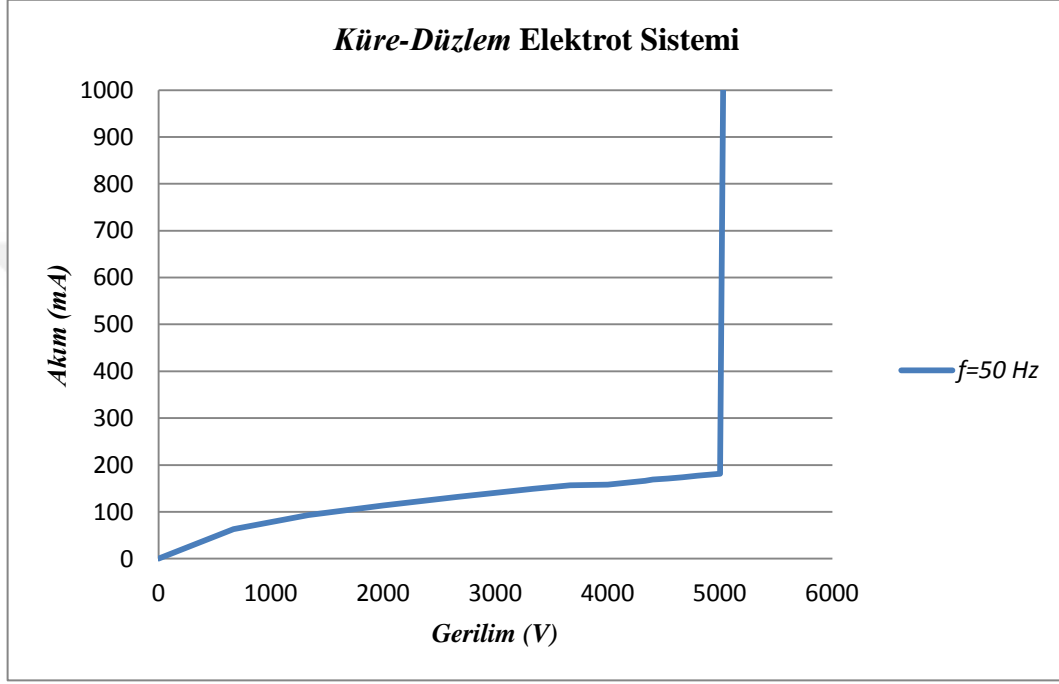
*Küre-Düzlem* elektrot sisteminde gerçekleşen korona boşalmasına ait akımın ve gerilimin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.13’te verilmiştir. Boşalma aralığının kapasitif bir özelliğe sahip olması nedeniyle akım ile gerilim arasında yaklaşık  $90^\circ$ ’lik bir faz farkı söz konusudur.



**Şekil 4.13.** *Küre-Düzlem* elektrot sisteminin 50 Hz frekansındaki boşalma akımı ve geriliminin zamana göre değişim grafiği görüntüsü



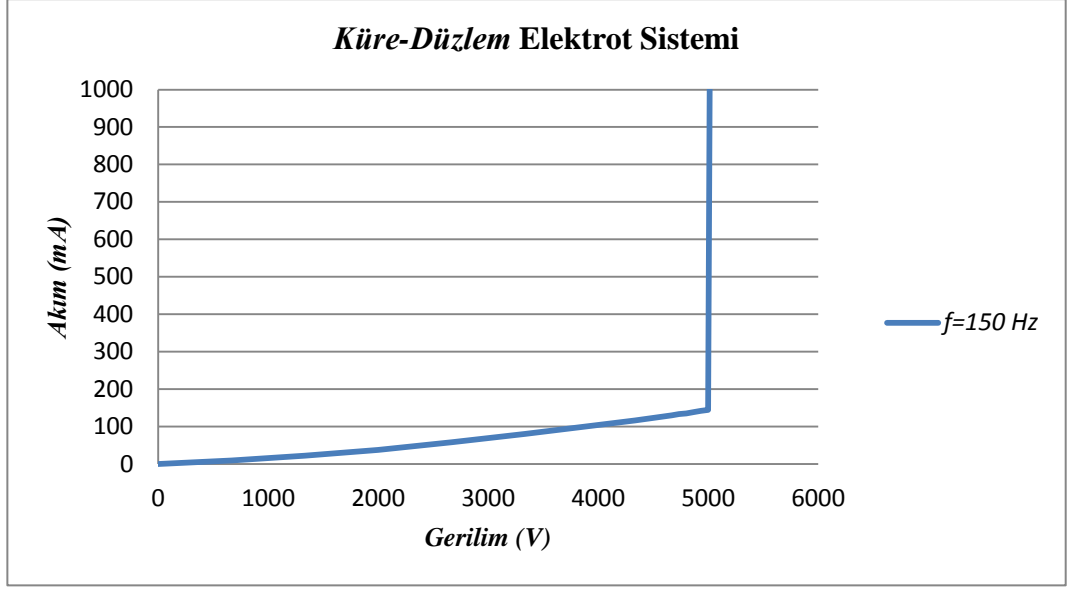
Şekil 4.16’da verilen *Küre-Düzlem* elektrot sisteminin kullanılmasıyla  $50\text{ Hz}$ ’lik besleme frekansındaki *Gerilim-Akım* grafiği  $0-5133\text{ volt}$  aralığında yaklaşık olarak Ohm kanununa uygun olan bir değişim göstermektedir. Ancak  $5133\text{ volt}$ tan sonraki gerilim değerlerinde boşalma tutuştuğu için akımın ani bir sıçrayışla yükselerek kaynağın üst sınır değerini aştığı görülmüştür. Bu durumda tespit edilen boşalma tutuşma gerilimi  $5133\text{ volt}$ , sönmleme gerilimi ise  $1200\text{ volt}$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.16. *Küre-Düzlem* elektrot sisteminde  $f=50\text{ Hz}$  besleme gerilimi frekansında alınmış olan *Gerilim-Akım* değişimi grafiği

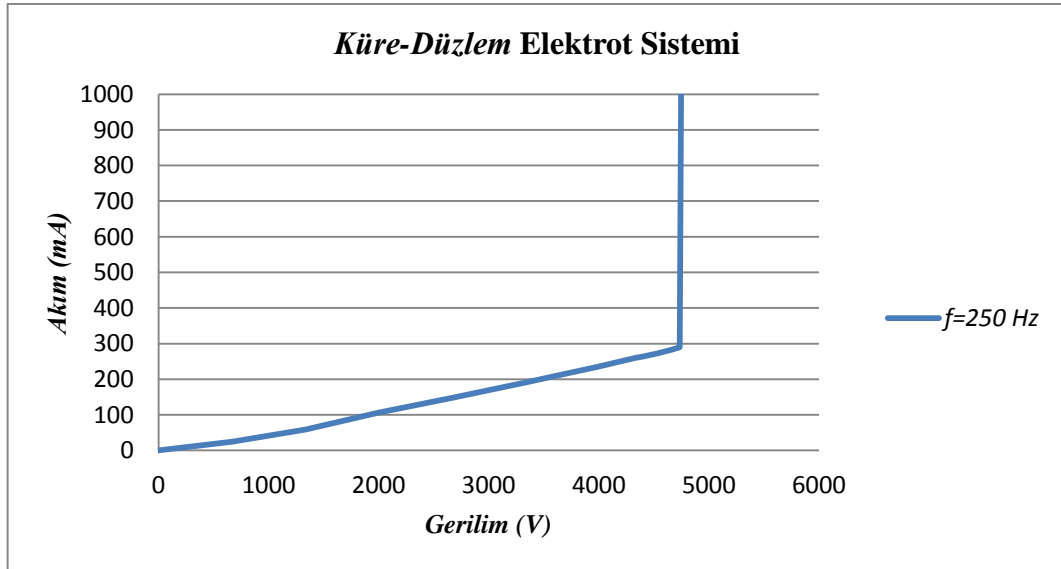
Şekil 4.17’de verilen *Küre-Düzlem* elektrot sisteminin kullanılmasıyla  $150\text{ Hz}$ ’lik besleme frekansındaki *Gerilim-Akım* grafiği  $0-5066\text{ volt}$  aralığında yaklaşık olarak Ohm kanununa uygun olan bir değişim göstermektedir. Fakat  $5066\text{ volt}$ tan sonraki gerilim değerlerinde, boşalma tutuştuğu için boşalma kanalının iletkenliği hızla artmış ve buna bağlı olarak; akımın ani bir sıçrayışla yükselerek kaynağın üst sınır değerini aştığı görülmüştür. Bu durumda tespit edilen boşalma tutuşma gerilimi sınır değeri  $5066\text{ volt}$  olarak belirlenmiştir. Çekilen akım, kaynağın üst sınır değerini aştığı için besleme kaynağı devreyi keserek koruma moduna geçmiş ve dolayısıyla boşalmanın bu frekans değerindeki sönmleme gerilimi değeri belirlenememiştir. Genel olarak sönmleme gerilimi değerleri daha çok yüksek frekanslarda kolaylıkla belirlenebilir.





Şekil 4.17. Küre-Düzlem elektrot sisteminde  $f=150$  Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan Gerilim-Akım değişimi grafiği

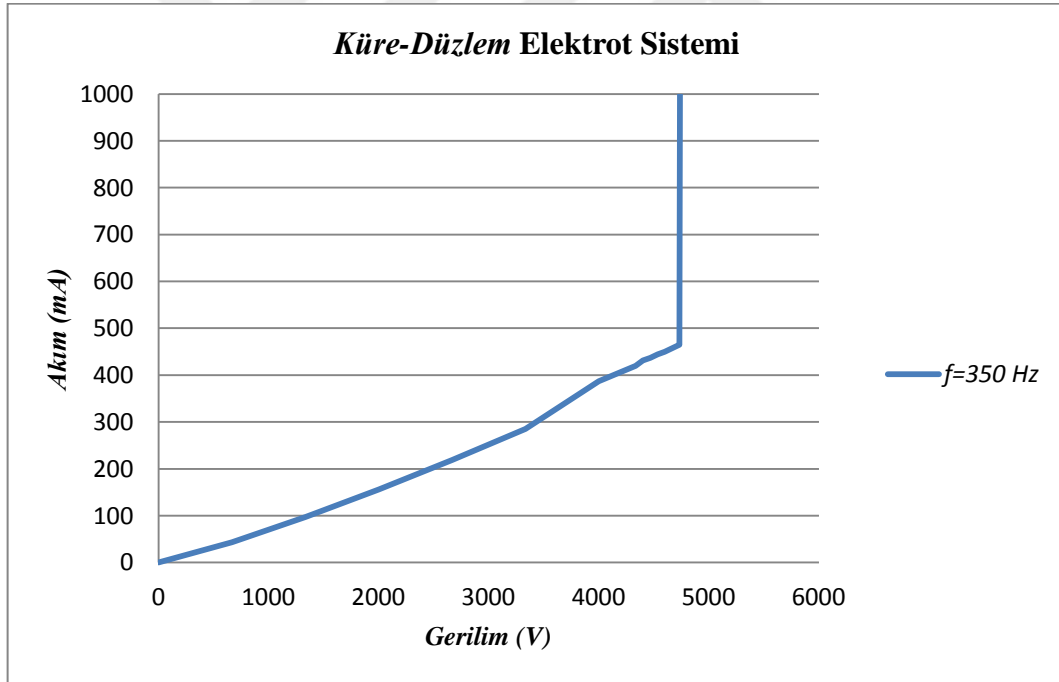
Şekil 4.18’de verilen Küre-Düzlem elektrot sisteminin kullanılmasıyla 250 Hz’lik besleme frekansındaki Gerilim-Akım grafiği 0-4800 volt aralığında yaklaşık olarak Ohm kanununa uygun olan bir değişim göstermektedir. Ancak 4800 volttan sonraki gerilim değerlerinde boşalma tuttuğu için akım ani bir sıçrayışla yükselerek kaynağın üst sınır değerini aştığı görülmüştür.



Şekil 4.18. Küre-Düzlem elektrot sisteminde  $f=250$  Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan Gerilim-Akım değişimi grafiği

Bu durumda tespit edilen boşalma tutuşma gerilimi *4800 volt* olarak belirlenmiştir. Çekilen akım, kaynak akımının üst sınır değerini aşması ve besleme kaynağının devreyi keserek koruma moduna geçmesi nedeniyle *250 Hz*'lik besleme frekansındaki sönümlenme gerilimi deneysel olarak belirlenememiştir.

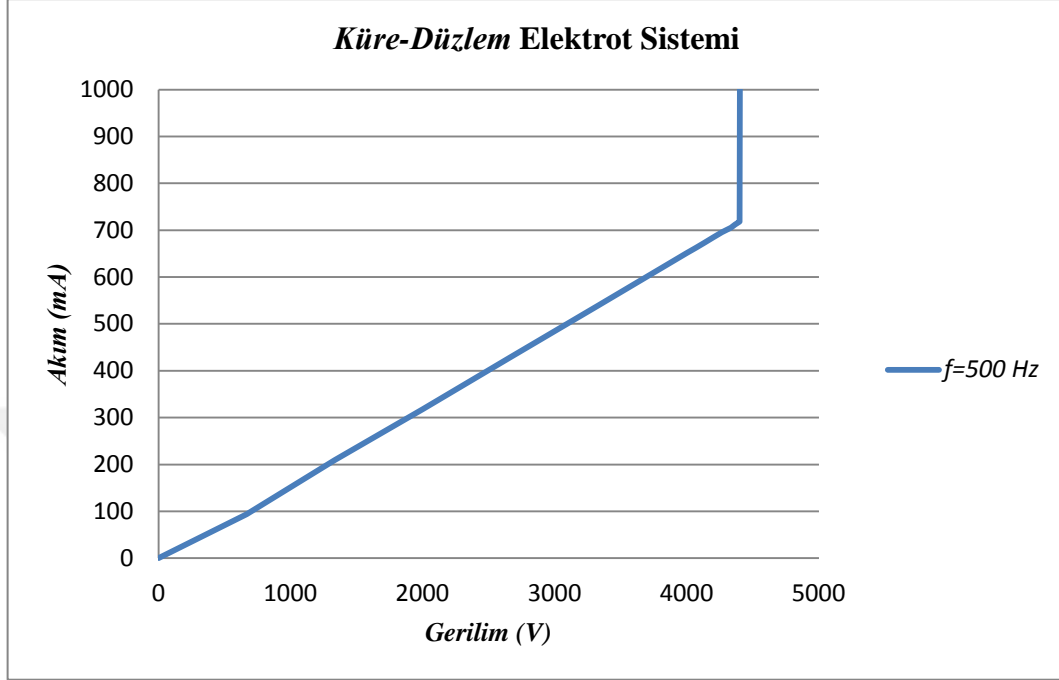
Şekil 4.19'da verilen *Küre-Düzlem* elektrot sisteminin kullanılmasıyla *350 Hz*'lik besleme frekansında elde edilen *Gerilim-Akım* grafiği *0-4766 volt* aralığında yaklaşık olarak Ohm kanununa uygun bir değişim göstermektedir. Ancak *4766 volt*tan sonraki gerilim değerlerinde boşalma tutuştuğu için akım ani bir sıçrayışla yükselerek kaynağın akım üst sınır değerini aştığı görülmüştür. Bu durumda tespit edilen boşalma tutuşma gerilimi *4766 volt* olarak belirlenmiştir. Boşalmanın tutuşmasıyla birlikte çekilen akımın, kaynak akımının üst sınır değerini aşması ve besleme kaynağının devreyi keserek koruma moduna geçmesi nedeniyle sönümlenme gerilimi değeri belirlenememiştir.



Şekil 4.19. *Küre-Düzlem* elektrot sisteminde  $f=350$  Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan *Gerilim-Akım* değişimi grafiği

Şekil 4.20'de verilen *Küre-Düzlem* elektrot sisteminin kullanılmasıyla *500 Hz*'lik besleme frekansındaki *Gerilim-Akım* grafiği *0-4426 volt* aralığında yaklaşık olarak Ohm kanununa uygun bir değişim göstermektedir. Ancak *4426 volt*tan sonraki gerilim

değerlerinde boşalma tuttuğu için akımın, ani bir sıçrayışla yükselerek kaynağın üst sınır değerini aştığı görülmüştür. Bu durumda tespit edilen boşalma tutuşma gerilimi 4426 volt, sönümlenme gerilimi ise 1373 volt olarak belirlenmiştir.

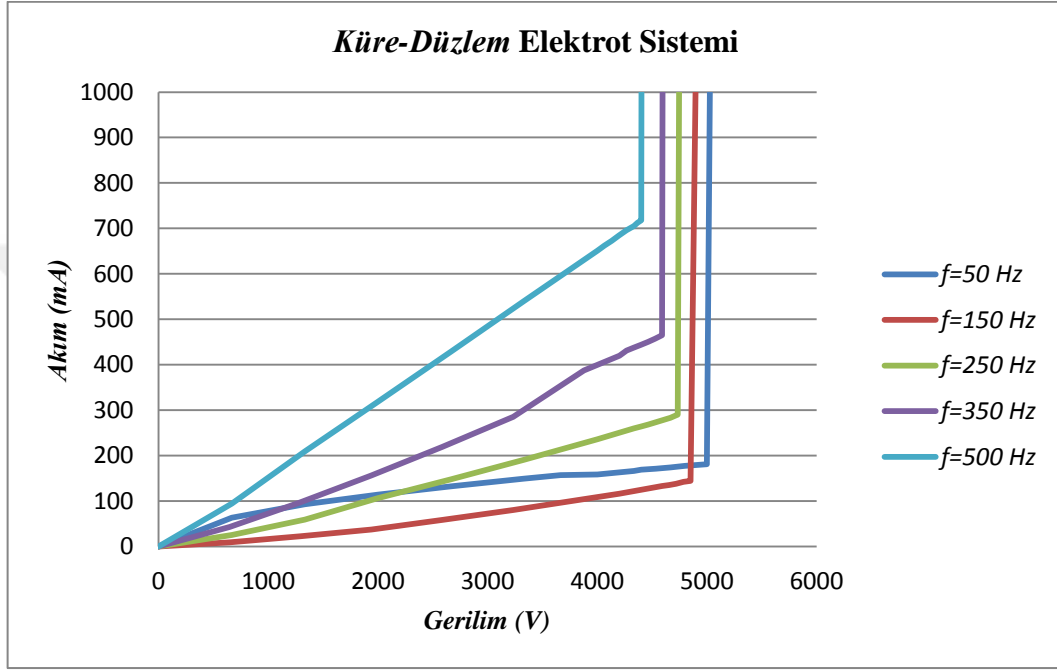


Şekil 4.20. Küre-Düzlem elektrot sisteminde  $f=500$  Hz besleme gerilimi frekansında alınmış olan Gerilim-Akım değişimi grafiği

Korona boşalmalarının bazı parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla *İğne-Düzlem* ve *Küre-Düzlem* elektrot sistemlerinde aynı elektrot açıklığında ve aynı ortam koşullarında bir takım deneysel çalışmalar yapılmıştır. *Küre-Düzlem* elektrot sisteminde ölçülen deney sonuçlarına göre boşalmanın tutuşma ve sönümlenme gerilimleri sınır değerlerinin *İğne-Düzlem* geometrisinde alınmış olan sonuçlara göre daha yüksek değerlerde oldukları görülmüştür. Bu durum, elektrot geometrisinin elektrik alan şiddeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunun ve dolayısıyla elektrik alan şiddetinin ise boşalmanın karakterizasyonu üzerine büyük oranda etkisi olduğunun bir göstergesi olarak yorumlanabilir.

*Küre-Düzlem* elektrot sisteminde deneysel olarak alınmış olan sonuçların karşılaştırılması amacıyla 50, 150, 250, 350 ve 500 Hz'lik besleme gerilimi frekanslarındaki *Gerilim-Akım* grafiklerinin toplu şekildeki gösterimi Şekil 4.21'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere besleme geriliminin frekans değeri arttıkça

korona boşalmasının tutuşma gerilimi sınır değerleri buna ters orantılı olarak düzgün bir azalma göstermiştir. Deneysel çalışmalarda ölçülen sonuçlara göre 50 Hz'lik besleme gerilimi frekansında boşalmanın tutuşma öncesindeki akım değerleri diğer frekans değerlerindeki akımlara nazaran daha yüksek değerlerde çıktığı görülmüştür. Bunun muhtemel nedeni ise 50 Hz frekans değeri için kullanılan besleme kaynağının diğer frekans değerleri için kullanılan besleme kaynağından farklı bir kaynak olmasıdır.



Şekil 4.21. Küre-Düzlem elektrot sisteminde 50, 150, 250, 350 ve 500 Hz besleme gerilimi frekanslarında alınmış olan toplu Gerilim-Akım değişimleri grafiği

Korona boşalmalarının tutuşması ve enerji iletim hatlarında meydana getirdiği kayıplar açısından eğrilik yarıçapı faktörü önemli bir etkiye sahiptir. Sabit elektrot açıklıklarında meydana gelen boşalmalarda elektrik alanının homojenlik derecesi de büyük önem arz etmektedir. Yukarıda belirtilen çalışmalardan ve verilmiş olan deneysel sonuçlardan da görüldüğü üzere, bir İğne-Düzlem elektrot sistemi ile Küre-Düzlem elektrot sisteminin karşılaştırılması sonucunda elektrot uçlarının eğrilik yarıçaplarının etkisi açıkça görülebilmektedir. Eğrilik yarıçapının azalması elektrik alan şiddetinin non-homojenlik derecesini arttırmaktadır. Ayrıca, korona kayıplarının hesaplanması için Peek ve Peterson tarafından önerilmiş olan amprik formüllere göre iletim hatlarında, iletken yarıçapı azaldıkça korona kayıplarının bununla ters orantılı olarak artacağı görülmektedir.

**Tablo 4.2.** *Küre-Düzlem* sistemindeki boşalmanın tutuşma ve sönmleme Gerilim-Akım değerleri

<b><i>Küre-Düzlem</i> elektrot sistemi</b>	<b>50 Hz</b>	<b>150 Hz</b>	<b>250 Hz</b>	<b>350 Hz</b>	<b>500 Hz</b>
$U_{Boşalma}$ (v)	5133,59	5066,92	4800,24	4766,91	4426,89
$U_{Sönümleme}$ (v)	1200,06				1373,40
$I_{Boşalma}$ (mA)	4440	4200	4000	3800	3600
$I_{Sönümleme}$ (mA)					

*Küre-Düzlem* elektrot sisteminde 50, 150, 250, 350 ve 500 Hz'lik besleme gerilimi frekanslarında deneysel olarak ölçülmüş olan korona boşalmalarına ait tutuşma ve sönmleme gerilim ile akım değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir. Tablo 4.2'deki veriler incelendiğinde besleme geriliminin frekans değerleri yükseldikçe boşalmanın tutuşma gerilimi sınır değerleri azalmaktadır. Buna karşılık boşalma sönmleme gerilimi sınır değerleri ise artmıştır. Bu durum korona boşalmalarının tutuşmasındaki frekans etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Akım değerleri incelendiğinde ise frekansın azalmasıyla birlikte boşalmanın tutuşma akım değerleri buna karşılık olarak artmış olduğu görülmektedir. *Küre-Düzlem* elektrot sistemindeki elektrik alan şiddetinin *İğne-Düzlem* geometrisindeki alan şiddetine göre daha düzgün olduğundan, elektrotlar açıklığında meydana gelen boşalmanın tutuşma gerilimi sınır değerleri daha büyüktür. Buna bağlı olarak boşalmanın tutuşma akım değerleri de daha büyük değerlidir. Dolayısıyla, sistemde kullanılan besleme kaynaklarının maksimum güç değerleri göz önüne alındığında, boşalmanın sönmleme akımları sınır değerleri tespit edilememiştir.

Gazlarda elektrik boşalmalarının parametrelerinin tam olarak belirlenebilmesi için çıkış gücü, çıkış akımı ve çıkış gerilimi yüksek olan bir besleme kaynağına ihtiyaç duyulur. Deneysel çalışmaların gerçekçi sonuçlar verebilmesi için elektrot sisteminin geometrisi ve yüzey pürüzlülüğü de önemli bir yere sahiptir. Bu koşulların yanı sıra, nemlilik, sıcaklık, basınç, elektrotlar arası açıklık ve ortamdaki gazın elektriksel özellikleri gibi ortam parametrelerinin de elektriksel boşalmaların tutuşması ve sönmlemesi üzerinde önemli etkileri söz konusudur. Dolayısıyla, deneysel çalışmalar yapılırken elektriksel boşalmaların türüne bağlı olarak ortam koşullarının düzenlenmesi büyük önem arz etmektedir. Sonuç olarak, deneysel çalışmalar sırasında alınan verilerin doğru bir şekilde analiz edilmesi ve yorumlanması, boşalmanın modellenmesi ve doğru bir şekilde karakterize edilmesi açısından önemlidir.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Elektrik enerji verimliliği kavramının büyük öneme sahip olduğu günümüzde, elektrik enerji iletim hatlarında meydana gelen kayıpların azaltılmasına yönelik çalışmalar büyük hız kazanmıştır. Normal koşullarda kayıpların azaltılması açısından bakıldığında, elektrik enerjisi iletim hatlarında gerilimin yüksek; akımın ise düşük olması istenir. Bu durumun temel nedenlerinden birisi de kayıpların azaltılması yoluyla enerji verimliliğinin artırılmasıdır. Elektrik enerjisinin iletim hatlarında yüksek gerilim şeklinde taşınmasının avantajlarının yanı sıra bazı önemli dezavantajları da söz konusudur. Bu dezavantajlardan birisi de hatlarda meydana gelen yüksek gerilim kaynaklı enerji kayıplarıdır. Elektrik enerjisi iletim hatlarında meydana gelen kayıplar çok çeşitli olmakla birlikte, özellikle yüksek gerilim enerji iletim hatlarında meydana gelen kayıpların önemli bir türünü oluşturan korona kayıplarının azaltılmasına yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. Ancak pratik açıdan hatlarda meydana gelen korona kayıplarının tamamen yok edilmesine yönelik henüz kesin bir çözüm bulunamamıştır. Korona kayıplarının kayda değer ölçüde minimize edilmesi açısından büyük önem taşıyan bu çalışmada, Korona boşalmalarının tutuşması ve sönümlenmesinde yüksek frekans etkisinin deneysel olarak incelenmesine yönelik bir takım deneysel çalışmalar yapılmıştır. Özellikle enerji üretim, iletim ve dağıtım hatlarında gerçekleşen devre açma-kapama, kısa devre arızaları, çeşitli sebeplerle oluşan iç ve dış aşırı gerilimlerin etkisi ve enterkonnekte şebekeye anlık olarak devreye giren-çıkan dengeli veya dengesiz yükler sebebiyle hatlar üzerinde oluşan çeşitli frekanslardaki akım-gerilim osilasyonlarının veya harmoniklerin oluşmasına yol açtıkları bilinmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada, şebekelerde oluşan çeşitli (yüksek değerli) frekanslardaki harmonik veya osilasyonların hatlar üzerinde gerçekleşen korona boşalmalarının oluşumu veya sönümlenmesi üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmış ve aşağıda sıralanmış olan bazı önemli sonuçlar elde edilmiştir:

- ❖ Yüksek gerilimli elektrik enerjisi iletim hatlarında meydana gelen korona boşalmalarının tutuşma ve sönümlenme gerilimlerinin hattın besleme gerilimi frekansına önemli ölçüde bağlı olduğu ve frekansın artmasıyla tutuşma geriliminin sınır değerinin azaldığı sonucuna varılmıştır.

- ❖ Boşalmanın tutuşma gerilimi değerlerine karşılık gelen akım değerlerinin iletim hattının besleme frekansıyla doğru orantılı olan bir değişim gösterdiği görülmüştür.
- ❖ Elektrot sistemine besleme geriliminin uygulanmasıyla beraber boşalmanın tutuşma gerilimi sınır değerine kadar olan gerilim değerlerine karşılık gelen akım değerlerinin frekansla birlikte arttığı görülmüştür. Bunun muhtemel nedeni ise; elektrotlar arası açıklığın kapasitif bir özelliğe sahip olduğu ve dolayısıyla elektrot açıklığındaki kapasitif reaktans değerinin frekansla ters orantılı olarak değişmesidir.
- ❖ Deneysel çalışmalar neticesinde elektrotların eğrilik yarıçaplarının korona boşalmasının oluşumunda önemli bir etkisinin olduğu ve eğrilik yarıçapının artmasının korona boşalmasının tutuşmasını zorlaştırıcı yönde bir etki gösterdiği sonucuna varılmıştır.
- ❖ Besleme geriliminin frekansının artmasıyla birlikte hatlarda meydana gelen korona boşalmasından kaynaklanan kayıpları arttırdığı deneysel olarak tespit edilmiştir.

## 5.2. Öneriler

- ❖ Elektrik enerjisi iletim hatlarında meydana gelen yüksek harmonikli frekansların elimine edilmesi için dinamik özellikli filtreler tasarlanabilir.
- ❖ Devre açma-kapama sırasında meydana gelebilen yüksek frekanslı harmoniklerin veya akım osilasyonlarının önlenmesi amacıyla *Aç-Kapa (On/Off)* tipi anahtarlama sistemleri yerine yumuşak yol verici (*Soft-Start*) sistemler geliştirilebilir.
- ❖ Korona boşalmalarının elektrik enerjisi iletim hatlarında meydana getirdiği kayıpların yanı sıra, bu boşalmaların avantaj yönlerinin de ele alınarak çalışılması gereklidir. Özellikle aydınlatma tekniğinde ve endüstrisinde popüler olan ve çalışma prensibi tipik bir korona boşalmasına dayanan deşarj lambalarının kullanımlarının son zamanlarda yaygınlaşmasıyla birlikte bu alandaki çalışmalara daha fazla hız verilmelidir.
- ❖ Enerji iletim hatlarındaki pürüzlülüklerin mümkün olduğunca azaltılmasına yönelik çalışmalara ağırlık verilmelidir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abdel-Salama, M., Muftib, A., 1998. Analysis of corona losses on monopolar dc transmission lines, *Electric Power Systems Research*, Volume 44, Issue 2, February 1998, Pages 145-154.
- Aissou, M., Atsaid, H., Nouri, H., Zebboudj, Y., 2013. Analysis of current density and electric field beneath a bipolar DC wires-to-plane corona discharge in humid air, *The European Physical Journal Applied Physics*, Volume 61, Number 3, March 2013.
- Bal, M., 2010, Yüksek gerilim enerji iletiminde korona kayıpları, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 15.
- 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.
- Chen, L., Bian, X., Wang, L., Guan, Z., 2012. Effect of rain drops on corona discharge in alternating current transmission lines with a corona cage, *Japanese Journal of Applied Physics*, Volume 51, Number 9S2, 20 September 2012.
- Cheng, Y., Li, C., Huang, X., 2008. Study of corona discharge pattern on high voltage transmission lines for inspecting faulty porcelain insulators, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Volume: 23, Issue: 2, April 2008, Pages: 945 – 952.
- 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.
- Fuangpian, P., Zafar, T., Ruankorn, S., Suwanasri, T., 2016. Experimental investigation of the corona discharge in electrical transmission due to ac/dc electric fields, *MATEC Web of Conferences* 50, 01004, 2016, Pages 1-5.
- Hansu, F., 2005, Bariyer boşalmasının gaz-dielektrik ve sıvı-dielektrik sistemlerinin sorbsiyon özellikleri üzerine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 2-10.
- Hansu, F., 2012, Bariyer Boşalmasının Akım Kararsızlıklarının Deneysel ve Nümerik Analizi, *Doktora Tezi*, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- 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.



- 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.
- 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 SF6 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.
- Kasdi, A., Zebboudj, Y., Yala, H., 2007. Calculation and measurement of electric field under HVDC transmission lines, *The European Physical Journal Applied Physics*, Volume 37, Number 3, March 2007, Page(s) 323 – 329
- 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.
- Korzhov, A. V., Okrainskaya, I. S., Sidorov, A. I., Kufel'd, V. D., 2004. A study of electromagnetic radiation of corona discharge near 500-kV electric installations, *Élektricheskie Stantsii*, No. 2, February 2004, pp. 53 – 56.
- Lewis, G. T., Karady, G. G., Sirkis, M. D., 1991, An analysis of the frequency characteristics of corona discharge at low pressure, *Philips Laboratory Directorate Of Advanced Weapons And Survivability Air Force Systems Command Kirtland Air Force Base*, NM 87117-6008, 1991.
- Mamoudi, S. R., Adamiak, K., Castle, G. S. P., 2013. On the corona discharge spreading of dielectric liquid films, *Journal of Electrostatics*, Volume 71, Issue 3, June 2013, Pages 496-498.
- 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.

- Reguig, A., Bendaout, A., Neagoe, B., Prawatya, Y., Dascalescu, L., 2015. *Journal of Electrostatics*, Volume 82, August 2016, Pages 55-62.
- 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.
- Özkaya, M., 1987. Yüksek gerilim tekniği statik elektrik alan ve boşalma olayları cilt 1, *Birsen Yayın Evi*, 1987, s 276-281.
- 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.
- 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.
- 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.
- Tsui, Y., Huang, Y., Lan, C., Wang, C., 2017. A study of heat transfer enhancement via corona discharge by using a plate corona electrode, *Journal of Electrostatics*, Volume 87, June 2017, Pages 1-10.
- Url-1 < <http://www.akimgerilim.com/korona-olayi-nedir/> > [Ziyaret tarihi: 04.11.2017]
- 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.
- Yahaya, E. A., Jacob, T., Nwohu, M., Abubakar, A., 2013. Power loss due to corona on high voltage transmission lines, *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Volume 8, Issue 3 (Nov. - Dec. 2013), PP 14-19.
- Yan, P., Zheng, C., Xiao, G., Xu, X., Gao, X., Luo, Z., Cen, K., 2015. Characteristics of negative DC corona discharge in a wire–plate configuration at high temperatures, *Separation and Purification Technology*, Volume 139, 2 January 2015, Pages 5-13.

- Zebboudj, Y., Hartmann, G., 1999. Current and electric field measurements in coaxial system during the positive DC corona in humid air, *The European Physical Journal Applied Physics (EPJ AP)*, Volume 7, Number 2, August 1999, Page(s) 167 – 176.
- 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 düzelem geometrilerde korona başlangıç voltaj ve elektrik alan analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Ocak 1999



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : İlker ARI  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Kurtalan - 01.01.1989  
**Telefon** : 0484 223 2259  
**E-posta** : ilkerari89@gmail.com

### EĞİTİM

<u>Derece</u>		<u>Bitirme Yılı</u>
Lise	: Atatürk Anadolu Lisesi, SİİRT	2007
Üniversite	: Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, ADANA	2014

### ULUSLARARASI BİLİMSEL TOPLANTILARDA SUNULAN VE BİLDİRİ KİTABINDA BASILAN BİLDİRİLER

Arı, İ., Şahin, M., 2016. Estimation of solar radiation with artificial neural network, *International Conference on Natural Science and Engineering*, Kilis ,447-454

### İŞ DENEYİMLERİ

<u>Yıl</u>	<u>Kurum</u>	<u>Görevi</u>
2014-2016	Siirt DEDAŞ İl Müdürlüğü	Müşteri Teknik Hizmetleri Mühendisi
2016-Devam Ediyor	Siirt DEDAŞ İl Müdürlüğü	Müşteri Teknik Hizmetleri Yöneticisi

**UZMANLIK ALANI:** Güneş Enerjisi, Yenilenebilir Enerji, Yüksek Gerilim

**YABANCI DİLLER:** İngilizce