

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

**ATMOSFERİK NEMİN YÜKSEK GERİLİM HAVA HATLARINDA
GERÇEKLEŞEN KORONA KAYIPLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Rıdvan ÇETİN
(163111011)**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fevzi HANSU

**Ağustos-2018
SİİRT**

TEZ KABUL ve ONAY SAYFASI

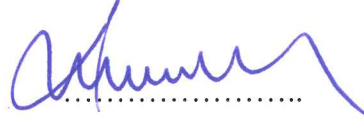
Rıdvan ÇETİN tarafından hazırlanan “Atmosferik Nemin Yüksek Gerilim İletim Hatlarında Gerçekleşen Korona Kayıpları Üzerindeki Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması 29.08.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

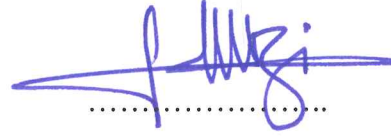
Dr. Öğr. Üyesi Ramazan TEKİN

İmza



Danışman

Doç. Dr. Fevzi HANSU

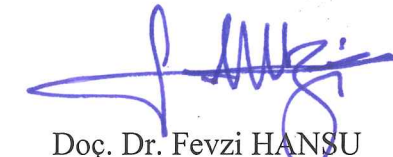


Üye

Dr. Öğr. Üyesi Sabit HOROZ



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Fevzi HANSU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖN SÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösteren, destek ve önerilerini eksik etmeyen, her konuda kendisini örnek aldığım ve kendisiyle çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum değerli danışman hocam Doç. Dr. Fevzi HANSU'ya, tez çalışmamın deneyleri sırasında yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşım Arş. Gör. Murat AKDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca;

Eğitim hayatım boyunca, benim için en iyi şartları sağlayan, daima fedakâr davranan ve bugünlere gelmeme vesile olan anneme ve babama şükranlarımı sunar, tez çalışmamın her aşamasında desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Rıdvan ÇETİN

2018-SİİRT



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Elektriksel Gaz Boşalmaları, İyonizasyon ve Çığ Oluşumu.....	3
1.3. Korona Boşalmaları	6
1.3.1. Korona boşalmalarını etkileyen faktörler	7
1.3.2. Korona boşalmalarının enerji iletim hatları üzerindeki etkisi	8
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	12
2.1. Konuyla İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar	12
2.2. Tezin Güncelliği	21
3. MATERYAL ve METOT	22
3.1. Materyal	22
3.2. Metot	27
4. BULGULAR.....	28
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	36
5.1. Sonuçlar	36
5.2. Öneriler	37
6. KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	43

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: U/U_0 oranına göre F kayıp faktörünün ortalama değerleri..... 11



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1: Bir elektron çığının oluşum süreci	4
Şekil 1. 2. a) Gaz yalıtımlı paralel plakalı kondansatör b) Kondansatöre ait $V-I$ karakteristiği.....	5
Şekil 1. 3: Korona boşalmalarına ait örnek bir <i>Gerilim-Akım</i> grafiği	6
Şekil 1. 4: Peterson formülündeki F katsayısının U/U_0 oranının göre değişim grafiği..	11
Şekil 3. 1: Deneysel çalışmada kullanılan dâhili tip gerilim trafosu	23
Şekil 3. 2: Ayarlanabilir Gerilim Kaynağı	23
Şekil 3. 3: Elektrot sistemi ve reaktör görüntüsü	24
Şekil 3. 4: Ultrasonik soğuk buhar makinesi görüntüsü.....	25
Şekil 3. 5: <i>Trotec BC06</i> nem ve sıcaklık ölçer görüntüsü	25
Şekil 3. 6: Deney sisteminin kumanda ve ölçüm elemanları	26
Şekil 3. 7: Deney sistemine ait genel bir görüntü.....	26
Şekil 4. 1: $d=16\text{ mm}$ için farklı nem ortamlarına ait $V-I$ karakteristiği	28
Şekil 4. 2: $d=36\text{ mm}$ için farklı nem ortamlarına ait $V-I$ karakteristiği	29
Şekil 4. 3: $d=57\text{ mm}$ için farklı nem ortamlarına ait $V-I$ karakteristiği	30
Şekil 4. 4: $d=77,4\text{ mm}$ için farklı nem ortamlarına ait $V-I$ karakteristiği	31
Şekil 4. 5: $d=97\text{ mm}$ için farklı nem ortamlarına ait $V-I$ karakteristiği.....	31
Şekil 4. 6: $d=117\text{ mm}$ için farklı nem ortamlarına ait $V-I$ karakteristiği	32
Şekil 4. 7: % 33 nem oranı için farklı elektrot aralıklarına ait $V-I$ karakteristiği.....	33
Şekil 4. 8: % 50 nem oranı için farklı elektrot aralıklarına ait $V-I$ karakteristiği.....	34
Şekil 4. 9: % 80 nem oranı için farklı elektrot aralıklarına ait $V-I$ karakteristiği.....	34
Şekil 4. 10: % 100 nem oranı için farklı elektrot aralıklarına ait $V-I$ karakteristiği.....	35

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>EEDF</i>	: Electron Energy Distribution Function (Elektron Enerji Dağılım Fonksiyonu)
<i>CO₂</i>	: Carbondioksit (Karbondioksit)
<i>Cu</i>	: Cuprum (Bakır)
<i>Zn</i>	: Zinc (Çinko)
<i>FCT</i>	: Flux-corrected Transport (Akı-düzeltilmeli Taşıma)
<i>FEM</i>	: Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Yöntemi)
<i>RIV</i>	: Radio Interferenece Voltage (Radyo Etkisi (Parazit) Gerilimi)
<i>RMS</i>	: Root Mean Square (Etkin Değer)
<i>YG</i>	: Yüksek Gerilim
<i>TEDAŞ</i>	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
<i>TEİAŞ</i>	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
<i>A</i>	: Atom
<i>A⁺</i>	: Pozitif iyon
<i>A</i>	: İletkenler arası açıklık
<i>cm</i>	: Centimetre (Santimetre)
<i>mm</i>	: Millimeter (Milimetre)
<i>C^o</i>	: Centigrate (Santigrat)
<i>d</i>	: Plakalar arası mesafe
<i>dk</i>	: Dakika
<i>E_k</i>	: Korona elektrik alan şiddeti
<i>E_{mak}</i>	: Demet İletkenli Hatlardaki Maksimum Alan Şiddeti
<i>E₀</i>	: Çarpma ile iyonlaşmanın başladığı gerilime karşılık gelen elektrik Alan şiddeti
<i>e⁻</i>	: Elektron
<i>e^{α.d}</i>	: Elektron çığı
<i>ε</i>	: Elektronun yol boyunca kazandığı enerji

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
f	: Frekans
Hz	: Hertz
I	: Akım değeri
I_o	: Doyma akımı
KHz	: Kiloherz
Km	: Kilometer (Kilometre)
kV	: Kilovolt
MHz	: Megahertz
m	: Hattın pürüzlülük katsayısı
ml	: Mililiter (Mililitre)
n	: Darbe sayısı
p	: Ortam basıncı
P_K	: Üç faza ait korona kaybı
P_{fK}	: Bir faza ait korona kaybı
R_K	: Tekil hat için korona radyasyon direnci
r	: İletkenin yarıçapı
T	: Ortam sıcaklığı
U	: Fazlar arası gerilim
U_d	: Delinme gerilimi
U_f	: Faz-Nötr gerilimi
U_{fo}	: Çarpma suretiyle iyonizasyonun başladığı faz-Nötr gerilimi
U_k	: Korona gerilimi
U_0	: Çarpma suretiyle iyonizasyonun başladığı gerilim
V	: Volt
VA	: Voltampmer
V_b	: İyonizasyon için gerekli enerji
q_{ort}	: Ortalama büyüklük
q_{max}	: Maksimum büyüklük
δ	: Bağlı hava yoğunluğu
a	: Towsend'ın birinci iyonlaştırma katsayısı
Ω	: Ohm

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rıdvan ÇETİN

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

Danışman: Doç. Dr. Fevzi HANSU

2018, 43+x Sayfa

Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç nedeniyle araştırmacılar bir yandan yeni enerji kaynaklarını keşfetmeye çalışırken; öte yandan da mevcut olan enerji sistemlerinin kayıplarını yok etmeye yönelik çalışmalar yapmaktadırlar. Elektrik enerji verimliliği kavramı açısından büyük öneme sahip olan ve elektrik enerjisi iletim hatlarında meydana gelen yüksek gerilim kaynaklı korona kayıplarının azaltılmasına yönelik çalışmalar hâlâ güncelliğini korumaktadır. Dolayısıyla, korona kayıplarının azaltılmasına yönelik yapılan bu çalışmada, korona boşalmalarının tutuşması ve sönümlenmesinde atmosferik nem etkisinin deneysel olarak incelenmesine yönelik bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Özellikle yüksek gerilim enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde kullanılan izolatör ve direklerin boyutlandırılmasında önemli katkılar sağlayacağı düşünülen bu çalışmada, atmosferik nemin enerji iletim hatlarındaki elektriksel kayıplar üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmış ve çalışma sonucunda atmosferik nemin yüksek gerilimli elektrik enerjisi iletim hatlarında meydana gelen korona boşalmalarının tutuşma ve sönümlenme gerilimlerinin sınır değerleri üzerinde kayda değer bir etkisinin olduğu; boşalmanın tutuşma gerilimi değerlerine karşılık gelen akım değerlerinin ortamdaki nem oranıyla doğru orantılı olan fakat non-lineer bir değişim gösterdiği ve ayrıca, nem oranının artırılmasının etkisinin özellikle geniş elektrot açıklarında daha belirgin olarak ortaya çıktığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atmosferik nem, Enerji verimliliği, Korona kayıpları, Yüksek gerilim.

ABSTRACT

MSc. THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EFFECT OF ATMOSPHERIC HUMIDITY ON CORONA LOSSES OCCURED IN HIGH VOLTAGE TRANSMISSION LINES.

Rıdvan ÇETİN

**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, 43+x Pages

Today, due to the need for energy, researchers are trying to discover new energy sources on the one hand; on the other hand they are trying to minimize the losses of existing energy systems. Efforts to reduce high voltage source corona losses, which have great importance in terms of the concept of electric energy efficiency and occur in electric power transmission lines, are still being updated. Therefore, in this study aimed at reducing corona losses, some studies have been carried out to experimentally investigate the effect of atmospheric humidity on the ignition and damping voltages of corona discharges. The effects on the electrical losses in the atmospheric energy transmission lines have been experimentally investigated in this study which is thought to provide important contributions especially in the dimensioning of insulators and poles used in high voltage energy transmission and distribution systems. As a result of the study, it was observed that atmospheric humidity have a significant effect on the limit values of the ignition and damping voltages of the corona discharges that occur at the high voltage electrical energy transmission lines. And also, it has been observed that the current values of the discharge are directly proportional to the humidity ratio of the medium but show a non-linear change and also the effect of increasing the humidity ratio is more evident especially at wide electrode distances.

Keywords: Atmospheric humidity, Energy efficiency, Korona losses, High voltage.

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Günümüzde artan nüfus, sanayileşme ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak elektrik enerjisine olan ihtiyaç sürekli artmaktadır. Elektrik enerjisine olan talebin her geçen gün daha da artması, insanoğlunu bir yönden yeni enerji kaynaklarını keşfetmeye sürüklerken; diğer yönden ise elektrik enerjisi sistemlerinde meydana gelen kayıp-kaçak oranlarını düşürmeye doğru sevk etmektedir. Yeni Enerji kaynaklarının keşfinin kolay olmaması ve günümüzde çok sınırlı olması nedeniyle artan enerji talebini karşılama arzusu, araştırmacıları mevcut enerji kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılmasının yollarını aramaya yöneltmiştir. Mevcut üretim kaynaklarında üretilen elektrik enerjisinin uzak mesafelere iletimi, beraberinde bir takım sorunları meydana getirdiği bilinmektedir. Tüm bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda, enerji verimliliği kavramı güncel bir problem olarak ön plana çıkmaktadır. Enerji verimliliği kavramı özetle, var olan enerji kaynaklarının doğru bir şekilde kullanılması ya da enerji üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen enerji kayıplarının mümkün olduğunca azaltılması ya da tamamen yok edilmesi olarak tanımlanabilir. Enerji kayıplarının fazla olması, enerji üretim santrallerinin aşırı yüklenmesine ve bu yüklenmenin meydana getireceği arızalar ve tahribatlar nedeniyle ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Dolayısıyla, enerji verimliliği açısından büyük öneme sahip olan bu kayıpların azaltılmasına veya yok edilmesine yönelik çalışmalar günümüzde araştırmacıların büyük dikkatini çekmektedir.

Enerji kayıpları, üretilen enerji ile tüketilen enerji arasındaki fark olarak adlandırılır ve bu kayıplar: Teknik kayıplar ve teknik olmayan kayıplar diye iki ana başlık altında toplanabilir. Teknik kayıplar olarak adlandırılan elektriksel kayıplar; hat kayıpları ve trafo kayıpları olup şebekeden akan akımla doğrudan ilişkili olan kayıplardır. Hat kayıpları bakır kaybı, iletkenler arası dielektrik kayıplar ve indüksiyon/radyasyon kayıplarından meydana gelirken; trafo kayıpları ise, trafonun iç sargılarından kaynaklanan bakır kayıpları ve nüve kayıplarından meydana gelir (Davidson ve ark., 2002). Genel olarak bu tür teknik kayıplara sebep olarak, harmonik bozulmalar, tüketici tarafından yapılan yanlış topraklama işlemleri, uzun mesafeli tek fazlı hatlar, dengesiz ve aşırı yüklenme, düşük gerilim seviyeleri ile kötü standartlara

sahip ekipmanların kullanımı gösterilebilir (Navani ve ark., 2012). Teknik olmayan kayıplar ise daha çok dağıtım şebekelerinde görülmekle birlikte, kaçak hat bağlantısı, ölçüm hataları, yanlış sayaç okuma gibi sebeplerden dolayı meydana gelir (Davidson ve ark., 2002).

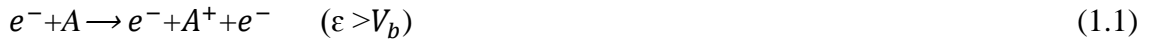
Elektrik enerjisi iletim hatlarında meydana gelen kayıplardan önemli bir türü de korona kayıplarıdır (Kumar, 2013). Genel olarak, elektrik enerjisi iletim hatlarında meydana gelen elektriksel kayıpları azaltmak amacıyla, iletim hatları üzerindeki gerilimin yüksek; akımın ise düşük olması istenir. Buna karşın, gerilimin aşırı derecede yükseltilmesi ise korona kayıplarını artırır. Dolayısıyla enerji verimliliği açısından bu dengenin iyi bir şekilde sağlanması gerekir. Bu durum, beraberinde yüksek gerilim hatlarında gerçekleşen korona boşalmalarına olan ilgiyi de önemli oranda arttırmaktadır. Korona boşalmalarının meydana getirdiği enerji kayıpları, iletim hatlarının tasarımında önemli bir parametre olarak değerlendirilir. İletim hatlarının tasarımı yapılırken bu tür enerji kayıpları, tasarımcılar açısından önemli bir faktör olarak görülmektedir (Phan-Cong ve ark., 1974). Korona boşalmalarının iletim hatlarında meydana getirdiği enerji kayıpları gibi dezavantajlarının yanı sıra, iyon-elektron teknolojisinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olan avantajlı yönleri de söz konusudur. Bu alanlara ozonatorlar, suyun filtrasyonu ve baca gazlarının temizlenmesi gibi uygulamalar örnek olarak gösterilebilir (Hansu 2005).

Yüksek gerilim (*YG*) değerlerine sahip enerjinin iletimi daha çok havai hatlarla gerçekleştirilmektedir. Hatlarla enerji iletiminde gerilim değerinin belirli bir değerden daha fazla artırılması, hatlarda bazı yalıtım problemlerine de yol açmaktadır. Enerji iletim sistemlerinde hat-hat arası, hat direk arası veya hat-toprak arası yalıtım işlemi hava ile sağlanmaktadır. Yalıtım için kullanılan diğer gaz türlerine oranla havanın delinme dayanımı için gerekli olan elektrik alan şiddetinin küçük olması, beraberinde iletkenlerin etrafında meydana gelen iyonlaşmanın daha kolay bir şekilde gerçekleşmesine neden olmakta ve bu da elektriksel boşalmaları önemli ölçüde tetiklemektedir. Bu elektriksel boşalmalar bir iletkenin diğer bir iletkene ya da iletkenin toprağa akamayacağı için kısmi boşalma şeklinde gerçekleşir. Tam olarak gerçekleşmeyen fakat kendi kendini besleyen bu tür kısmi boşalmalara korona boşalmaları denir (Yıldırım, 2003). İletim hatlarında enerji kaybı olarak karşımıza çıkan

korona oluşumunun analiz edilebilmesi için elektriksel gaz boşalma sürecinin iyi bir şekilde anlaşılması gerekmektedir. Bunun temel gerekçesi ise, boşalmanın iletkenler etrafındaki bir gaz ortamında (hava ortamında) gerçekleşmesidir.

1.2. Elektriksel Gaz Boşalmaları, İyonizasyon ve Çığ Oluşumu

Yalıtkan gaz ortamına yerleştirilmiş olan bir elektrot sistemindeki elektrotlara uygulanan gerilim değerinin belirli bir kritik değeri aşmasıyla birlikte gaz içindeki serbest elektronlar hareketlenmeye başlar. Elektronlar, kazandıkları enerji ile anoda doğru ilerlerken gaz ortamında bulunan atom veya moleküllerle çarpışarak iyonlaşmaya neden olurlar (Yıldırım ve Kalenderli, 2005). Bir gaz molekülünden bir elektron serbest kalırken aynı anda bir pozitif iyon oluşturması olayına iyonizasyon denir. İyonizasyon türlerinden biri olan çarpışma suretiyle iyonizasyon sürecinde, serbest haldeki bir elektron nötr bir gaz molekülü ile çarpıştığında ortamda yeni bir elektron ve pozitif iyon oluşur. Katottan ayrılan elektronun yol boyunca sahip olduğu enerji, bir elektronu atomun kabuğundan ayırmak için gerekli olan bağlanma enerjisini aşarsa iyonlaşma olayı gerçekleşmiş olur. Bu süreç aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Naidu ve Kamaraju, 1995).



ε : Elektronun yol boyunca kazandığı enerji

V_b : İyonizasyon için gerekli enerji

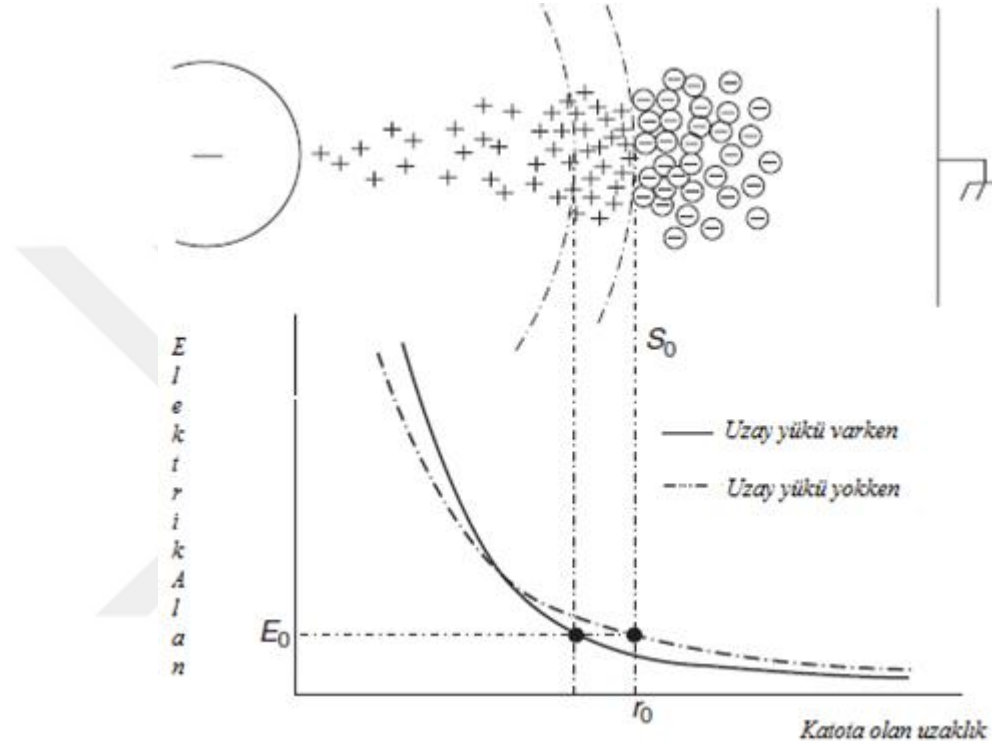
A: Atom

e^{-} : Elektron

A^{+} : Pozitif iyon

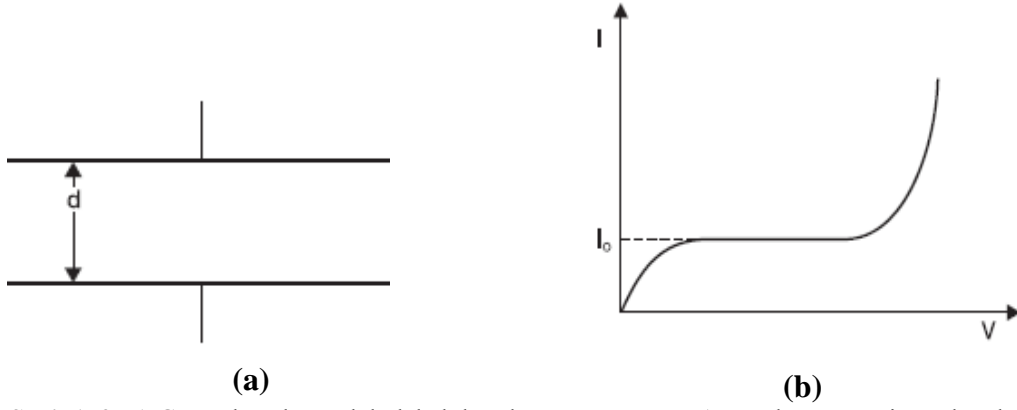
Katottan ayrılan bir elektron, anot ucuna doğru ilerlerken yol boyunca diğer atom veya moleküllerle çarpışır. Bu çarpışmalarda meydana gelen iyonlaşmalarda yeni elektronlar oluşur. Katottan ayrılan elektron ve yol boyunca iyonlaşma ile birlikte oluşan elektronlar birleşerek bir elektron çığı meydana getirirler. Meydana gelen bu çığ anoda ulaşıktan sonra elektrotlar arasında geriye sadece uzay hacim yükleri (pozitif iyonlar) kalır. Çığ içerisinde bulunan elektron sayısının belirli bir kritik seviyeyi aşmasıyla birlikte kısmi boşalma yani korona boşalması oluşmaya başlar. Tam bu

noktada elektrot sistemine uygulanan gerilim değerine korona başlangıç gerilim denir. Bu noktadan itibaren gerilim belirli kademelerle arttırıldığında, gaz yalıtkan özelliğini kaybedip iletken hale geçer ve ortamda bir delinme olayı gerçekleşir. Bu noktaya karşılık gelen gerilim değerine ise delinme gerilimi değeri denir (Yıldırım ve Kalenderli, 2005). Şekil 1.1'de bir elektron çığına ait oluşum süreci gösterilmiştir (Trinh, 1995):



Şekil 1.1: Bir elektron çığının oluşum süreci

Townsend boşalma teorisine göre, paralel plakalı bir kondansatörde gerilim arttıkça akım I_0 değerine kadar gerilimle orantılı olarak artarken, belli bir gerilim aralığında bu değer sabit kalıp daha sonra üstel bir şekilde artar. Bu duruma ait kondansatör şeması ve akım-gerilim ilişkisi sırasıyla, Şekil 1.2 a ve b'de verilmiştir. Şekil 1.2 b'den görüldüğü gibi akım, belli bir gerilim değerinden sonra üstel bir şekilde artmıştır. Bunun sebebi, plakalar arasındaki elektron çarpışmalarının meydana getirdiği gazın iyonizasyonudur (Wadhwa, 2007). Gazın iyonizasyonunun başlayabilmesi için gerekli ön koşul, dış elektrik alanının belirli bir kritik değere kadar arttırılmasıdır. İyonizasyon olayının gelişerek daha da artması sonucunda ise gaz ortamında elektriksel bir delinme olayı gerçekleşir.



Şekil 1. 2: a) Gaz yalıtımlı paralel plakalı kondansatör

b) Kondansatöre ait $V-I$ karakteristiği

Boşalmanın *Gerilim-Akım* karakteristiğinde akımın üstel artışı, Townsend tarafından Townsend'in birinci iyonlaştırma katsayısı olarak adlandırılıp α olarak gösterilir. Şekil 1.2'ye ait *Gerilim-Akım* ilişkisi aşağıdaki gibi ifade edilir (Wadhwa, 2007).

$$I = I_0 \cdot e^{\alpha \cdot d} \quad (1.2)$$

I : Akım değeri

I_0 : Doyma akımı

α : Townsend'in birinci iyonlaştırma katsayısı

d : Plakalar arası mesafe

$e^{\alpha \cdot d}$: Elektron çığını ifade eder (Wadhwa, 2007).

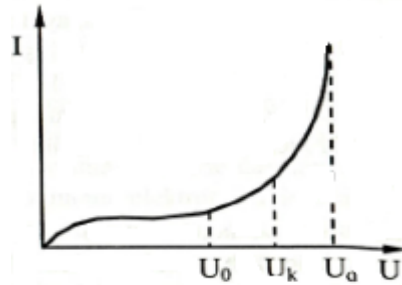
Gerilimin belli bir değeri aşmasıyla birlikte hat ışıklı duruma gelir ve boşalma kendi kendini besler konuma gelir. Oysaki Denklem 1.2'ye bakıldığında dış etkinin ortadan kalkmasıyla birlikte ($I_0 = 0$) akım da ($I = 0$) sifıra gideceğinden dolayı boşalmanın kendi kendini besleyemediği görülmektedir. Katottan çıkan elektronun anoda varıncaya kadar kendisi için yedek bir elektron oluşturmasıyla birlikte boşalma sürdürülebilir (kendi kendini besleyen) hale gelebilir. Bu yüzden elektron çığı oluşurken meydana gelen pozitif iyonları da dikkate almak gerekir. Katottan çıkan bir elektron anoda ulaşıncaya kadar $e^{\alpha \cdot d} - 1$ tane pozitif iyon, $e^{\alpha \cdot d}$ tane de elektron oluşturur. Pozitif bir iyon tarafından katottan koparılan elektron sayısı Townsend'in ikinci iyonlaştırma katsayısı olarak adlandırılıp γ ile gösterilir. Dolayısıyla elektron çığının oluşturduğu $e^{\alpha \cdot d} - 1$ tane pozitif iyon, katottan $\gamma(e^{\alpha \cdot d} - 1)$ tane elektron koparır (Özkaya, 2008).

$$Y(e^{\alpha.d}-1)=1 \quad (1.3)$$

olması durumunda katottan çıkan elektron kendisi için artık yedek bir elektron oluşturmuş olacağından dolayı boşalma kendi kendini besler duruma gelecektir (Özkaya, 2008).

1.3. Korona Boşalmaları

Bir iletim hattının iletkenlerine ya da eş merkezli silindirler arasında gerilim kademeli olarak artan bir şekilde uygulandığında (Peek, 1915) çarpma suretiyle iyonizasyon olayı gerçekleşir. Bu gerilim değerinde boşalma için gerekli koşullar sağlanmış olmasına rağmen başlangıçta ışık görülmez (Özkaya, 2008). Fakat gerilim değerinin biraz daha artmasıyla birlikte tıslama sesi duyulur ve iletkenlerin etrafını saran taç şeklinde bir mor ışık tabakası görülmeye başlar. Bu olaya korona olayı, boşalmanın bu andaki değerine de korona başlangıç gerilimi denir (Peek, 1915). Bu gerilim değerinden sonra hat kendi kendini besler durumdadır. Korona boşalmasına ait örnek bir *Gerilim-Akım* grafiği Şekil 1.3'te verilmiştir. Şekilde verilen *Gerilim-Akım* grafiğinde (Özkaya, 2008);



Şekil 1.3: Korona boşalmalarına ait örnek bir *Gerilim-Akım* grafiği

U_0 : Çarpma suretiyle iyonizasyonun gerçekleştiği gerilimi,

U_k : Korona Gerilimini,

U_d : Delinme Gerilimini ifade eder.

Korona boşalmaları, küçük yarıçaplı iletkenler ve elektrotların keskin kenarlarında elektrik alan yoğunluğunun fazla olmasından dolayı, bu noktalarda sıklıkla gözlenmektedir. Taç ismi ile de anılan korona boşalmaları, uygulanan gerilimin

parametresi ve kullanılan elektrotun geometrik yapısına bağı olarak farklı formlarda gözlemlenebilir (Atten ve Castellanos, 1995). Genel olarak bakıldığında, koronanın gerçekleşmesi için elektrik alanın nonhomojen bir yapıda olması, elektrik alan şiddetinin boşalma için gerekli kritik değeri aşması ve ortamda serbest elektronların bulunması gereklidir (Trinh ve Jordan, 1968).

1.3.1. Korona boşalmalarını etkileyen faktörler

İletim hatlarında birçok sebepten dolayı kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıplardan biri de iletkenlerin etrafında bulunan havanın iyonize olmasıyla gerçekleşen korona kayıplarıdır. Bu kayıpların oluşmasını sağlayan faktörlerin bilinmesi, söz konusu kayıpların önlenmesi noktasında büyük önem taşımaktadır (Güneş, 2003).

Korona boşalmalarını etkileyen birçok faktör mevcuttur. Bu faktörlerden bir tanesi de uygulanan gerilimin değeridir. İletkene uygulanan gerilim değerinin artmasıyla birlikte iletkenin yüzeyindeki elektrik alanını arttıracığından dolayı, korona oluşum olasılığı artacaktır. Bir diğer etken ise, iletim sisteminde kullanılan iletkenin tipidir. İletken tipi olarak faz başına bir ya da birden çok iletken kullanma işlemi, iletken etrafında elektrik alan yoğunluğunu etkileyecektir. Faz başına birden çok iletkenin meydana gelen demet iletkenler kullanmak yerine faz başına tek bir iletkenin kullanılması iletkenin yüzeyinde elektrik alan yoğunluğunu arttıracığından dolayı korona kayıpları da artacaktır (Dawood ve Narejo, 2015). Korona boşalmalarını etkileyen bir diğer faktör ise iletkenler arası mesafedir. Korona kayıpları iletkenler arası mesafe ile ters orantılıdır. Hatlar arası mesafe azaldıkça korona kayıpları artacaktır (Yahaya ve ark., 2013).

İletim hatlarında yüzey pürüzlülüğü korona boşalmalarını etkileyen bir diğer faktördür. İletim hatları üzerinde düzensizlikler yüzeyin pürüzlülük faktörünü azaltacağından dolayı korona eşik gerilim değerini de azaltırlar. İletim hatlarının yüzeyindeki örümcek ağları ve kuş pislikleri gibi etmenler, bir diğer korona oluşum sebebi olarak gösterilebilir (Gomber ve ark., 1982). Bunlarla birlikte kaynak geriliminin frekansı da korona boşalmalarını etkilemektedir. Frekans korona kayıpları ile doğru orantılıdır. Frekansın artmasıyla birlikte korona kayıpları da artar (Vincent ve ark., 2017).

Kar yağışı, şiddetli yağmur ve yoğun sis gibi atmosferik koşullar, iletken etrafında meydana gelen korona boşalmalarını önemli derecede arttırarak kayıpların artmasına sebep olmaktadır (Phan ve ark., 1974). Korona boşalmalarını etkileyen atmosferik faktörlerden biri de bağıl nemdir (Özkaya, 2008). Nem, içerisinde çok küçük su partiküllerini bulundurmaktadır. Dolayısıyla nem artışı bulunduğu ortamda su moleküllerinin sayısının artmasına neden olur. Ortamda bulunan su moleküllerinin miktarı gaz molekülleri, iyonlar ve elektronların hareket kabiliyeti için önemli bir parametredir. Havadaki nemden dolayı oluşan buhar moleküllerinin elektronegatiflik özelliklerinden dolayı boşalma sırasındaki iyonların hareketine olan etkisi göz önüne alındığında nemin boşalma süreci üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir (Jiang ve ark., 2008).

1.3.2. Korona boşalmalarının enerji iletim hatları üzerindeki etkisi

Korona boşalmaları iletim hatlarında meydana getirdikleri enerji kayıplarının yanı sıra işitilebilir düzeyde gürültüye, radyo ve televizyon parazitlerine (Yellaiah ve Gunasekaran B., 2010) ve ozon oluşumuna neden olurlar (Sharma 2012).

Gerilim değerlerinin yüksek olması, beraberinde gürültü akımlarını getirir. Ortam neminin artışı gibi olumsuz koşullar altında, bu gürültü akımlarında büyük ölçüde artış meydana gelir (Das-Gupta, 1992). Yüksek gerilim hatlarında korona oluşurken iletken etrafında duyulabilir düzeyde bir ses oluşur. Bu ses düşük frekans bandından başlanarak 20 *KHz* aralığına kadar uzanan bir frekans bandına sahiptir. Ayrıca iletkenler etrafında oluşan korona boşalmaları 0.5 *MHz* ile 1.6 *MHz* bandındaki radyo yayımlarında parazite neden olurlar. Benzer şekilde korona boşalmaları haberleşme sistemlerindeki 30-500 *KHz* bandındaki sinyallerde parazite neden olurlar (Sharma 2012). Kullanılan iletkenin çapı ve yüzeyi bu parazit oluşumlarının üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Anumaka, 2012). Korona boşalmaları işitilebilir düzeydeki gürültülere ve radyo parazitlerine ek olarak hava da bulunan iyonların doğal dengesini bozan uzay hacim yüklerini oluştururlar. Bunun da hem biyolojik hem de çevresel etkileri söz konusu olabilir (Aissou ve ark., 2015).

İzolator yüzeyleri kuru iken çok az da olsa yüzeyde kapasitif bir akım meydana gelir. Ancak havai hattın endüstri bölgelerine ya da tuzluluk oranının yüksek olduğu

yerlerin yakınından geçmesiyle birlikte havadaki kül ve toz gibi parçacıklar izolatör yüzeylerinde birikirler. Daha sonra yağmur, çığlenme ya da nem gibi içerisinde su partikülleri bulunduran koşullar gerçekleştiğinde, izolatör yüzeylerindeki bu kir tabakası su partikülleri ile birleşerek iletken hale geçer ve izolatör yüzeyinde kaçak omik akımların akmasına neden olur. Bu da izolatör yüzeyinde elektrik alanın non-homojen bir şekilde dağılmasına (bozulmasına) neden olur (İzgi, 2006).

Elektrik iletim hatlarında gerçekleşen korona kayıplarının hesaplanmasında deneye dayalı formüller kullanılmaktadır. Bu formüllerden en çok kullanılanlar Peek ve Peterson formülleridir. Kayıpların hesaplamasına ilişkin formüller aşağıda verilmiştir. Korona gerilimi; kullanılan iletkenlerin yarıçapına (r), iletkenler arası açıklığa (a), bağıl havanın yoğunluğuna (δ) ve hatların pürüzlülüğüne (m) bağlıdır. Peek'e göre Korona Gerilimi;

$$U_k = U_0 \cdot m \cdot \delta \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{r \cdot \delta}} \right) \quad (1.4)$$

şeklindedir. Burada U_0 : Çarpma suretiyle iyonizasyonun başladığı gerilim; δ : Bağıl hava yoğunluğu; r : İletkenin yarıçapıdır. Bağıl Hava Yoğunluğu;

$$\delta = 0,392 \cdot \frac{P}{T} \quad (1.5)$$

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

$$E_k = E_0 \cdot m \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{r \cdot \delta}} \right) \quad (1.6)$$

bağıntısıyla elde edilir. Burada E_0 ; Çarpma suretiyle iyonizasyonun başladığı gerilime karşılık gelen alan şiddetidir (ve değeri yaklaşık olarak 30 kV/cm ya da $21,213 \text{ kVeff/cm}$ 'dir). Demet iletkenli hatlarda meydana gelen maksimum elektrik alan şiddeti (E_{mak}) aşağıdaki formülle elde edilir:

$$E_{mak} = \frac{U}{n \cdot r \cdot \ln \frac{a}{R_e}} \cdot \left(1 + A \cdot \frac{2 \cdot r}{d} \right)^n \quad (1.7)$$

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

$$P_{fK} = \frac{(U_f - U_{f0})^2}{R_K} \quad (1.8)$$

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

$$P_K = 3 \cdot P_{fk} = 3 \cdot \frac{(U_f - U_{f0})^2}{R_K} \quad (1.9)$$

Burada P_K ; Üç faza ait korona kaybı (kW/km -faz), P_{fk} ; Bir faza ait korona kaybı, U_f ; Faz-Nötr gerilimi (kV), U_{f0} ; Çarpma suretiyle iyonizasyonun başladığı faz-Nötr gerilimi (kV) ve R_K ise tekil hat için korona radyasyon direncini ifade eder.

Peek formülü adı verilen bu formülde R_K tekil hat için korona radyasyon direncine ait değerdir ve bu değer aşağıda verilen bağıntı yardımıyla elde edilir:

$$R_K = \frac{\delta}{241} \cdot \frac{1}{f+25} \cdot \sqrt{\frac{a}{r}} \cdot 10^5 [k\Omega/km, faz] \quad (1.10)$$

burada R_K 'nin de hesaba katılmasıyla birlikte korona kaybı bağıntısı;

$$P_K = \frac{241}{\delta} \cdot (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{a}} \cdot (U - U_0)^2 \cdot 10^{-5} [kw/km] \quad (1.11)$$

halini alır. Burada f ; Frekans (Hz), U ; Fazlar arası gerilim (kV)'i ifade eder. Bu kayıp km başına meydana gelen kayıp olup, Hat boyunca meydana gelen toplam kayıp;

$$P_T = P_K \cdot l \quad (kW) \quad (1.12)$$

km başına meydana gelen kaybın toplam hat uzunluğuna çarpılmasıyla elde edilir. (Özkaya, 2008).

Faz-nötr geriliminin, çarpma suretiyle iyonizasyonun başladığı gerilim değerine oranının 1.8' den büyük olduğu değerlerde Peek formülü kullanılırken; buna karşılık bu değer 1.8'den küçük olduğu değerlerde Peterson kayıp formülü kullanılır (Tonmitr ve Ratanabuntha 2016).

$$U_0 = \sqrt{3} \cdot E_0 \cdot m \cdot \delta^{2/3} \cdot r \cdot \ln \frac{a}{r} \quad (1.13)$$

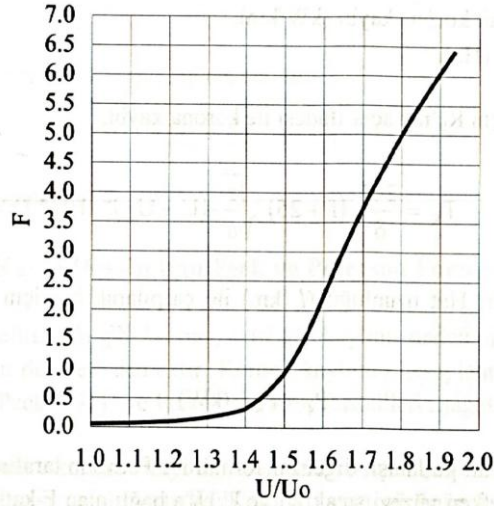
Peterson formülüne göre iletim hatlarında meydana gelen korona kaybı;

$$P_k = F \cdot \frac{2,1 \cdot 10^{-5} \cdot f \cdot U^2}{(\log \frac{a}{r})^2} [kw/km] \quad (1.14)$$

bağıntısı ile elde edilir. Bu kayıp km başına meydana gelen kayıp olup hat boyunca meydana gelen toplam kayıp ise;

$$P_T = P_K \cdot l \quad (kW) \quad (1.15)$$

km başına meydana gelen kayıbın hat uzunluğuna çarpılmasıyla elde edilir. Formülde kullanılan F katsayısının U/U_0 oranına göre değişim grafiği Şekil 1.4'te verilmiştir (Özkaya, 2008):



Şekil 1. 4: Peterson formülündeki F katsayısının U/U_0 oranının göre değişim grafiği

Şekil 1.4'te verilen U/U_0 oranına göre değişen F faktörünün ortalama değerleri

Tablo 1.1'de verilmiştir (Bal, 2010).

Tablo 1. 1: U/U_0 oranına göre F kayıp faktörünün ortalama değerleri

U/U0	F	U/U0	F	U/U0	F	U/U0	F
1	0,037	1,26	0,12	1,52	1,1	1,78	4,72
1,02	0,039	1,28	0,136	1,54	1,33	1,8	4,95
1,04	0,042	1,3	0,154	1,56	1,59	1,82	5,17
1,06	0,045	1,32	0,176	1,58	1,88	1,84	5,39
1,08	0,048	1,34	0,2	1,6	2,2	1,86	5,6
1,1	0,052	1,36	0,228	1,62	2,52	1,88	5,81
1,12	0,057	1,38	0,26	1,64	2,83	1,9	6,01
1,14	0,063	1,4	0,3	1,66	3,13	1,92	6,21
1,16	0,069	1,42	0,38	1,68	3,42	1,94	6,41
1,18	0,075	1,44	0,48	1,7	3,7	1,96	6,61
1,2	0,082	1,46	0,6	1,72	3,97	1,98	6,81
1,22	0,092	1,48	0,74	1,74	4,23	2	7
1,24	0,105	1,5	0,9	1,76	4,48		

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Konuyla İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar

Korona boşalmalarına yönelik çalışmalar gün geçtikçe daha da çeşitlilik kazanmaktadır. Bir taraftan enerji iletim hatlarında gerçekleşen korona kayıplarına yönelik çalışmalar yapılırken; diğer taraftan ise korona boşalmalarının her geçen gün farklı bir endüstriyel alana uygulanarak önemli sonuçlar elde edilmektedir. Enerji verimliliği açısından bakıldığında, korona kayıplarının iletim hatlarında kayda değer bir enerji kaybına yol açtığı söylenebilir. Bu kayıpları önlemek amacıyla literatürde çok çeşitli çalışmalara rastlamak mümkündür fakat söz konusu kayıpları tamamen yok edecek bir yöntem hâlâ bulunmuş değildir. Yüksek gerilim sistemlerinde gerçekleşen korona boşalmaları ile atmosferik nem koşulları arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla literatürde daha önce yapılmış olan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Taplamacıoğlu ve Hıdaka tarafından 2000 yılında yapılan çalışmada bağıl nem ve hava yoğunluğunun bazı korona deşarj parametreleri üzerine olan etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmada koaksiyel elektrot sisteminin yerleştirildiği bir reaktör kullanılmış ve bu reaktör içerisindeki hava yoğunluğu ve nem istenilen değerlerde kontrol altında tutulmuştur. Bu parametreler farklı tel çapları içinde incelenmiş olup dış silindirdeki akım yoğunluğu ve elektrik alan gibi ölçümler için lineer bir elektrik alan probu kullanılmıştır. Ayrıca elektrik alan yoğunluğu ve elektrotlar arasındaki iyon hareketliliği farklı koşullar için incelenmiştir. Deneysel çalışma sırasında elde edilen korona başlangıç gerilimi değerleri, Peek ve Water'ın amperik formülleri kullanılarak hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda ölçülen bu değerlerle hesaplanan değerlerin örtüştüğü ve nemin bu değer üzerinde küçük bir etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır. Korona deşarj akımının artan nem karşısında azalırken, elektrik alanın ise değişmediği gözlemlenmiştir. İyon hareketliliğinin artan hava yoğunluğu karşısında azaldığı, belirli bir gerilim değerinde artan basınçla birlikte iyon hareketliliğinden etkilenen korona akımı ve elektrik alan değerlerinin azaldığı gözlenmiştir (Taplamacıoğlu ve Hıdaka, 2000).

Chen ve arkadaşları tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada nemin *DC* korona boşalmalarında ozon oluşumu ve elektron yoğunluğu dağılımı üzerine etkisi

incelenmiştir. Daha önce yapılan kuru havadaki ozon oluşumu modellerine su buharı etkisinin de eklenmesine dayanarak elde edilen bir sayısal modellemenin kullanıldığı bu çalışmada elektron kinetik enerji dağılımı ve elektron yoğunluğu dağılımı, Boltzman denklemleri ve birleştirilmiş süreklilik denklemleri (coupled continuity equations) kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar, su içeriğine bağlı olarak değişen düşük oranlardaki bağıl nem karşısında hem elektron kinetik enerji hem de elektron yoğunluğu dağılımının farklılık göstermediğini; ancak artan bağıl nem karşısında hem pozitif hem de negatif korona için ozon oluşumu oranının (lineer olmayan bir şekilde) azaldığını göstermiştir. Ayrıca ozon oluşumu oranının pozitif koronaya oranla, negatif koronada daha fazla olduğu görülmüştür (Chen ve ark., 2005).

Souza ve Lopes tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada su damlacıklarına bağlı olarak elektrik alan dağılımında meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Hem kuru hem de ıslak izolatör yüzeyleri için elektrik alan dağılımının incelendiği bu çalışma *FEM* (sonlu elemanlar yöntemiyle) de simüle edilmiş olup deneysel çalışma esnasında *RIV* (Radyo Etkisi Gerilimi) seviyeleri elde edilmiştir. Sonuçlar, izolatör yüzeyi üzerindeki suyun elektrik alanı artırdığı ve bu etkinin beraberinde korona boşalmalarını meydana getirecek değerlere ulaşarak izolatör yüzeylerinin daha erken yıpranmasına neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca uygulanan tüm gerilim değerleri için *RIV* seviyesinin kuru izolatör yüzeylerine oranla ıslak izolatör yüzeylerinde daha büyük olduğu ileri sürülmüştür (Souza ve Lopes., 2006).

Horvath ve arkadaşları tarafında 2007 yılında yapılan çalışmada negatif korona boşalmalarının ozon yoğunluğuna etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma oksijenle doldurulmuş bir deşarj tüpünün içine *koaksiyel-silindirik* elektrot sistemi yerleştirilerek farklı nem koşulları için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarda belirtilen genellikle artan nemle birlikte ozon yoğunluğunun azaldığı tezi doğrulanmamıştır. Sonuçlar ozon yoğunluğunun kuru oksijen ortamında daha yoğun olduğunu göstermiş, 3000 ppm su konsantrasyonu için ozon yoğunluğunda düşme gözlemlenirken ortamdaki nem artışının beraberinde ozon yoğunluğunda artışa sebep olduğunu göstermiştir. Ozon oluşumunun bu davranışı ve mevcut literatürle olan farklılıklar tam olarak anlaşılmadığı için nem etkisinin daha da incelenmesi gerektiği ve bu konuda yapılan deneysel çalışmaların artarak sürdürülmesi gerektiği sonucuna varılmıştır (Horvath ve ark., 2007).

Skalny ve arkadaşları tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada nemli ve kuru CO_2 'in DC korona deşarjı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Korona boşalmasının hem pozitif hem de negatif polaritenin bir fonksiyonu olarak incelendiği bu çalışmada % 0,2 bağıl nem oranına sahip kuru CO_2 ve % 30 nem oranına sahip CO_2 kullanılarak iki farklı nem ortamı için karşılaştırma yapılmıştır. Farklı nem oranlarına sahip CO_2 elde etmek için iki adet bağımsız akış yönüne sahip bir gaz silindirin akış yönlerinden birinde CO_2 minimum nemde, diğerinden ise kuru CO_2 akışının bir fiskiye içinde bulunan sudan geçirilerek nem oranı bakımından zenginleştirilmesi sağlanmıştır. Daha sonra istenen nem değeri için her iki akış yönünden gelen CO_2 karıştırılarak deney için istenilen nem değerleri altında gerekli ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucunda, aynı gerilim değeri altında akım değerinin pozitif koronaya oranla negatif korona deşarjında daha yüksek olduğu; ancak artan nemle birlikte bu değer azaldığı görülmüştür. Ayrıca ozon oluşumunun CO_2 'in nem oranından önemli ölçüde etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır (Skalny ve ark., 2007).

Bian ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada bir akışkan modeli kullanılarak basınç ve nem değişiminin trichel flama darbeleri üzerine etkisi simüle edilmiştir. Nemli hava için gerekli olan bazı katsayılar, farklı gaz ortamları için kullanılan katsayı değerleri dikkate alınarak tahminde bulunulmuştur. Çalışmada kullanılan Poisson ve süreklilik denklemleri, disk yöntemi ve FCT (Akı düzeltmeli Taşıma) algoritması kullanılarak çözülmüştür. Sonuçlar simülasyon verilerinin daha önce Bian tarafından gerçekleştirilen deneysel sonuçlarla uyduğu, artan nem ve basıncın negatif streamer darbe akımının ortalama genliğini azalttığı gözlenmiştir (Bian ve ark., 2009).

Bian ve arkadaşları tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada, değişken hava basıncı ve nemin negatif DC korona başlangıç gerilimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. *Plexiglas* malzemedan yapılmış hazne içerisine yerleştirilmiş *nokta-düzlem* elektrot sistemi kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, değişken basınç ve nem değerleri için korona başlangıç gerilimi geliştirilen yeni bir hesaplama metodu ile belirlenmiştir. Hesaplamalar için gerekli olan etkin iyonizasyon katsayısı kuru hava ve su buharı için etkili iyonizasyon katsayılarından yola çıkılarak belirlenmiş olup bu sonuçlar yapılan deneysel çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ölçülen değerlerle hesaplanan değerlerin örtüştüğü görülmüş, ortamdaki nem miktarı arttıkça boşalmanın

her iki polaritesi içinde korona başlangıç geriliminin azaldığı ancak; buna karşılık artan hava basıncıyla bu değerin arttığı sonucuna varılmıştır (Bian ve ark., 2011).

Liu ve arkadaşları tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada nem ve basıncın hidrometeor kaynaklı pozitif korona deşarjlarının başlangıç durumu üzerinde etkisi analiz edilmiştir. Yapılan bu çalışmada hidrometeorlar, küresel bir nokta elektrodu olarak tanımlanmış olup korona deşarjları için Naidis tarafından koronanın kendi kendini besleme koşulunun tanımlandığı model temel alınarak gerekli analizler yapılmıştır. Analizler kuru havada değişken basınç altında yüklü hidrometeorlar için pozitif korona deşarj başlangıcını sağlayacak çığ çarpmasının, yüksek basınç altında büyük bir hidrometeor için düşük basınç altında küçük bir hidrometeora oranla daha güçlü olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Korona başlangıç gerilimi değerinin hem artan basınçla hem de artan yarıçapla arttığı görülmüştür. Nemli hava koşullarında gerçekleştirilen deneylerde ise nemli havalarda iyonize edici fotonların su buharı tarafından emiliminden dolayı deşarj için daha güçlü bir çığ gerektiği tespit edilmiştir (Liu ve ark., 2011).

Chen ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada yağmur damlalarının, AC iletim hatlarında gerçekleşen korona boşalmaları üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bir korona kafesi içerisinde gerçekleştirilen bu deneyde kafes içerisindeki iletkenin yüzeyi yapay yağmur sistemi ile su püskürtülerek iletken etrafında oluşan elektrik alanların bozulması (nonhomojen bir şekilde dağılması) sağlanmıştır. İletken, bu deneyde hem normal hem de yağmurlu hava koşullarında kullanılarak her iki durum için korona deşarj süreçleri analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda korona deşarjının, yağmur damlaları genişlediğinde ve iletken etrafında sıklaştığında daha yoğun olduğu, korona başlama geriliminin normal hava şartlarına oranla yağmurlu havada % 25 daha düşük olduğu belirlenmiştir. Korona boşalmalarının bir sonucu olan sesli gürültü ve radyo paraziti seviyelerinin ise yağmurlu hava koşullarında daha yüksek olduğu görülmüştür (Chen ve ark., 2012).

Aissou ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada değişken nemli hava koşullarında bipolar DC korona deşarjı altında akım yoğunluğu ve elektrik alan analizi yapılmıştır. *Plexiglas* malzemedan yapılmış bir reaktör içerisinde gerçekleştirilen bu deneyde hava, ısıtılmış sudan elde edilen buhar ile nemlendirilmiş olup nem kontrolü üç yollu bir devre kullanılarak sağlanmıştır. Sistem içerisinde

daireysel yanlı bir prob sayesinde bipolar korona deşarjı sırasında elektrik alan ve yer düzlemi akım yoğunluğu değerleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda yer düzlemi akım yoğunluğu ve elektrik alan gibi nemden etkilenen değerlerin iki tel arasında maksimum olduğu; buna karşılık teller arasındaki uzaklığın bu değerleri etkilediği ve artan uzaklık ile birlikte bu değerlerin azaldığı gözlemlenmiştir. Deneysel çalışma farklı iletken çapları içinde tekrarlanmış ve bütün farklı çaplardaki iletkenler için elektrik alan ve akım yoğunluğunun nem ile birlikte azaldığı görülmüştür (Aissou ve ark., 2012).

Xu ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada, Peek formülü nem etkisi de hesaba katılarak geliştirilmiştir. Pozitif *DC* korona için geliştirilen bu formülle değişken nem koşulları altında korona başlangıç elektrik alan hesabı yapılmış ve bu hesaplamalar literatürde bulunan bazı deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Farklı nem koşulları ve iletken çapları için bu formülün kullanılmasıyla elde edilen hesaplamaların literatürdeki benzer nem koşulları altında yapılan deneysel çalışmalarla uyduğu görülmüş, pozitif *DC* korona için değişken nem koşulları altında korona başlangıç elektrik alan hesabının bu formülle daha doğru bir şekilde bulunabileceği sonucuna varılmıştır (Xu ve ark., 2012).

Lin ve arkadaşları tarafından 2012 yılında çalışmada, nem değişiminin deşarj gerilimine olan etkisi incelenmiştir. Çalışma, bakırdan yapılmış olan bir *küre-küre* elektrot sistemi kullanılarak nem, basınç ve sıcaklığın kontrol edilebildiği bir ortamda yapılmış olup elektrik alan dağılımı ise ANSYS programı kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, % 80 nem oranına kadar artan nem karşısında deşarj geriliminin yavaşça arttığını; ancak % 80 nem oranının üzerindeki değerlerde nem arttıkça bu değer azaldığını göstermiştir. Ayrıca deneysel çalışma farklı elektrot aralıkları içinde yapılmış ve deşarj geriliminin farklı elektrot açıklıklarında nemle benzer değişim gösterdiği görülmüştür. Elektrot yüzeyindeki çığlenmenin, elektrot etrafında oluşan elektrik alanlarda ciddi bozulmalara neden olduğu ve bunun deşarj gerilimini azalttığı (bazı koşullar için yarıya kadar düştüğü) sonucuna varılmıştır (Lin ve ark., 2012).

Meng ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada nem ve basıncın *AC* korona darbelerinde *genlik-faz* dağılımı ve korona başlangıç gerilimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. *Çubuk-düzlem* elektrot sistemi kullanılarak farklı nem ve basınç değerleri için gerekli ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçları *AC* korona başlama

geriliminin nem artarken azaldığını; basınç artarken ise arttığını göstermiştir. Düşük nem değerlerinde seyrek görünen streamer darbeler pozitif alternansın yükselen tarafında gözlemlenirken nem artışı (% 85'e kadar) karşısında bu darbelerin sayısı artış göstermiş ve bu darbelerin varlığı pozitif alternansın hem yükselen hem de düşen kenarlarında gözlemlenmiştir. Ancak % 95 nem oranında ise streamer darbeler pozitif alternansın yükselen kenarlarında yok olurken düşen kenarlarında gözlemlenmiştir. Düşük nem değerlerinde negatif alternansın pik değerlerinde görülen negatif streamer darbeler özellikle % 95 nem oranı değerinde kaybolmuştur (Meng ve ark., 2013).

Mestiri ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada bağıl nemin elektriksel deşarjların davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Birbirine paralel iki elektrot arasında değişken nem oranları sağlanarak *DC* korona deşarjı analiz edilmiştir. Korona deşarj akımının büyük farklılık göstermesi hava nem oranının % 50'nin üzerinde olduğu değerlerde gözlemlenmiş olup korona başlangıç gerilimi ise belirli bir nem değerine kadar artan nemle birlikte artış göstermiş ancak bu nem değeri aşıldıktan sonra nem oranı artışı beraberinde korona başlangıç geriliminde bir azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir. Ayrıca boşalmaların streamer deşarj ve glow deşarj şeklinde görüldüğü nem değerlerinin % 40 ile % 50 olduğu görülmüştür (Mestiri ve ark., 2013).

Hu ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada, hava basıncının ve nemin pozitif korona deşarjları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneyler bir ultrasonik nemlendirici kullanılarak nem oranının % 30 ile % 100 arasında değişebildiği bir korona kafesi içerisinde gerçekleştirilmiş olup hava basıncı vakum pompası kullanılarak kontrol edilmiştir. Sonuçlar korona başlangıç geriliminin hava basıncının artmasıyla birlikte arttığını göstermiştir. Mutlak nemin artmasıyla birlikte korona başlangıç geriliminin yavaşça arttığı ancak yüksek nem koşullarında bu değer azaldığı görülmüştür. Ortalama darbe genliği artan basınç karşısında değişkenlik göstermiş (önce azalıp sonra artmış) ancak artan nem ile birlikte bu değer azaldığı görülmüştür. Ayrıca nemin ve basıncın düşük olduğu koşullar altında başlangıç deşarjları glow deşarjlar şeklinde görülmesinin kolaylaştığı belirlenmiştir. Deşarj darbesi için yükselme süresinin de analiz edildiği bu deneyde, artan nem ve basınç ile birlikte bu sürenin artış gösterdiği gözlemlenmiştir (Hu ve ark., 2014).

Deng ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada değişken nem oranlarının negatif korona Trichell darbeleri üzerine olan etkisi incelenmiştir. 2 boyutlu

hidrodinamik *sürüklenme-difüzyon* modelinin kullanıldığı bu çalışma *iğne-düzlem* elektrot sistemi kullanılarak simule edilmiştir. Sonuçlar, nem miktarı arttıkça Trichel darbelerinde büyüme gözlemlenirken frekansında da artma olduğunu göstermiştir (Deng ve ark., 2014).

Xu ve Tan tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada Townsend'ın ikinci iyonlaştırma katsayısının farklı bağıl nem oranlarına bağlı olarak yeniden hesaplanması üzerine çalışılmıştır. Bunun için ikinci iyonlaşma katsayısı hesaplanırken bağıl nem etkisinin de dâhil edildiği yeni bir hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Buradan elde edilen sonuçlar metodun doğruluğu için deneysel çalışmalarla karşılaştırılmış ve sonuçların uyum içinde olduğu görülmüştür. Sonuçlar, geliştirilen bu metodun farklı nem değerleri için hem ikinci iyonlaşma katsayısının yeniden hesaplanmasında hem de negatif *DC* için başlangıç elektrik alan analizlerinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Xu ve Tan, 2014).

Aissou ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada bağıl nemin, monopolar *DC* korona deşarjına ait *gerilim-akım* karakteristiğine olan etkisi araştırılmıştır. Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, *tel-düzlem* elektrot sistemi kullanılmış olup değişken nem etkisinin yanı sıra tel çapının etkisi de incelenmiştir. Korona deşarjının hem pozitif hem de negatif polaritesi için kullanılan bazı parametreler Townsend'in klasik formülleri kullanılarak belirlenmiştir. Sistem içerisine yerleştirilen bir prob sayesinde monopolar korona deşarjı sırasında yer düzlemi akım yoğunluğu ve elektrik alanı ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda tel altında elektrik alan ve akım yoğunluğu tel altında maksimum değerlerde iken telden uzaklaştıkça bu değerlerde azalma görülmüştür. *Gerilim-akım* karakteristiğinin ikinci dereceden Townsend yasasını takip ettiği görülen bu deneyde, bağıl nemin monopolar korona deşarjı üzerinde önemli ölçüde etkisi olduğu; bununla birlikte ölçülen elektrik alan ve akım yoğunluğu değerlerinin hesaplanan değerlerle belirgin bir şekilde örtüştüğü sonucuna varılmıştır (Aissou ve ark., 2015).

Yawootti ve arkadaşları tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada bağıl nemin ve hava akışının korona boşalmaları üzerine etkisi incelenmiştir. Silindirik bir düzenek içerisine yerleştirilmiş bir iğne elektrodu kullanılarak gerçekleştirilen bu deneyde hava akış oranı ve bağıl nem oranı belirli değerlerde tutularak *gerilim-akım* karakteristikleri incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, sabit bir korona gerilimi için % 60 nem oranına kadar

ortamdaki nem oranı arttıkça pozitif korona deşarj akımının azaldığı; buna karşılık bu değerin % 60'ın üzerindeki bağıl nem oranlarında artan nem karşısında arttığı sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde % 90 nem oranının altındaki değerlerde hava akış oranı arttıkça pozitif korona deşarj akım değerinde azalma gözlemlenirken, % 90 nem oranı için ise artan hava akış oranı karşısında pozitif korona deşarj akımının arttığı gözlemlenmiştir. Artan hava akış oranı karşısında azaldığı gözlenen negatif korona deşarj akımının ise % 40'tan sonraki bağıl nem oranları değerlerinde değişkenlik göstermeye başladığı ve bu bağıl nem oranının aşılmasıyla birlikte artan nem oranı karşısında bu değerin arttığı sonucuna varılmıştır (Yawootti ve ark., 2015).

Soban ve Ohyama tarafından 2016 yılında atmosferik nemin negatif korona deşarj yoğunluğu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada elektrot çapı ve uygulanan gerilimin değişmesiyle atmosferik nemin AC korona deşarj darbeleri üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma için *ince tel-düzlem elektrot* sistemi kullanılmış olup, deneyler atmosferik basınçta ve 22 ile 34 kV_{rms} aralığında belirli kademelerle gerilim uygulanarak yapılmıştır. Deney süresince her bir kademede AC negatif korona deşarj darbelerinin ortalama büyüklük q_{ort} , maksimum büyüklük q_{max} ve darbe sayısı n ölçülerek değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, farklı çaplara sahip elektrotların her biri için uygulanan gerilim arttırıldığında q_{ort} , q_{max} ve n değerlerinin arttığı; buna karşılık, artan nem ile birlikte bu değerlerin azaldığı görülmüştür. Sırasıyla artan kademelerde gerilim uygulandığında elektrot çapının artmasıyla birlikte q_{vort} , q_{max} , n değerlerinin azaldığı; artan nemle birlikte bu değerlerin daha da azaldığı sonucuna varılmıştır (Soban and Ohyama 2016).

Zhang ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada bağıl nemin pozitif DC korona deşarjları üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışma için *pleksiglas* malzeme kullanılarak yapay bir reaktör düzeneği oluşturulmuştur. % 40 ile % 90 arasında değişen bağıl nem oranları için bir hava nemlendiricisinin kullanıldığı bu deneyde, foton sayım oranı, toplam elektrik alan şiddeti ve zemin seviyesindeki iyon akımı yoğunluğu ölçülerek elde edilen veriler analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda artan bağıl nemle birlikte korona deşarj yoğunluğunu ifade eden foton sayım oranı ve toplam elektrik alanının arttığı; buna karşılık iyon akım yoğunluğu ve nemden etkilenebilen elektrik alanını ölçer (electric

field mill) cihazın kalibrasyon katsayısının ise azaldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca artan nem karşısında korona başlangıç geriliminin azaldığı gözlenmiştir (Zhang ve ark., 2016).

Wen ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada nem, sıcaklık ve basıncın korona boşalmalarında önemli parametreler olan iyonlaştırma katsayısı ve bağlanma katsayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada *EEDF* (Elektron Enerji Dağılımı Fonksiyonu) hem su buharı hem de kuru hava için elde edilmiş olup, Boltzman Denklemi (nem varlığı dikkate alınarak) kullanılarak Townsend iyonlaştırma katsayısı hesaplanmıştır. Elde edilen bağlanma ve iyonlaşma katsayısı mevcut literatürle karşılaştırıldığında bağlanma katsayısının literatürle farklılıklar gösterdiği; buna karşın iyonlaşma katsayısının literatürdeki verilerle uyduğu görülmüştür. Ayrıca nemin korona boşalmalarının dört temel süreçlerinden olan iyonlaştırma ve bağlanmayı artırabileceği sonucuna varılmıştır (Wen ve ark., 2016).

Yi ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada nemin *DC* iletim hatlarında gerçekleşen duyulabilir gürültünün spektrum özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Polimetil metakrilat (*pleksiglas*) malzemeden yapılan bir düzenek içerisine yerleştirilmiş olan korona kafesi içerisinde gerçekleştirilen bu deneyde iletken olarak çelik takviyeli alüminyum iletken kullanılmış olup korona deşarj yoğunluğu ultraviyole tespit cihazı ile belirtilmiştir. Ses analizi korona kafesine 0,7 m uzaklıkta yerleştirilen bir mikrofona bağlı ses seviye ölçer cihazı ile yapılmıştır. Sonuçlar nem arttıkça duyulabilir gürültüye ait *A-ağırlıklı* ses basıncı seviyesinin arttığını göstermiştir. 100 Hz'den küçük frekans değerlerinde duyulabilir gürültünün daha çok arka plan gürültüsü şeklinde olduğu ve artan nem ile birlikte spektral bileşenlerin artış eğiliminin çok az olduğunu; buna karşılık 100 Hz'den sonraki frekans değerlerinde nem arttıkça spektral bileşenlerinin artış eğiliminin daha belirgin bir hal aldığı görülmüştür (Yi ve ark., 2016).

Lühring ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada nemin ve sıcaklığın *DC* gerilim altında gerçekleşen pozitif korona deşarjları için darbe genliği, darbe genişliği, yükselme süresi, sönümlenme süresi gibi bazı parametrelere etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma nemin % 20 ile % 95 arasında değişebildiği, sıcaklığın ise 20 C° ile 50 C° gibi iki farklı şekilde kontrol edilebilen bir ortamda yapılmıştır. Boşalmanın gerçekleştiği başlangıç gerilimi değerinin belirlenmesi için yüksek gerilim

kaynağının gerilimi her adımda belli kademelerle arttırılarak birer dakika beklenmiş ve boşalma tespit edilmeye çalışılmıştır. Beş dakikalık süre boyunca sabit bir test geriliminde yeterli boşalma belirlenebiliyorsa kısmi boşalmanın başlangıç gerilimine ulaşıldığı kabul edilmiştir. Sonuçlar, artan nem ile birlikte yükselme süresi, sönümleme süresi, darbe genişliği ve darbe genliğinin azaldığını göstermiştir. Her iki sıcaklık değeri içinde artan nemle birlikte grafiklerin benzer bir eğilim içinde olduğu gözlenmiştir (Lühning ve ark., 2017).

2.2. Tezin Güncelliği

Enerji ihtiyacının giderek arttığı günümüzde, bu alandaki çalışmaların büyük ivme kazanmasına yol açmıştır. Bu nedenle, araştırmacılar bir yandan yeni enerji kaynaklarını keşfetmeye çalışırken; öte yandan her geçen gün daha farklı yöntemler kullanarak kayıpların azaltılmasına yönelik çalışmalarını sürdürmektedirler. Dolayısıyla, enerji üretim, iletim ve dağıtım sistemlerdeki kayıplar güncel bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Enerji verimliliği kavramının da temelini oluşturan bu problemin nispeten çözümü veya tamamen yok edilmesi araştırmacıların vazgeçilmez bir hedefi haline gelmiştir. Genel durumlarda, kayıpları ve maliyeti azaltmak amacıyla, iletim hatlarında akımın düşük; gerilimin ise yüksek olması istenir. Bu nedenle elektrik enerjisi, üretim noktasından tüketim noktasına taşınırken yüksek gerilim ve düşük akım yöntemi en çok tercih edilen bir yöntem olarak bilinir. Buna karşın, günümüzde yapılan araştırmalar neticesinde mevcut elektriksel kayıpların en çok yüksek gerilimli enerji iletim sistemlerinde meydana geldiği anlaşılmıştır. Sistemlerde oluşan toplam kayıpların önemli bir bölümünü teşkil eden bu kayıpların en etkin olanı ise korona kayıpları olarak bilinir. Korona kayıplarının oluşumunda birçok faktörden söz edilebilir. Bu faktörlerden çoğu ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır fakat atmosferik nem faktörü hakkında yapılan çalışmalar oldukça sınırlı kalmıştır ve bu konuda kesin olan bir sonuca ulaşılammıştır. Bu noktadan hareketle, özellikle iletim hatlarındaki direk ve izolatör boyutlandırmalarında büyük öneme sahip olan atmosferik nem parametresinin enerji iletim hatlarındaki enerji kayıpları üzerindeki etkisinin deneysel olarak araştırılmasının önemli sonuçlar sağlayacağı düşünülerek bu tez konusu belirlenmiş ve deneysel olarak araştırılmıştır.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Elektrik enerjisi iletim hatlarında önemli elektriksel kayıplara neden olan korona boşalmaları güncel ve teknolojik uygulanabilirliği nedeniyle önemi gün geçtikçe artmaktadır. Korona boşalmaları genel olarak hava iletim hatlarının iletkenlerinin “iletken–iletken” arasında oluşan elektrik alanında veya “iletken–yer” elektrot sisteminde oluşur. Bu tür elektriksel boşalmaların davranışlarını incelemek amacıyla deneysel çalışmada kullanılacak elektrot sistemleri için özel olarak tasarlanmış bir iletim hattı modeli tasarlanmış ve prototip imalatı yapılmıştır. Bu hat modelinde kullanılacak malzeme türü en az, uygulama gerilimi, ortamdaki gaz, nemlilik gibi parametreler kadar önemlidir. Bu parametreler, korona başlangıç ve sönümlenme değerlerinin belirlenmesinde oldukça önemlidirler. Elektrot sistemi olarak yüzeyi pürüzsüz, korozyona dayanımlı 5 mm çapında pirinç malzemedan (*Cu-Zn alaşımı*) yapılan silindirik şekilli 2 adet çubuk elektrot kullanılmıştır. Deneysel çalışma için kullanılacak hat modeli, hat iletkenlerine eşdeğer özelliklere sahip olacak şekilde ve ortam koşullarına uygun olacak şekilde imal edilmiştir. Bu hat iletkenleri daha sonra *fiberglas* malzemedan yapılan kapalı bir reaktör içerisine belirli aralıkta yerleştirilerek farklı nem oranları ve farklı elektrot açıklıkları için deneysel ölçümler alınmıştır.

Deneysel çalışmalar Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi bünyesinde bulunan yüksek gerilim laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney sisteminde, fiberglas malzemedan yapılmış farklı elektrot aralıkları için deneysel çalışmanın gerçekleştirilebileceği bir reaktör, farklı nem oranları için ultrasonik soğuk buhar makinası, ortamdaki nem oranı ve sıcaklık ölçümünde kullanılan hassas bir dijital nem ve sıcaklık ölçer ile AC besleme 1:150 dönüştürme oranına sahip 0-33 kV'a kadar çıkış gerilimi verebilen ayarlı bir gerilim trafosu kullanmıştır. Bu gerilim trafosunun beslemesi ise çıkış gerilimi 0-220 V aralığında değişebilen ayarlanabilir bir gerilim kaynağı ile yapılmıştır. Şekil 3.1'de verilen ve deneysel çalışmada kullanılan dâhili tip gerilim trafosu yaklaşık 1 kVA gücüne sahip olup tek fazlıdır. Trafonun topraklama sistemi ise laboratuvarın bulunduğu binanın topraklamasından bağımsız olan farklı bir topraklama sistemiyle gerçekleştirilmiştir.



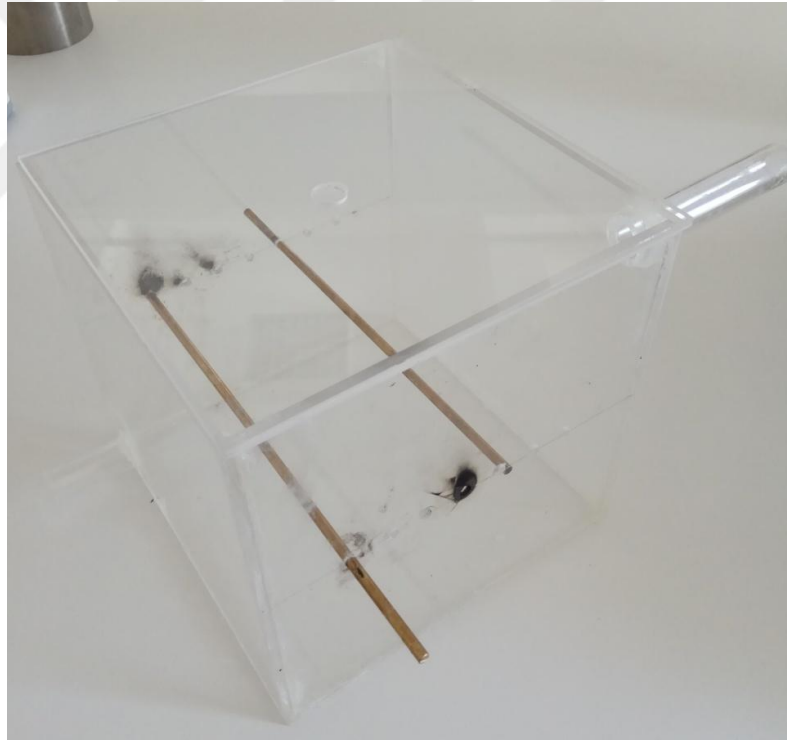
Şekil 3. 1: Deneysel çalışmada kullanılan dâhili tip gerilim trafosu

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



Şekil 3. 2: Ayarlanabilir Gerilim Kaynağı

Deneysel çalışmalarda kullanılan elektrotlar ve reaktörün görüntüsü Şekil 3.3'te verilmiştir. Deneysel çalışma için iletim hattı modeli olarak düşünülen elektrot sistemi için kullanılan pirinç elektrotlar 5 mm çapa sahip olup 21 cm uzunluğundadırlar. Farklı nem ortamlarında deneylerin gerçekleştirilebilmesi için, 5 mm kalınlıkta ve 20*20*20 cm ölçülerinde tasarlanmış olan reaktörün sol alt tarafından soğuk buhar girişi ve sağ üst tarafında ise buharın tahliyesini sağlayabilecek bir çıkış terminali bulunmaktadır. Reaktörün yan kenarlarının tam orta noktalarından yere paralel doğrultuda açılan delikler sayesinde elektrotlar arası açıklığın (rastgele seçilmiş olan belirli aralıklarla) 16 mm, 36 mm, 57 mm, 77,4 mm, 97 mm ve 117 mm olması sağlanmıştır. Reaktörün en üst kısmında ise açılan (12 mm çapında) küçük bir oyuk içine nem ölçüm cihazı yerleştirilerek soğuk buhar makinesi yardımıyla ortamdaki nem oranlarının ölçülmesi sağlanmıştır. *Pleksiglas* malzeme kullanılarak tasarlanan saydam reaktör sayesinde elektrotlar dış atmosferik koşullardan tamamen izole edilmiştir.



Şekil 3. 3: Elektrot sistemi ve reaktör görüntüsü

Deneysel çalışma için gerekli olan % 33, % 50, % 80, % 100 değerlerindeki nem oranları Şekil 3.4'te verilen *hikoneb home-type* buhar makinesinden sağlanmıştır. Ultrasonik ses dalgaları ile çalışma özelliğine sahip olan bu nebulizatör 400 ml su haznesine sahip olup buhar kapasitesi ise 0-5 ml/dk'dır.



Şekil 3. 4: Ultrasonik soğuk buhar makinesi görüntüsü

Deneysel çalışma süresince reaktör içerisindeki nem oranı sürekli ölçülerek kontrol altında tutulmuştur. Kullanılan nem ölçer cihazının görüntüsü Şekil 3.5'te verilmiştir. Nem oranı ölçüm işlemi, hassas ölçüm teknolojisine sahip *Trotec* marka *BC06* tip nem ölçer ile gerçekleştirilmiştir. Cihazın çift ekranı sayesinde anlık olarak hem nem, hem de sıcaklık ölçümü yapılabilmekte ve ayrıca ekrandan maksimum ve minimum ölçüm değerleri okunabilmektedir.



Şekil 3. 5: *Trotec BC06* nem ve sıcaklık ölçer görüntüsü

Ölçüm cihazının sıcaklık ölçüm aralığı ise $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında olup $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında) $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($40\text{ }^{\circ}\text{C}-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında) ölçüm hassasiyetine sahiptir. Ayrıca 0 ile $\% 100$ aralığında bağıl nem ölçüm aralığına sahip olan bu cihaz

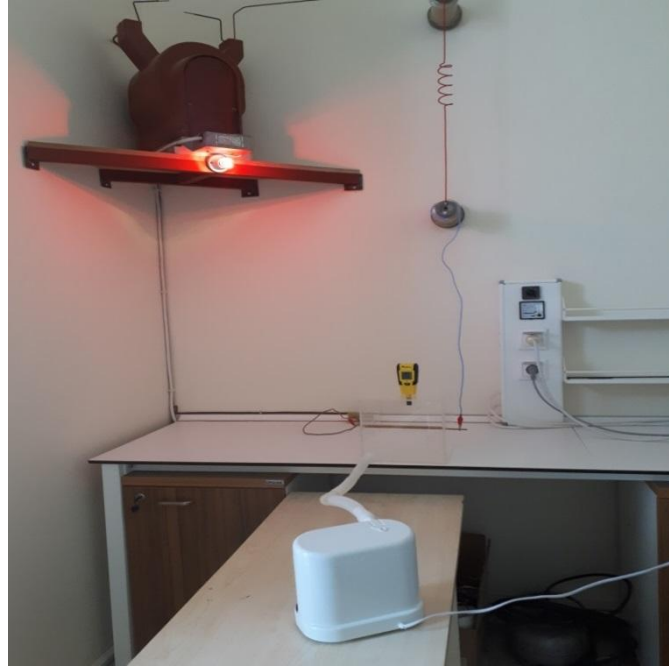
% 20 ile % 80 aralığında ortalama % 3.5, 0 ile % 20 ve % 80 ile % 100 aralığında ise % 5 ölçüm hassasiyetine sahiptir.

Deney sisteminde gerilim trafosunu besleme amacıyla kullanılan kumanda cihazları ve ölçüm elemanları ise Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere sistemde bir adet 0-220 v gerilim çıkışı sağlayan varyak, bir adet 45-500 Hz ayarlı frekans ve 0-220 v ayarlı gerilim sağlayabilen bir AC güç kaynağı ve bir osiloskop bulunmaktadır.



Şekil 3. 6: Deney sisteminin kumanda ve ölçüm elemanları

Gerilim trafosu, elektrot sistemi, reaktör, soğuk hava nemlendirici ve nem ölçerin bir arada kullanıldığı deney sisteminin genel görüntüsü ise Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3. 7: Deney sistemine ait genel bir görüntü

3.2. Metot

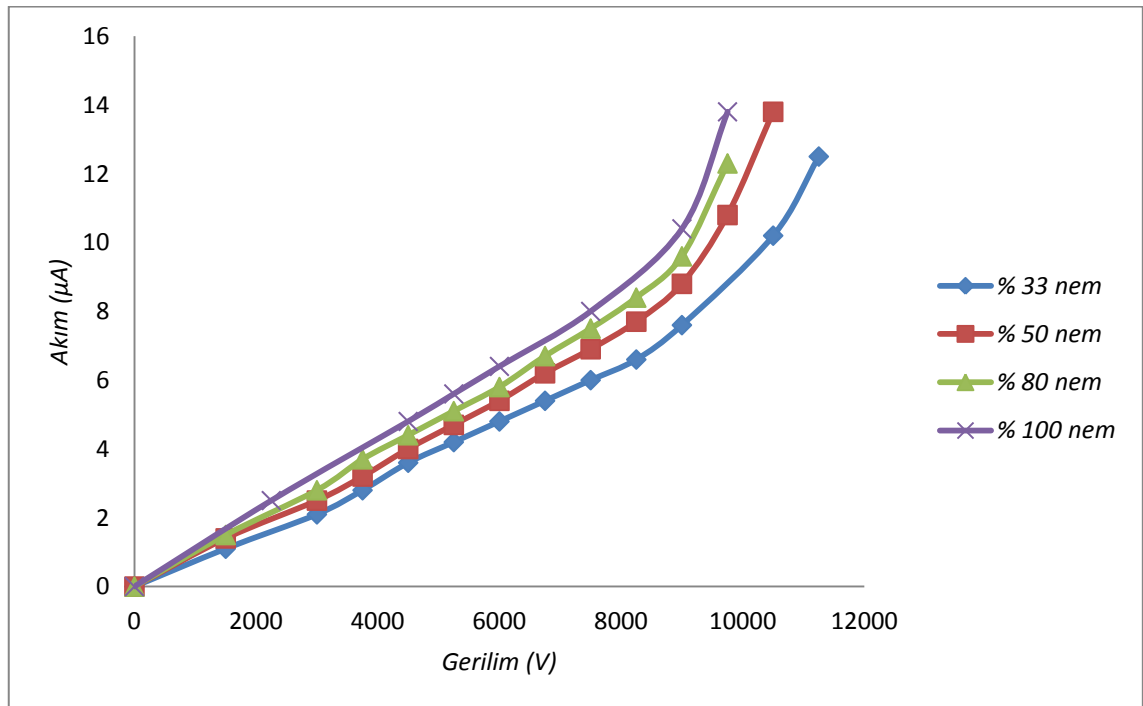
Korona boşalmalarının iletim hatlarında gerçekleşen kayıpların oluşumunda etkinliğini oluşturan birçok faktör mevcuttur. Bu faktörlerin etkisini azaltmaya veya yok etmeye yönelik literatürde birçok araştırma yapılmıştır fakat atmosferik nem faktörü hakkında yapılan çalışmalar oldukça sınırlı kalmıştır ve aynı zamanda hatları kuşatan atmosferik ortamın iletkenliği üzerine herhangi bir yöntemle rastlanılmamıştır. Atmosferik nem ortamında hat iletkeni ile toprak iletkeni arasındaki delinme gerilimini belirlemeyi hedefleyen bu tezde kullanılan bu yöntem, konuyla ilgili önemli bulgulara ulaşılmasını sağlamıştır.

Tezle ilgili yapılan tüm deneysel çalışmalar oda sıcaklığında ve atmosferik koşullarda gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar öncesi tüm cihazların gerekli kalibrasyon işlemleri yapılmıştır. Daha sonra reaktör içerisine monte edilmiş elektrot sistemine, belirlenmiş bir nem oranı altında belirli bir elektrot açıklığında 0-33 kV ayarlanabilir gerilim çıkışı veren bir kaynak kullanılarak boşalma gerçekleşene kadar sıfırdan başlayarak artan bir şekilde belirli aralıklarla gerilim verilmiştir. Sisteme verilen her gerilim değerine karşılık gelen korona akımı ampermetre yardımıyla ölçülerek kaydedilmiştir. Artan gerilim karşısında akım değeri mikroamper seviyesinde iken gerilim değeri yavaş yavaş arttırıldığında belli bir değerden sonra ortamda bir delinmenin gerçekleştiği görülmüş ve bu durumda akım değerinin birkaç amper seviyelerine kadar çıktığı görülmüştür. Delinmenin gerçekleştiği bu gerilim değeri, korona boşalmasının başlangıç gerilimi olarak kabul edilmiştir. Rastgele belirlenmiş olan nem oranlarının her değeri için ve ayrıca elektrotlar arası açıklığın her kademesi için bazı kombinasyonlar oluşturulmuştur. Daha sonra bu kombinasyonların her biri için gerilim değerleri kademeli bir şekilde arttırılarak bu değerlere karşılık gelen akım değerleri kaydedilmiştir. Başka bir deyişle, reaktör içerisindeki bağıl nem oranı kademeli olarak arttırılmış ve arttırılan her kademe için, farklı elektrot açıklıklarında benzer işlemler uygulanarak *Gerilim-Akım* değerleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler ışığında öncelikle, belirlenmiş bir nem oranı kademesi için farklı elektrot açıklıklarında *Gerilim-Akım* karakteristikleri oluşturulmuştur. Ayrıca, belirli bir elektrot açıklığı için farklı nem ortamlarına ait *Gerilim-Akım* karakteristikleri oluşturulmuştur. Deney sonucunda alınan bu grafikler değerlendirilerek gerekli yorumlamalar yapılmıştır.

4. BULGULAR

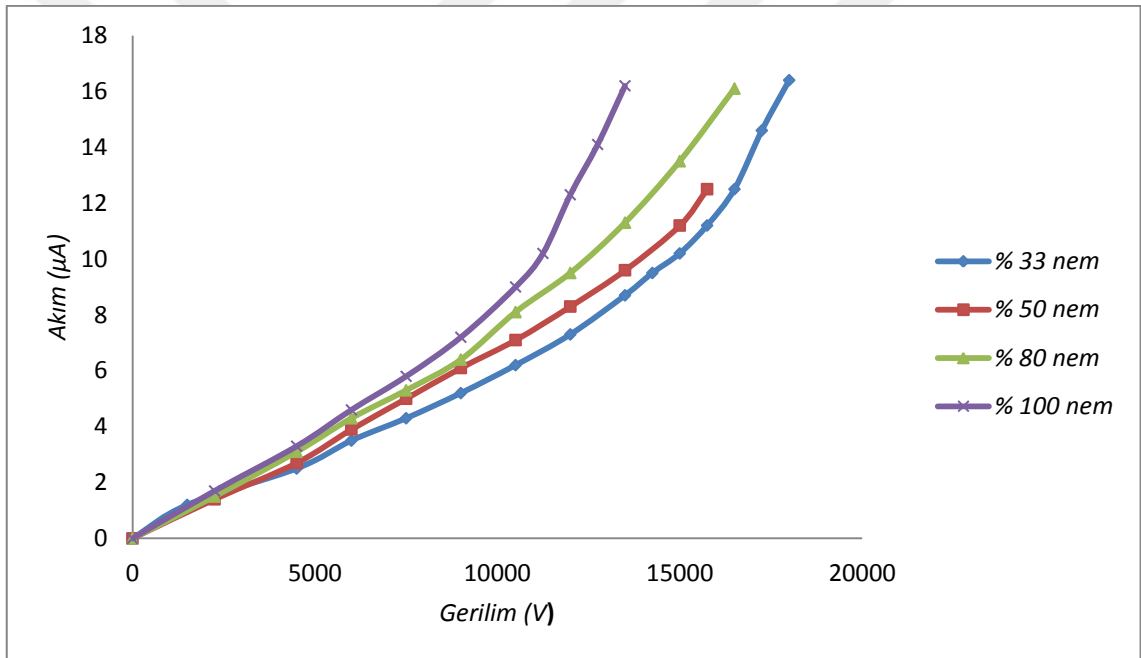
Atmosferik nem koşullarının korona boşalmalarının delinme gerilimlerinin sınır değerlerinin belirlenmesi işlemlerinde özel olarak tasarlanmış olan kapalı bir reaktör sisteminden yararlanılmıştır. Deneysel çalışmalar oda koşullarında ve hassas ölçümler yapabilen dijital cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sırasında, ölçüm sırasında alınan hatalı sonuçların hata oranının azaltılması amacıyla deneylerde tekrarlama yöntemi kullanılarak aynı deneyde çok sayıda ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalaması, nihai değer olarak kaydedilmiştir.

Korona boşalmasının başlangıç geriliminin belirlenmesinde, belirli elektrot açıklığında ($d=16 \text{ mm}$) ortamın bağıl nem oranına göre alınmış olan *Gerilim-Akım* grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere belirli bir gerilim değerine kadar akım, Ohm kanununa göre değişim göstermiştir ancak daha yüksek gerilim değerlerinde akım üstel bir şekilde artmıştır. Bu durumda ortamda kısmi bir delinme olayının gerçekleşmiş olma ihtimali çok yüksektir. Grafikten ayrıca, bağıl nem oranının artmasıyla birlikte boşalma ve delinme olaylarının buna karşın; daha düşük gerilim değerlerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu durumda, nem oranının ortamın elektriksel iletkenliğini daha da arttırdığı söylenebilir.



Şekil 4. 1: $d=16 \text{ mm}$ için farklı nem ortamlarına ait V-I karakteristiği

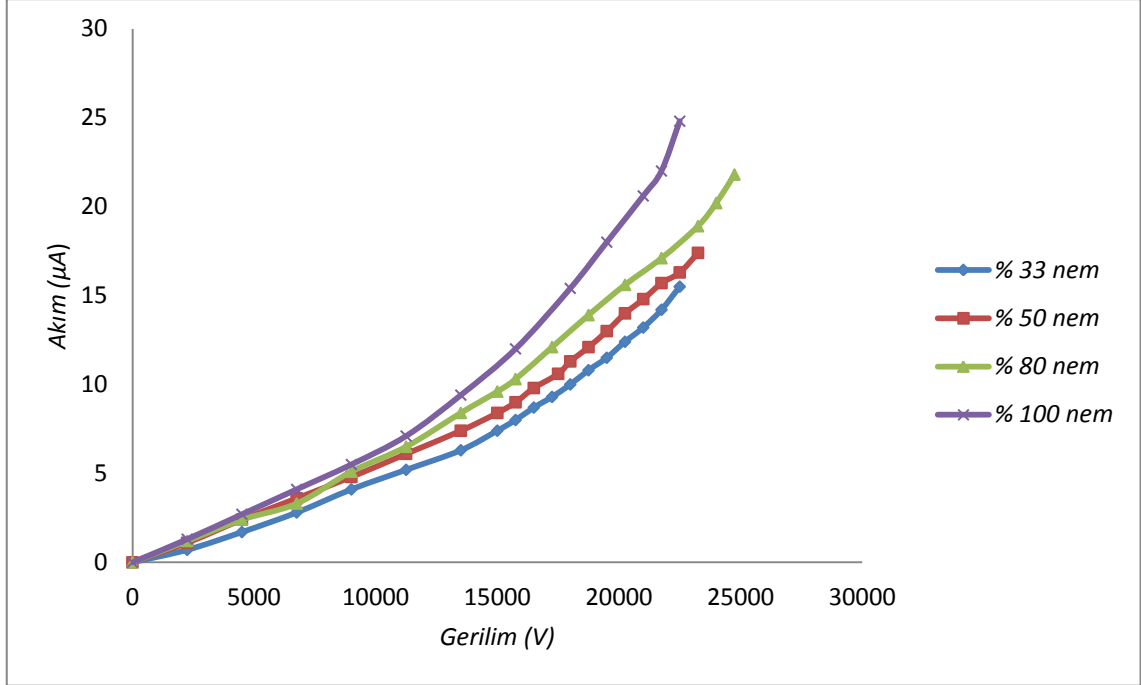
Deney sisteminin elektrot açıklığının daha da arttırılarak $d=36 \text{ mm}$ yapılması durumunda, ortamın bağıl nem oranına göre ölçülmüş verilerden oluşan *Gerilim-Akım* grafiği ise Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere belirli bir gerilim değerine kadar akım, Ohm kanununa göre değişim göstermiştir ancak daha yüksek gerilim değerlerinde akım üstel bir şekilde artmıştır. Akımın nonlineer olarak artması, gaz ortamındaki hareketli yüklerin sayısının bir sonucu olup aynı zamanda kısmi bir delinme olayının gerçekleştiği söylenebilir. Grafikten ayrıca, bağıl nem oranının artmasıyla birlikte boşalma ve delinme olaylarının buna karşın; daha düşük gerilim değerlerinde gerçekleştiği görülmektedir. Özellikle % 100’lük nem oranında boşalmanın delinme geriliminde önemli bir düşüş gözlenmiştir. Bu durumda, nem oranının ortamın elektriksel iletkenliğini üzerinde önemli bir etkisi olmuştur.



Şekil 4. 2: $d=36 \text{ mm}$ için farklı nem ortamlarına ait V-I karakteristiği

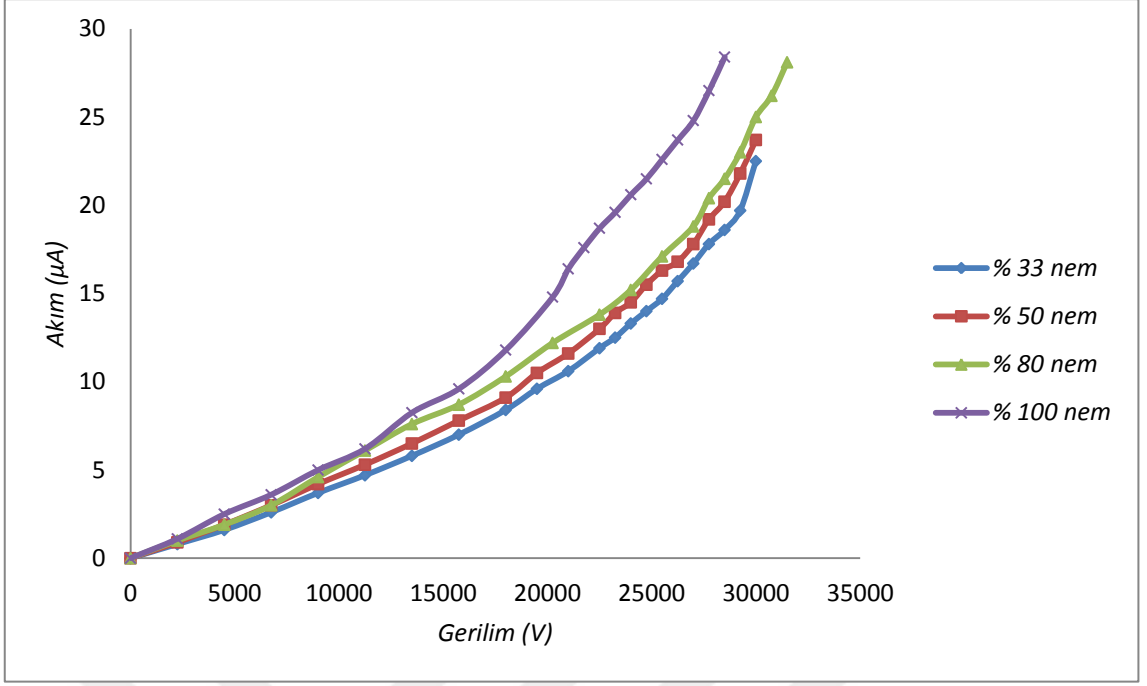
Elektrot sisteminin açıklığının daha da arttırılarak $d=57 \text{ mm}$ yapılması durumunda, ortamın bağıl nem oranına göre ölçülmüş verilerden oluşan *Gerilim-Akım* grafiği ise Şekil 4.3’te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere belirli bir gerilim değerine kadar akım, Ohm kanununa göre değişim göstermiştir ancak daha yüksek gerilim değerlerinde akım üstel bir şekilde artmıştır. Akımın nonlineer olarak artması, ortamda kısmi bir delinmenin söz konusu olduğu söylenebilir. Grafikten ayrıca, bağıl nem oranının artmasıyla birlikte boşalma ve delinme olaylarının buna karşın; daha düşük

gerilim değerlerinde gerçekleştiği görülmektedir. Özellikle % 100'lük nem oranında boşalmanın delinme geriliminde önemli bir düşüş gözlenmiştir. Buna karşın, boşalma akımının değerlerinde önemli bir artış gerçekleşmiştir.



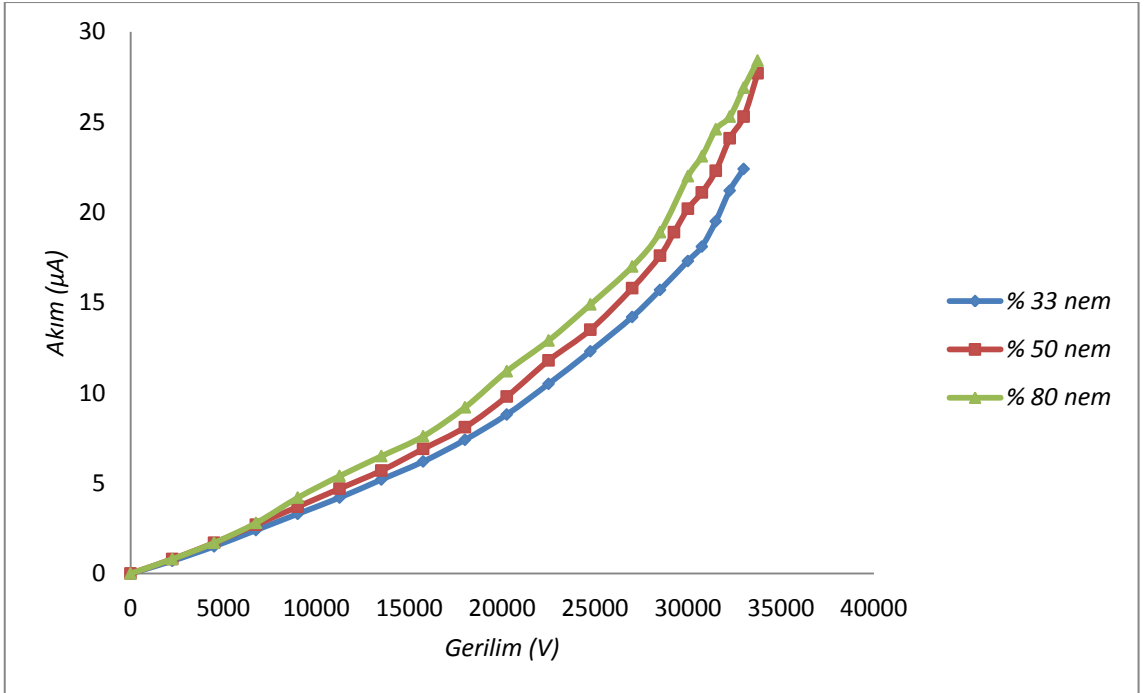
Şekil 4. 3: $d=57 \text{ mm}$ için farklı nem ortamlarına ait V-I karakteristiği

Elektrotlar arası açıklığın daha da artırılarak $d=77,4 \text{ mm}$ yapılması durumunda ise, ortamın bağıl nem oranına göre ölçülmüş verilerden oluşan Gerilim-Akım grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere belirli bir gerilim değerine kadar akım, Ohm kanununa göre değişim göstermiştir ancak daha yüksek gerilim değerlerinde akım üstel bir şekilde artmıştır. Akımın nonlineer olarak artmasına bağılı olarak ortamdaki kısmi delinmenin belirli bir oranda gerçekleştiği söylenebilir. Grafikten ayrıca, bağıl nem oranının artmasıyla birlikte boşalma ve delinme olaylarının buna karşın; daha düşük gerilim değerlerinde gerçekleştiği görülmektedir. Özellikle % 100'lük nem oranında boşalmanın delinme geriliminde önemli bir düşüş gözlenmiştir. Buna karşın, boşalma akımının değerlerinde önemli bir artış gerçekleşmiştir. Ayrıca, yukarıdaki grafikler göz önüne alındığında, elektrotlar arası açıklık arttıkça boşalmanın delinme gerilimi sınır değerlerinin de buna bağılı olarak önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Normal koşullarda bu durum, beklenen bir sonuçtur. Grafik üzerinde görülen dalgalanmalar ise deneysel ölçümler sırasında yapılmış olan hatalardan kaynaklanmaktadır.



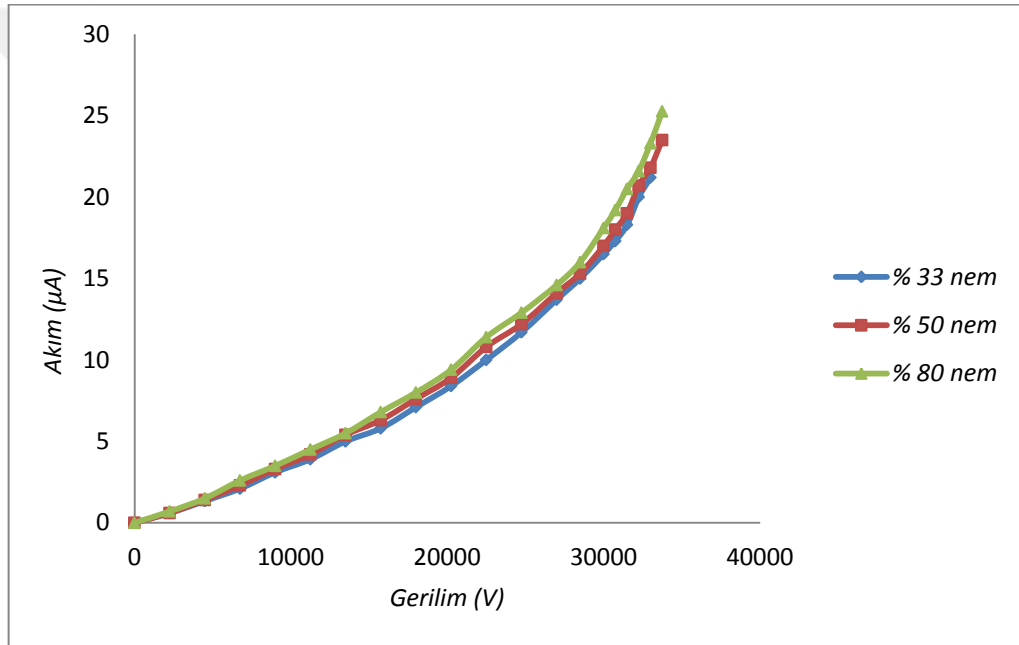
Şekil 4. 4: $d=77,4 \text{ mm}$ için farklı nem ortamlarına ait V-I karakteristiği

Elektrotlar arası açıklığın bir kademe daha da arttırılarak $d=97 \text{ mm}$ yapılması durumunda, ortamın nem oranına göre alınmış olan Gerilim-Akım grafiği Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sadece üç farklı nem değeri için alınmış olan sonuçlar arasında çok önemli bir farklılık görülmemiştir.



Şekil 4. 5: $d=97 \text{ mm}$ için farklı nem ortamlarına ait V-I karakteristiği

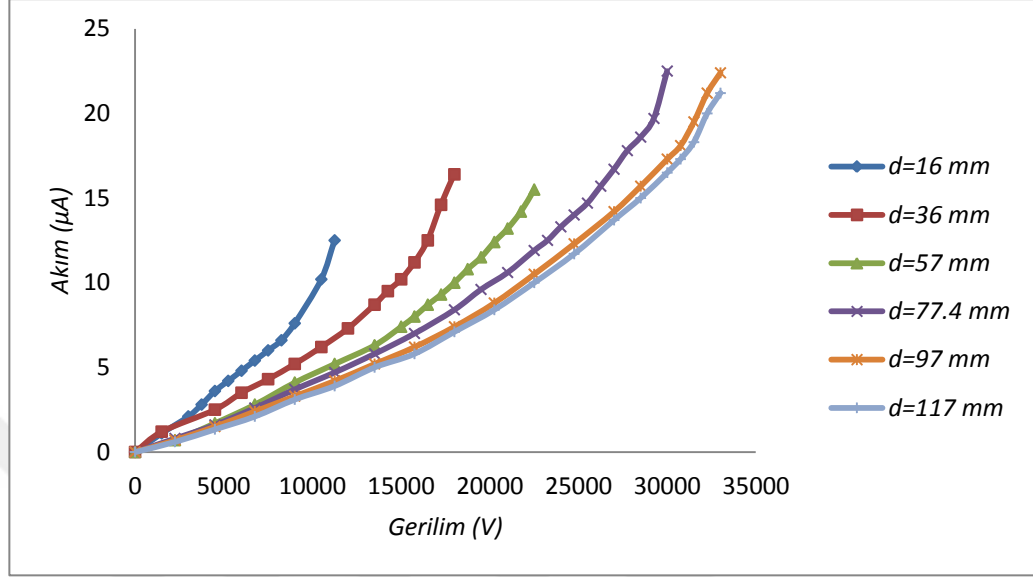
Elektrotlar arası açıklığın daha da arttırılarak $d=177 \text{ mm}$ yapılması durumunda ise, ortamın bağıl nem oranına göre ölçülmüş verilerden oluşan *Gerilim-Akım* grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere belirli bir gerilim değerine kadar akım, Ohm kanununa göre değişim göstermiştir ancak gerilimin daha da yükseltilmesiyle akım üstel bir şekilde artış göstermiştir. Akımın nonlineer artmasına bağlı olarak ortamdaki kısmi delinmenin de buna bağlı üstel bir şekilde değişim gösterdiği söylenebilir. Grafikten ayrıca, bağıl nem oranının artmasıyla birlikte boşalma ve delinme olaylarının bu durumdan yeterince etkilenmediği görülmektedir. Ayrıca, yukarıdaki grafikler göz önüne alındığında, elektrotlar arası açıklık arttıkça boşalmanın delinme gerilimi sınır değerlerinin de buna bağlı olarak önemli ölçüde arttığı görülmüştür.



Şekil 4. 6: $d=117 \text{ mm}$ için farklı nem ortamlarına ait $V-I$ karakteristiği

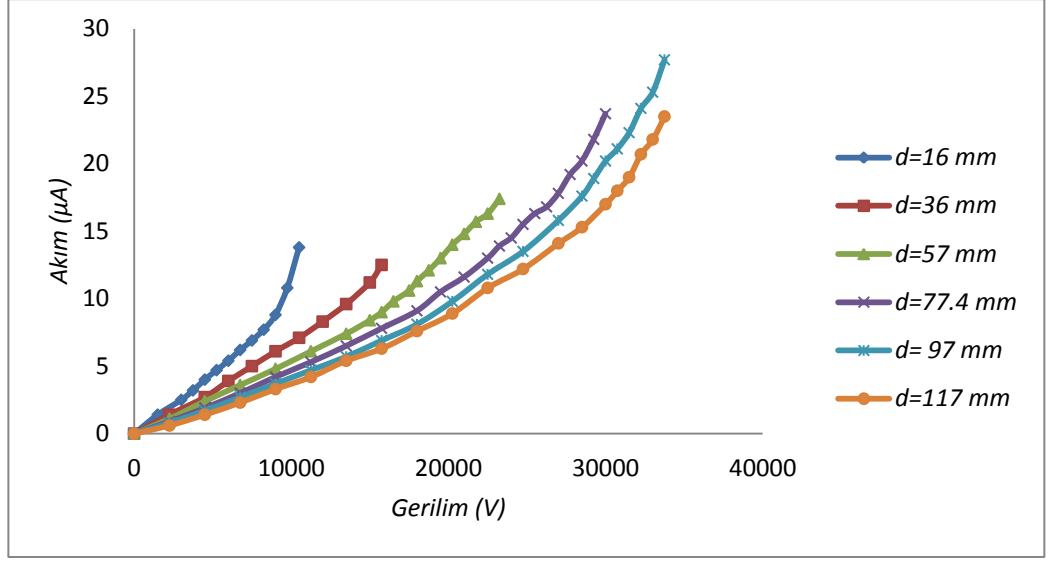
Korona boşalmasının % 33 nem oranında ve farklı elektrot aralıkları için alınan *Gerilim-Akım* karakteristiği Şekil 4.7'de verilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere, sabit elektrot açıklığında boşalmanın besleme gerilimi arttıkça, boşalma akımının da buna bağlı olarak üstel bir şekilde artmıştır. Ayrıca, boşalmanın aynı gerilim değerinde, elektrotlar arasındaki mesafe azaldıkça, boşalma akımının buna karşılık daha da arttığı görülmüştür ve bu artış oranı non-linear bir değişim göstermiştir. Bunun yanı sıra, boşalmanın düşük olan gerilim değerlerinde akımın değişim oranı ile elektrotlar arasındaki değişim oranları arasındaki fark daha fazla iken; gerilimin yüksek

değerlerindeki bu fark miktarı daha da az olduğu görülmüştür. Bunun muhtemel nedeni olarak; büyük elektrot aralıklarında gerilim kaynağının gücünün nispeten yetersiz kaldığı söylenebilir.



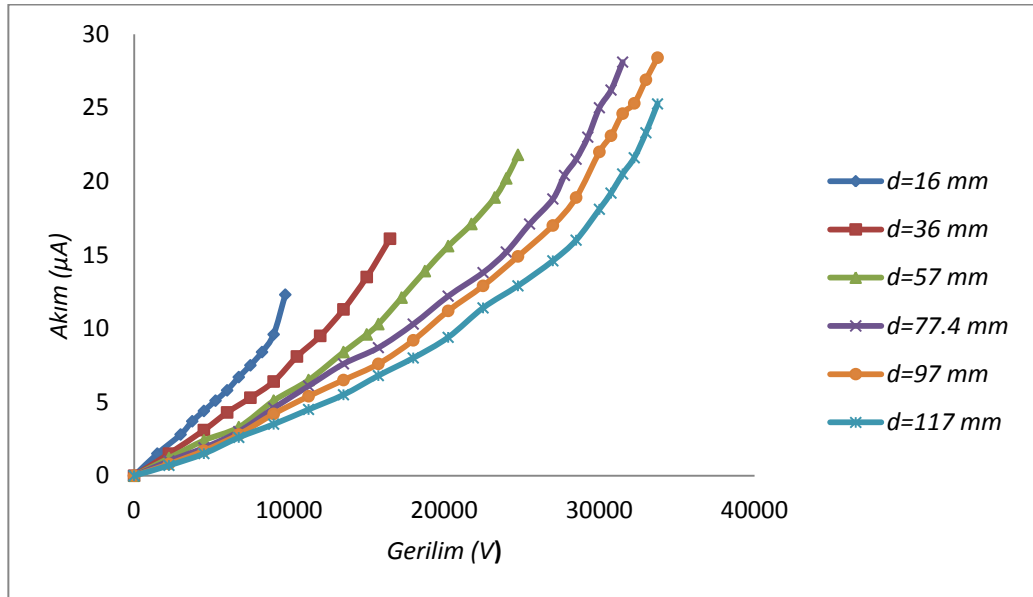
Şekil 4. 7: % 33 nem oranı için farklı elektrot aralıklarına ait V-I karakteristiği

Nem oranının daha da artırılarak % 50 yapılması durumunda boşalmanın farklı elektrot aralıkları için alınan Gerilim-Akım karakteristiği ise Şekil 4.8'de verilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere, sabit elektrot açıklığında boşalmanın besleme gerilimi arttıkça, boşalma akımının buna bağlı olarak üstel bir şekilde ve daha büyük değerler alacak şekilde artmıştır. Ayrıca, boşalmanın aynı gerilim değerinde, elektrotlar arasındaki mesafe azaldıkça, boşalma akımının buna karşılık daha da arttığı görülmüştür ve bu artış oranının non-lineerlik oranı % 33'lük nem oranına göre daha fazladır. Bunun yanı sıra, boşalma geriliminin sabit değerinde boşalma aralığı arttıkça boşalma akımının değeri buna karşılık azalmıştır. Grafığe göre $d=16 \text{ mm}$ elektrot açıklığında boşalmanın ölçülebilen maksimum akım değeri yaklaşık olarak $14 \mu A$ iken; $d=117 \text{ mm}$ elektrot açıklığında ise bu değer yaklaşık olarak $24 \mu A$ dolaylarındadır. Burada, küçük elektrot aralıklarında delinme olayının daha düşük gerilim değerlerinde gerçekleştiği söylenebilir. Ayrıca, elektrot açıklığı ortalama $d=20 \text{ mm}$ 'lik kademelerle lineer olarak artırılırken; boşalma akımının değeri ise buna karşın non-lineer olan bir değişim göstermiştir. Bu durum, ortamdaki nemli havanın boşalmanın elektriksel (akım, gerilim, elektriksel alan) parametrelerine göstermiş olduğu tepkinin bir sonucudur.



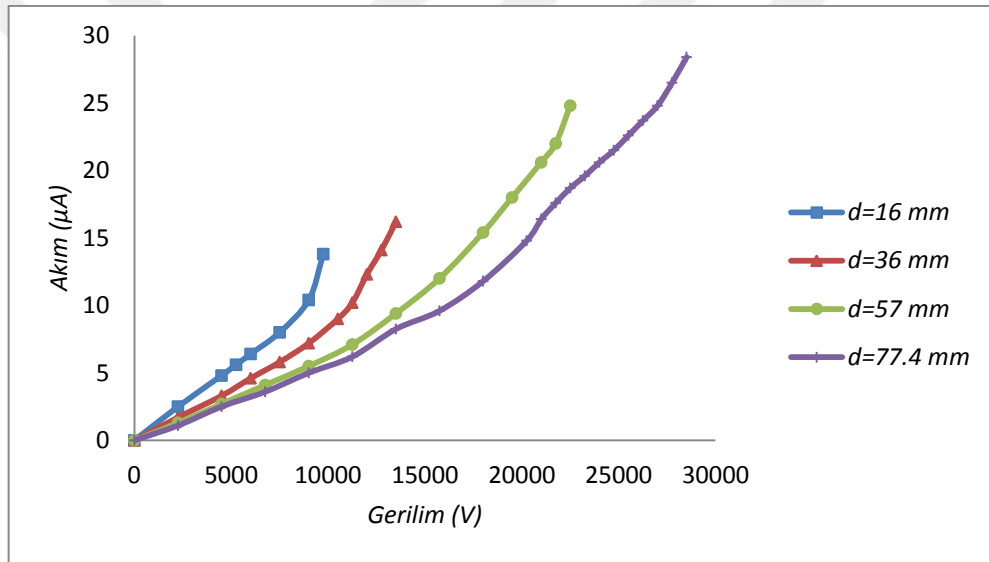
Şekil 4. 8: % 50 nem oranı için farklı elektrot aralıklarına ait V-I karakteristiği

Nem oranının daha da artırılarak % 80 yapılması durumunda boşalmanın farklı elektrot aralıkları için alınan *Gerilim-Akım* karakteristiği ise Şekil 4.9'da verilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere, sabit elektrot açıklığında boşalmanın besleme gerilimi arttıkça, boşalma akımının buna bağlı olarak üstel bir şekilde ve daha büyük değerler alacak şekilde arttığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, boşalma geriliminin sabit değerinde boşalma aralığı arttıkça boşalma akımının değeri daha da azalmıştır. Bu durum, ortamdaki nemli havanın boşalmanın elektriksel iletkenliği parametresine göstermiş olduğu etkinin bir sonucudur.



Şekil 4. 9: % 80 nem oranı için farklı elektrot aralıklarına ait V-I karakteristiği

Ortamdaki nem oranının daha da artırılarak % 100 yapılması durumunda korona boşalmasının farklı elektrot aralıkları için alınan *Gerilim-Akım* karakteristiği ise Şekil 4.10'da verilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere, sabit elektrot açıklığında boşalmanın besleme gerilimi arttıkça, boşalma akımının buna bağlı olarak üstel bir şekilde ve daha büyük değerler alacak şekilde arttığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, boşalma geriliminin sabit değerinde boşalma aralığı arttıkça boşalma akımının değeri daha da azalmıştır. Bu durum, ortamın elektrik alan yoğunluğuyla doğrudan ilişkili olup ortamdaki nemli havanın boşalmanın elektriksel iletkenliği parametresine göstermiş olduğu etkinin bir faktörü olarak da düşünülebilir. Nem oranının artırılmasının etkisi özellikle geniş elektrot açıklarında daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır. Bu durum yukarıdaki grafiklerden de açıkça görülebilir.



Şekil 4. 10: % 100 nem oranı için farklı elektrot aralıklarına ait V-I karakteristiği

Ülkemizde uzun iletim hatlarında taşınan enerjinin gerilim seviyeleri 154 kV ile 380 kV olarak bilinir. Bu değerler gözönüne alındığında atmosferik nemin iletim hatları üzerindeki etkisi gözardı edilemeyecek değerde büyük olacaktır. Yukarıdaki grafikler incelendiğinde, bu durum daha net olarak görülebilir. Dolayısıyla, hat parametrelerinin hesaplanmasında ve özellikle izolator ve direklerin boyutlandırılmalarında atmosferik nemin de hesaba katılmasının önemli bir gereklilik olacağı aşikârdır. Bu işlemlerin yapılması sırasında, bölgesel meteorolojik verilerin ilgili kuruluşlardan temin edilerek hat elemanlarının yüksek gerilime göre boyutlandırılması, hesaplamalardaki hata oranını önemli oranda azaltacaktır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Elektrik enerji verimliliğini doğrudan etkileyen faktörlerden birisi de iletim hatlarında meydana gelen kayıplardır. Bu kayıpların önemli bir türünü oluşturan korona kayıplarının azaltılması, günümüzde önemli bir araştırma konusunu teşkil etmektedir. Korona kayıplarının azaltılmasına yönelik yapılan bu çalışmada, korona boşalmalarının tutuşması ve sönümlemesinde atmosferik nem etkisinin deneysel olarak incelenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, özellikle yüksek gerilim enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde kullanılan izolatör ve direklerin boyutlandırılmasında önemli katkılar sağlayacağı düşünülen bu çalışmada, atmosferik nemin enerji iletim hatlarındaki elektriksel kayıplar üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiş ve aşağıda sıralanmış olan sonuçlar elde edilmiştir:

- Atmosferik nemin yüksek gerilimli elektrik enerjisi iletim hatlarında meydana gelen korona boşalmalarının tutuşma ve sönümleme gerilimlerinin sınır değerleri üzerinde kayda değer bir etkisinin olduğu ortaya çıkmıştır. Tez çalışmamızın deneysel sonuçlarından elde edilen bulgulara göre nemin artmasına bağlı olarak boşalmanın tutuşma ve sönümleme gerilimleri sınır değerlerinin belirli oranlarda azaldığı görülmüştür. Bu etkinin, özellikle geniş elektrot açıklarında daha da belirginleştiği tespit edilmiştir. Nemin artışı, elektrotlar arası iletkenliği düşürdüğü için alınan sonuçların literatürdeki çalışmalarla önemli oranda örtüştüğü görülmüştür (Bian ve ark., 2011).
- Sabit elektrot açıklığında boşalmanın besleme gerilimi arttıkça, boşalma akımının buna bağlı olarak üstel şekilde bir değişim gösterdiği gözlenmiştir. Townsend boşalma teorisine göre sabit elektrot aralığında gerçekleşen boşalmanın akım karakteristiğinin üstel şekilde bir değişim gösterdiği ileri sürülmektedir. Ayrıca literatürde yapılan diğer çalışmalarda da boşalma akımının lineer olmayan bir davranış sergilediği ortaya konmuştur. Tez çalışmamızda alınan sonuçların literatür sonuçlarıyla iyi uyum içerisinde olduğu görülmüştür (Wadhwa, 2007).
- Boşalmanın tutuşma gerilimi değerlerine karşılık gelen akım değerlerinin ortamdaki nem oranıyla doğru orantılı olan fakat non-lineer bir değişim gösterdiği görülmüştür. Tez çalışmamız kapsamında alınan deneysel sonuçların literatür çalışmalarıyla karşılaştırılması sonucunda, boşalmanın akım karakteristiğinin nem oranıyla birlikte

artan bir non-lineer değişim gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bu durum, nemin artmasına bağlı olarak boşalma kanalının iletkenliğinin artmasının bir sonucu olarak değerlendirilebilir (Bian ve ark., 2011).

- Aynı besleme gerilimi değerinde, elektrotlar arasındaki açıklığın artmasına karşılık boşalma akımının azaldığı görülmüştür. Normal koşullarda elektrotlar arasındaki elektrik alan yoğunluğunun $E=V/d$ kuralına göre değiştığı göz önüne alındığında, elektrotlar arası mesafe arttıkça, elektrik alan yoğunluğu da buna karşılık azalmaktadır. Böylece, boşalma akımının değeri de buna bağlı azalmış olur.
- Nem oranının artırılmasının etkisi, özellikle geniş elektrot açıklarında daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır. Geniş elektrot açıklarında elektrotlar arası nem kapasitesinin yüksek olması ve nemin boşalma kanalının iletkenliğini doğrudan etkilemesi ve özellikle nemin boşalma akımı üzerinde non-lineer bir değişim göstermesi sonucu bu etki, geniş elektrot aralıklarında daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır.
- Deneysel çalışmalar neticesinde elektrotlar arası açıklığın korona boşalmasının oluşumunda önemli bir etkisinin olduğu ve açıklığın artmasının korona boşalmasının tutuşmasını zorlaştırıcı yönde bir etki gösterdiği sonucuna varılmıştır. Boşalma kanalındaki elektrik alan yoğunluğunun $E=V/d$ oranına bağlı olarak değişmesi göz önüne alındığında, geniş elektrot açıklıklarında aralığın artmasına karşılık boşalmanın tutuşmasının zorlaştığı ve boşalma başlangıç gerilimi seviyelerinin de yükseldiği görülmüştür. Bu durum, teorik hesaplamalarla örtüşmektedir.

5.2. Öneriler

Yüksek gerilim enerji iletim hatlarının boyutlandırılmasında nem parametresinin göz önünde bulundurulmasının, kayıpların ve hatta maliyetin azaltılmasında önemli bir etkisi olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, benzer bir çalışma *sıcaklık-nem* ilişkisinin araştırılması için yapılmasının isabetli olacağı düşünülmektedir. Gelecekte kurulacak yüksek gerilimli enerji iletim hatlarındaki izolatör ve direklerin boyutlandırılmasında, bölgesel nem değerlerinin göz önünde bulundurularak gerekli hesaplamaların yapılmasının enerji verimliliği açısından büyük öneme sahip olacağı düşünülmektedir. Ülkemizde bu tür faaliyetleri yürütmekte olan TEİAŞ ve TEDAŞ adlı kuruluşların bu durumu göz önüne almalarının teknik kayıpları önemli ölçüde azaltabileceği düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Aissou, M., Said H. A., Nouri H. and Zebboudj Y., 2013. Analysis of Current Density and Electric Field beneath a Bipolar DC Wires-to-Plane Corona Discharge in Humid Air, *J. Appl. Phys. Eur. Phys. J. Appl. Phys*, 61.
- Aissou, M., Said H. A., Nouri H. and Zebboudj Y., 2015. Effect of Relative Humidity on Current-Voltage Characteristics of Monopolar DC Wire-to-Plane System. *Journal of Electrostatics*, 76, 108–114.
- Anumaka, M. C., 2012. Influence of Corona and Skin Effect on the Nigerian 330KV Interconnected Power System, *IJRRAS*, 12(2), 328–332.
- Atten, P., Castellanos, A., 1995. Handbook of Electrostatic Processes, Chang, J. S., Kelly, A. J., & Crowley, J. M., *CRC Press*, 152.
- Bal, M., 2010, Yüksek gerilim enerji iletiminde korona kayıpları, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 22.
- Bian, X., Hui, J., Chen, Y., Wang, L., Guan, Z. and MacAlpine, M., 2009. Simulation of Trichel Streamer Pulse Characteristics at Various Air Pressures and Humidity, *2009 Annual Report - Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, CEIDP, U.S.A.*, 572-575.
- Bian, X., Meng, X., Wang, L. and MacAlpine, J. M. K., 2011. Negative Corona Inception Voltages in Rod-Plane Gaps at Various Air Pressures and Humidities, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 18(2), 613–619.
- Chen, J., and Wang, P., 2005. Effect of Relative Humidity on Electron Distribution and Ozone Production by DC Coronas in Air, *IEEE Transactions on Plasma Science*, 33(2), 808- 812 .
- Chen, L., Bian, X., Wang L. and Guan Z., 2012. Effect of Rain Drops on Corona Discharge in Alternating Current Transmission Lines with a Corona Cage, *Japanese Journal of Applied Physics*, 51(9 PART3).
- Das-Gupta, D. K., 1992. Electrical Properties of Surfaces of Polymeric Insulators, *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 27(5), 909–923.

- Davidson, E., Odubiyi, A., Kachienga, M. O. and Manhire. B., 2002. Technical Loss Computation and Economic Dispatch Model for T & D Systems in a Deregulated ESI.” *Power Engineering Journal*, 16(2), 55–60.
- Dawood, M. A., and Narejo G. B. 2015. Modelling of Corona Effect in AS Transmission Systems, *International Journal Scientific & Engineering Research*, 6(1).
- Deng, F., Ye, L. Song, K. and Huang, T., 2014. Effect of Humidity on Negative Corona Trichel Pulses, *Japanese Journal of Applied Physics*, 53(8).
- Gomber, M.G., Deno, D.W and Zaffanella L.E., 1982. Transmission Line Reference Book 345 kV and Above, Second Edition, J. J. Laforest, *Electric Power Research Institute*, California, 182.
- Güneş, D. S., 2003. Korona Kayıplarının Modellenmesi, *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt:7, Sayı:4, 2–6.
- Hansu, F., 2005. Bariyer Boşalmasının Gaz-Dielektrik ve Sıvı-Dielektrik sistemlerinin sorbsiyon özellikleri üzerine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 10.
- Horváth, G., Országh, J., Skalný, J. D. Mason, N. J. and Chernyak, V., 2007. Influence of Humidity on Ozone Concentration in Negative Corona Discharge Fed by Oxygen, *International Workshop O3zotech*, 40–43.
- Hu, Q., Shu, L., Jiang, X., Sun, C., Qui, Z. and Lin, R., 2014. Influence of Air Pressure and Humidity on Positive Direct Current Corona Discharge Performances of the Conductor in a Corona Cage, *International Transactions on Electrical Energy Systems* 24(5), 723–735.
- İzgi, E., 2006. Enerji İletim Sistemlerinin Çevresel Faktörlere Bağlı Olarak Toprak Yolu Analizi ve Simülasyonu, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 17.
- Jiang, X., Hu J., Zhang Z., and Yuan J., 2008. Switching Impulse Flashover Performance of Different Types of Insulators at High Altitude Sites of above 2800 M, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 15(5), 1340–1345.

- Kumar, A., 2013. Corona Effect on Transmission Lines, *International Journal of Electrical and Electronics Engineering Research (IJEEER)*, 3(5), 133–136.
- Lin, H. R., Niu, H. Q. and Zhang, Y., 2012. Experimental Study of Discharge Voltage of Air Gap with High Humidity, *IEEE 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Italy.
- Liu, N., Dwyer, J. R. and Rassoul, H. K., 2012. Effects of Pressure and Humidity on Positive Corona Inception from Thundercloud Hydrometeors, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 80, 179–186.
- Lühring, U., Wienold, D. and Jenau F., 2017. Influence of Humidity on Pulse Shape Parameters of Positive Corona Discharges in Air at DC Voltage, *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, Italy, 1-5.
- Meng, X., Hui, J., Mei, H., Wang, L. and Guan, Z., 2013. Influence of Pressure and Humidity on the Amplitude - Phase Distribution of AC Corona Pulse, *IEEE Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, 838–841.
- Mestiri, R., Hadaji, R. and Nasrallah, S. B., 2013. Experimental Investigation of the Electric Discharge Stability: Behaviour with the Air Relative Humidity, *International Journal of Energy Engineering (IJEE)*, 3(5), 158–162.
- Naidu, M.S. and Kamaraju V., 1995. High Voltage Engineering, Second Edition, *Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited*, U.S.A., 13.
- Navani, J. P., Sharma, N. K. and Sapra, S., 2012. Technical and Non-Technical Losses in Power System and Its Economic Consequence in Indian Economy, *International Journal of Electronics and Computer Science Engineering*, 1(2), 757–761.
- Özkaya, M., 2008. Yüksek Gerilim Tekniği ‘statik elektrik alanı ve boşalma olayları’ cilt 1, *Birsen Yayın Evi*, 2008, 233-284.
- Peek, W.F., 1915. Dielectric Phenomena in High Voltage Engineering, First Edition, *McGRAW-HILL BOOK COMPANY, Inc*, London, 38.

- Phan-Cong J. L., Pirotte P., Brunelle R., Trinh N.G., 1974. A Study of Corona Discharges at Water Drops over the Freezing Temperature Range, *IEEE Transactions on Power Apparatus and System*, 93(2), 727–734.
- Sharma, S. K., Goel, K., Gupta A., and Kumar H., 2012. Corona Effects on EHV AC Transmission Lines, *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*, 1(5), 160–164.
- Skalny, J. D., Orszagh, J., Horvath, G., Mason, N. J. and Vladoiu, R., 2008. The DC Corona Discharges in Flowing Dry and Humid Carbon Dioxide, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 10(1), 117–123.
- Soban, T. and Ohyama R., 2016. A Study on the Humidity Effect of AC Corona Discharge for a Thin-Wire Electrode Arrangement, *XLI*, 1–7.
- Souza, A. . L. and Lopes, I. J. S., 2006. Electric field distribution along the surface of high voltage polymer insulators and its changes under service conditions, *Conference Record of the 2006 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, 1, 56–59.
- Taplamacioglu, M. C. and Kunihiro Hidaka., 2000. Coaxial Corona Discharge under Controlled Air Conditions, *T. IEE Japan*, 120–A, No.(1).
- Tonmitr, K. and Ratanabuntha, T., 2016. Comparison of Power Loss Due to Corona Phenomena Model with Peek's Formula in High Voltage 115 kV and 230 kV System *Procedia Computer Science*, 86, 385–388.
- Trinh, N. G. and Jordan J. B., 1968. Modes of Corona Discharges in Air, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems PAS*, 87(5), 1207–1215.
- Trinh, N.G., 1995. Partial Discharge XIX, Discharge in Air Part I: Physical Mechanisms, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 11(2), 23–29.
- Vincent N. O., Sampson A. Bendor, and Akpama E. James., 2017. Open Access Analysis of Corona Effect on Transmission Line, *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 6(7), 75–88.
- Wadhwa C. L., 2007. High voltage Engineering, Second Edition, *New Age International Limited*, New Delhi, 2-3.

- Wen, X., Yuan, X., Lan, L., Long, M. and Hao, L., 2016. Study on the Effective Ionization Rate of Atmospheric Corona Discharge Plasmas by Considering Humidity, *IEEE Transactions on Plasma Science*, 44(12), 3386–3391.
- Xu, M. and Tan, Z., 2014. Calculation of Townsend Second Ionization Coefficient for Photoemission at Different Humidities, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 21(4), 1764–1767.
- Xu, M., Tan, Z. and Li, K., 2012. Modified Peek Formula for Calculating Positive DC Corona Inception Electric Field under Variable Humidity, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 19(4), 1377-1382.
- Yahaya, E. A., Jacob T., Nwohu, M., and Abubakar, A., 2013. Power Loss due to Corona on High Voltage Transmission Lines *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 8(3), 14-19.
- Yawootti, A., Intra, P., Tippayawong, N. and Rattanadecho, P., 2015. An Experimental Study of Relative Humidity and Air Flow Effects on Positive and Negative Corona Discharges in a Corona-Needle Charger, *Journal of Electrostatics*, 77, 1–7.
- Yellaiah, A and Gunasekaran B., 2010. Corona Loss Measurements in Corona Cage on UHV Bundle, *16th national Power Systems Conferance, India*, 558–561.
- Yıldırım H., 2003. Elektriksel Boşalmaların Yük Benzetim Yöntemiyle Sayısal Analizi, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2-5.
- Yıldırım, H. ve Kalenderli, Ö., 2005. Korona Başlangıç Geriliminin Yük Benzetim Yöntemiyle Hesabı, *Itüdergisi/d Mühendislik*, 4(1), 25–36.
- Yi, Y., Chen, Z. and Wang, L., 2016. Influence of Humidity on Spectrum Characteristics of Audible Noise of DC Transmission Lines, *Annual Report –IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, CEIDP, Canada.*– 275–78.
- Zhang, X., Bian X., Cui, X., Lu, T., Li, H., Li, Q. and Zhu Y., 2016. Experimental Investigation on Humidity Effects on the Variations of Positive DC Corona Discharge, *IEEE International Power Modulator and High Voltage Conference (IPMHVC)*, 598–602.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Rıdvan ÇETİN
Doğum Yeri ve Tarihi : Kurtalan - 01.02.1990
Telefon : 05071852148
E-posta : cetinridvan72@gmail.com

EĞİTİM

<u>Derece</u>		<u>Bitirme Yılı</u>
Lise	: Batman Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi, BATMAN	2008
Üniversite	: Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, ADANA	2014

DENEYİMLERİ

<u>Yıl</u>	<u>Kurum</u>	<u>Görevi</u>
2017-2018	Güneştekin İnş. Turizm Oto. ve Tic. Ltd. Şti.	Şantiye Elektrik Mühendisi
2018-Devam Ediyor	Siirt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI: Yüksek Gerilim

YABANCI DİLLER: İngilizce