

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

**SICAKLIĞIN İZOLATÖR YÜZEYLERİNDE GERÇEKLEŞEN YÜZEYSEL
BOŞALMALARA OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Edip ERTUĞRUL
(133103004)**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Tez I. Danışmanı: Doç. Dr. Fevzi HANSU
II. Danışman: Doç. Dr. Rıdvan SARAÇOĞLU**

**Ağustos, 2019
SİİRT**

TEZ KABUL ve ONAY SAYFASI

Edip ERTUĞRUL tarafından hazırlanan “Sıcaklığın İzolatör Yüzeylerinde Gerçekleşen Yüzeysel Boşalmalara Olan Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması” adlı tez çalışması 06.08.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

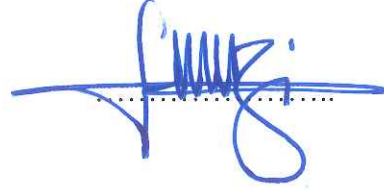
Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Davut SEVİM



Danışman

Doç. Dr. Fevzi HANSU



Üye

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Sait AYDIN



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Fevzi HANSU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖN SÖZ

Lisansüstü eğitimimin her aşamasında bilgi ve deneyimleri rehberliğinde ilerlediğim, tez çalışmamın teori ve uygulama safhalarında sabırla yanımda olan kıymetli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fevzi HANSU' ya; tez çalışmamın araştırma ve deney süreçlerinde yardımlarını ve değerli vaktini esirgemeyen değerli arkadaşım Arş. Gör. Rıdvan ÇETİN' e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca;

Eğitim yaşantım süresince gerek maddi gerekse de manevi destekleri ve fedakârlıkları ile benim için en iyi şartların oluşmasına çabalayan anneme ve babama; tez çalışmamın her aşamasında desteklerini esirgemeyen kıymetli eşime ve tüm aileme şükranlarımı sunarım.


Edip ERTUĞRUL

2019-SİİRT

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Elektrik İletim ve Dağıtım Sistemlerinde Kullanılan İzolatörler.....	2
1.1.1. İzolatörlerin teknik yapıları	3
1.2. İzolatörlerin Sınıflandırılması.....	4
1.2.1. Hammaddesine göre izolatör çeşitleri	4
1.2.1.1. Porselen İzolatörler:	4
1.2.1.2. Cam İzolatörler:.....	5
1.2.1.3. Epoksi Reçineli İzolatörler:	5
1.2.1.4. Silikon İzolatörler:	6
1.2.2. Taşınan anma gerilimine göre izolatör çeşitleri	7
1.2.3. Kullanım amacına göre izolatör çeşitleri.....	7
1.2.4. Kullanım yerlerine göre izolatör çeşitleri.....	8
1.3. Yüzeysel Elektrik Boşalmaları	9
1.3.1. Yüzeysel elektrik boşalmalarının kapsamı.....	9
1.3.2. Düzgün alanda gerçekleşen yüzeysel boşalmalar	10
1.3.3. Düzgün olmayan alanda gerçekleşen yüzeysel boşalmalar.....	10
1.3.4. Yüzeysel boşalmayı etkileyen faktörler	11
1.4. Elektriksel Delinme	13
1.4.1. Elektriksel ağaçlanma.....	14
1.4.1.1. Kanal delinmesi.....	14
1.5. İyonizasyon ve İyonizasyon Türleri	17
1.5.1. İyonizasyon	17
1.5.2. İyonizasyon türleri.....	18
1.5.2.1. Çarpma sureti ile iyonizasyon.....	19

1.5.2.2. Foto iyonizasyon	20
1.5.2.3. Termik iyonizasyon.....	20
1.5.2.4. Yüzeysel iyonizasyon.....	21
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	22
2.1. Konuyla İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar	22
2.2. Tezin Güncelliği	28
3. MATERYAL ve METOT	30
3.1. Materyal	30
3.2. Metot	34
4. BULGULAR.....	35
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	50
5.1. Sonuçlar	50
5.2. Öneriler	51
6. KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	55

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Mesnet izolatorüne ait görüntüler.....	3
Şekil 1.2. Bir izolatorün teknik yapısı	3
Şekil 1.3. Porselen İzolatör Örnekleri	4
Şekil 1.4. Cam izolator görüntüsü	5
Şekil 1.5. Epoksi reçineli izolator görüntüsü.....	6
Şekil 1.6. Silikon izolatorlerin görüntüleri	7
Şekil 1.7. Mesnet izolatorlerin görüntüleri	8
Şekil 1.8. Zincir izolatorlerin görüntüleri	8
Şekil 1.9. Farklı iki katı yalıtkan yüzeyi arasında oluşan boşluklar (Arıkan, 2013).....	9
Şekil 1.10. Düzgün alanda yüzeysel boşalma: 1) elektrotlar, 2) katı yalıtkan 3) hava (Erdoğan, 2006)	10
Şekil 1.11. Lichtenberg şekli	10
Şekil 1.12. Klidonograf görüntüsü (Erdoğan, 2006)	11
Şekil 1.13. İzolatörde iletken halkaların görüntüsü (Erdoğan, 2006).....	13
Şekil 1.14. Delinmeye uğramış izolator görüntüsü	14
Şekil 1.15. Katı yalıtkan delinmesi (İlhan, 2005).....	15
Şekil 1.16. Katı yalıtkan maddelerde kanal delinmesi (İlhan, 2005)	17
Şekil 1.17. Enerji değişimine bağlı olarak maddenin hal değişimi (Çemişkezek, 2014).....	18
Şekil 3.1. Deney sisteminde kullanılan izolator görüntüsü	30
Şekil 3.2. Deneysel çalışmada kullanılan dâhili tip gerilim trafosu	31
Şekil 3.3. Ayarlanabilir gerilim kaynağı (Varyak)	31
Şekil 3.4. Çeşitli frekanslarda ayarlı çıkış gerilimi verebilen AC güç kaynağı görüntüsü	32
Şekil 3.5. Binder marka ED53 tipi etüv ısıtıcı.....	32
Şekil 3.6. Lazerli IR temassız sıcaklık ölçer görüntüsü.....	33
Şekil 3.7. Deney setine ait genel bir görüntü.....	33
Şekil 4.1. İzolatörün -2 °C yüzey sıcaklığına ilişkin Gerilim-Akım karakteristiği	35

Şekil 4.2. İzolatörün 5 °C yüzey sıcaklığına ilişkin <i>Gerilim-Akım</i> karakteristiği	36
Şekil 4.3. İzolatörün 10 °C yüzey sıcaklığına ilişkin <i>Gerilim-Akım</i> karakteristiği	36
Şekil 4.4. İzolatörün 22 °C yüzey sıcaklığına ilişkin <i>Gerilim-Akım</i> karakteristiği	37
Şekil 4.5. İzolatörün 30 °C yüzey sıcaklığına ilişkin <i>Gerilim-Akım</i> karakteristiği	37
Şekil 4.6. İzolatörün 45 °C yüzey sıcaklığına ilişkin <i>Gerilim-Akım</i> karakteristiği	38
Şekil 4.7. İzolatörün 55 °C yüzey sıcaklığına ilişkin <i>Gerilim-Akım</i> karakteristiği	38
Şekil 4.8. İzolatörün 75°C yüzey sıcaklığına ilişkin <i>Gerilim-Akım</i> karakteristiği	39
Şekil 4.9. İzolatörün 100°C yüzey sıcaklığına ilişkin <i>Gerilim-Akım</i> karakteristiği	39
Şekil 4.10. İzolatörün 150°C yüzey sıcaklığına ilişkin <i>Gerilim-Akım</i> karakteristiği	40
Şekil 4.11. İzolatörün 22 -75 °C aralığındaki çeşitli yüzey sıcaklıklarına ilişkin karşılaştırmalı <i>Gerilim-Akım</i> karakteristikleri.....	41
Şekil 4.12. İzolatörün -2 ile 150 °C aralığındaki çeşitli yüzey sıcaklıklarına ilişkin karşılaştırmalı <i>Gerilim-Akım</i> karakteristikleri.....	42
Şekil 4.13. İzolatörün -2 ile 150 °C aralığındaki belirlenen tüm yüzey sıcaklıklarına ilişkin karşılaştırmalı <i>Gerilim-Akım</i> karakteristikleri	43
Şekil 4.14. Yüzeysel Boşalmanın, gerilimin 5 kV'tan düşük değerlerinde alınan sızıntı akımı darbelerinin osiloskop ekranı görüntüsü	44
Şekil 4.15. Yüzeysel Boşalmanın tutuşma başlangıcında alınan akım darbeleri ve uygulama gerilimi sinyallerinin osiloskop ekranı görüntüsü	44
Şekil 4.16. Yüzeysel Boşalmanın tutuşması sonrasındaki akım darbeleri ve uygulama gerilimi sinyallerinin osiloskop ekranı görüntüsü	45
Şekil 4.17. Yüzeysel Boşalmanın gelişimi sırasında alınan akım darbeleri ve uygulama gerilimi sinyallerinin osiloskop ekranı görüntüsü	45
Şekil 4.18. İzolatörün 30°C sabit yüzey sıcaklığındaki uygulama geriliminin 100 Hz frekansına ilişkin <i>Gerilim-Akım</i> karakteristiği.....	46
Şekil 4.19. İzolatörün 30°C sabit yüzey sıcaklığındaki uygulama geriliminin 200 Hz frekansına ilişkin <i>Gerilim-Akım</i> karakteristiği.....	47
Şekil 4.20. İzolatörün 30°C sabit yüzey sıcaklığındaki uygulama geriliminin 350 Hz frekansına ilişkin <i>Gerilim-Akım</i> karakteristiği.....	48
Şekil 4.21. İzolatörün 30°C sabit yüzey sıcaklığındaki uygulama geriliminin 500 Hz frekansına ilişkin <i>Gerilim-Akım</i> karakteristiği.....	48
Şekil 4.22. İzolatörün 30°C sabit yüzey sıcaklığındaki uygulama geriliminin 50, 100, 200, 350 ve 500 Hz frekanslarına ilişkin karşılaştırmalı <i>Gerilim- Akım</i> karakteristikleri	49

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>DWT</i>	: Discrete Wavelet Transform (Ayrık Dalgacık Dönüşümü)
<i>EMTP</i>	: Electromagnetic Transients Program
<i>FFT</i>	: Fast Fourier Transform (Hızlı Forier Dönüşümü)
<i>IR</i>	: İnfrared
<i>MRSD</i>	: Multi Resolution Signal Decomposition (Çok Çözünürlüklü Sinyal Ayrışması)
<i>UV</i>	: Ultraviyole
<i>YG</i>	: Yüksek Gerilim
<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
<i>cm</i>	: Santimetre
<i>mm</i>	: Milimetre
<i>C°</i>	: Santigrat Derece
<i>d</i>	: Ortam Kalınlığı
<i>dk</i>	: Dakika
<i>ε</i>	: Dielektrik katsayısı
<i>f</i>	: Frekans
<i>gr</i>	: Gram
<i>Hz</i>	: Hertz
<i>I</i>	: Akım değeri
<i>KHz</i>	: Kiloherz
<i>Km</i>	: Kilometre
<i>KE</i>	: Kinetik Enerji
<i>kV</i>	: Kilovolt
<i>MHz</i>	: Megahertz
<i>MV</i>	: Megavolt
<i>m</i>	: Kütle
<i>mg</i>	: Miligram
<i>μA</i>	: Mikroamper

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
μs	: Mikrosaniye
μm	: Mikrometre
PD	: Kısmi Boşalma
U	: Elektrotlar arası gerilim
U_0	: Çarpma suretiyle iyonizasyonun başladığı gerilim
V	: Volt
VA	: Voltamper
V_b	: İyonizasyon için gerekli enerji
V_{ef}	: Etkin Hız
W_i	: İyonizasyon enerjisi

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SICAKLIĞIN İZOLATÖR YÜZEYLERİNDE GERÇEKLEŞEN YÜZEYSEL BOŞALMALARA OLAN ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Edip ERTUĞRUL

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

Danışman: Doç. Dr. Fevzi HANSU

2019, 55+xii Sayfa

Günümüzde artan nüfus ve teknolojik gelişmelerle birlikte artan enerji talebine karşılık enerji kaynaklarının yetersiz oluşu araştırmacıları yeni enerji kaynakları bulmanın yanı sıra mevcut elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen elektriksel kayıpları azaltmaya yöneltmektedir. Bu tür elektrik sistemlerinde meydana gelen elektriksel kayıplardan biri de katı yalıtkan maddeler (izolatör) ile gaz yalıtkan maddeler (hava) arasında sınır yüzeyde görülen yüzeysel boşalmalardır. Elektriksel kayıpların azaltılmasına yönelik gerçekleştirilen bu çalışmada, sıcaklığın bir izolatör yüzeyinde gerçekleşen yüzeysel boşalmalara olan etkisine yönelik bazı deneysel uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Gerilim değerleri çalışılan her sıcaklık değeri için, yüzeysel boşalma tutuşuncaya kadar arttırılmış ve boşalmanın tutuşmasıyla birlikte (izolatör yüzeyinde tahribat oluşmasını önlemek amacıyla) hızlıca azaltılarak sıfıra çekilmiştir. Benzer uygulamalar farklı frekans ve farklı sıcaklık değerleri için de tekrarlanarak hem sıcaklığa bağlı hem de frekansa bağlı Gerilim-Akım grafikleri oluşturulmuş ve yorumlanmıştır. Sonuçlar ortam sıcaklığına bağlı olarak değişen izolatör yüzey sıcaklığının yüzeysel boşalmalar üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu ortaya koymaktadır. Hem yüksek hem de düşük yüzey sıcaklığı koşullarında boşalmanın daha düşük gerilim seviyelerinde gerçekleştiği görülmüştür. Bununla birlikte düşük yüzey sıcaklığının yüksek sıcaklık parametresine göre yüzeysel boşalmalar üzerinde daha belirgin bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İzolatör, Yüzeysel Boşalmalar, Yüksek gerilim, Enerji verimliliği, Sıcaklık, Frekans

ABSTRACT

MSc. THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE SURFACE DISCHARGES OCCURED ON INSULATORS

Edip ERTUĞRUL

**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

2019, 55+xii Pages

The lack of energy resources in response to the increasing energy demand with increasing population and technological developments, forces researchers to reduce the electrical losses in existing electricity generation, transmission and distribution systems. One of the electrical losses in such electrical systems is the surface discharges which occurred between solid insulators and gas insulating materials like air. In this study which aimed to reduce electrical losses, some studies have been carried out on the effect of temperature on the surface discharge occur on an insulator surface. The voltage values were increased for each temperature value until the surface discharge was ignited and rapidly reduced to zero with the release of the discharge (to prevent damage to the insulator surface). Similarly, the same applications are repeated for different frequency and different temperature values. Both voltage dependent and frequency dependent Voltage-Current graphs are created and interpreted. The results show that the insulator surface temperature, which varies depending on the surface temperature, has a significant effect on the surface discharge. It has been found that discharging occurs at lower stress levels under both high and low surface temperature conditions. However, low surface temperature was found to be a more significant parameter on surface discharge than high temperature parameter.

Keywords: Insulator, Surface Discharge, High Voltage, Energy Efficiency, Temperature, Frequency.

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak enerjiye olan ihtiyaç da gün geçtikçe artmaktadır. Mevcut enerji kaynaklarının sınırlı olması ve enerji maliyetlerinin giderek artması gibi etmenler, enerji kullanımının en verimli şekilde yapılmasını âdeta zorunlu kılmaktadır. Günümüz araştırmalarının bir kısmı yeni enerji kaynaklarını bulmaya yönelik olurken; önemli bir kısmı ise mevcut sistemleri en verimli olacak şekilde optimize etmeye yöneliktir.

Günümüzde bilinen enerji kaynaklarından en yaygın olarak kullanılmakta olan elektrik enerjisi; üretimi, iletimi, dağıtımı ve kullanım kolaylığı gibi üstünlükleri ile mevcut kaynaklar arasında zirvedeki yerini hâlâ korumaktadır. Bununla birlikte, teknolojinin gelişmesine paralel olarak bu enerjiye olan ilgi de giderek artmaktadır. Nitekim günümüzde, neredeyse üretilen bütün sistemler elektrik enerjisiyle çalışacak şekilde tasarlanmakta ve üretilmektedirler. Bu durum elektrik enerjisinin önemini daha da arttırmakta ve dolayısıyla araştırmacıların çoğu çalışmalarını bu yönde yoğunlaştırmaktadırlar.

Elektrik enerjisinin uzak mesafelere iletimi ve dağıtımının, beraberinde bazı sorunları meydana getirdiği bilinmektedir. Bunun yanı sıra, elektrik enerjisine olan talebin her geçen gün daha da artması, araştırmacıları elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen kayıp-kaçak oranlarını düşürmeye yönelik çok çeşitli çalışmalar yapmaya sevk etmektedir. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda, enerji verimliliği kavramı güncel bir problem olarak ortaya 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.

Elektrik enerjisi sistemlerinde meydana gelen kayıplar genel olarak teknik kayıplar ve teknik olmayan kayıplar olmak üzere iki grupta toplanabilir. Teknik kayıpların belirli bir kısmı sistemlerde kullanılan malzeme ve cihazlardan

kaynaklanırken; önemli bir kısmı ise sistemlerde meydana gelen elektriksel boşalmalar neticesinde oluşan yük kayıplarıdır.

Elektriksel sistemlerde ve özellikle elektrik enerjisi iletim-dağıtım hatlarında meydana gelen ve teknik kayıplardan biri de izolatör yüzeylerinde gerçekleşen yüzeysel elektrik boşalmalarıdır. Bu tür boşalmaları etkileyen önemli bazı parametreler gerilimin artırılması, yüzey sıcaklığının artırılması, yüzeyin pürüzlülüğü, kuvvetli elektrik alanı etkisiyle ve yüzeye foto-bombardıman etkisidir.

İletim hatlarında yüzeysel boşalmalar katı yalıtkan maddeler (izolatör) ile gaz yalıtkan maddeler (hava) arasında sınır yüzeyde görülen elektriksel boşalmalar olarak bilinir. Bu tür boşalmalar kendi içerisinde düzgün alanda gerçekleşen yüzeysel boşalmalar ile düzgün olmayan alanda gerçekleşen yüzeysel boşalmalar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Elektrik alanın düzgünlüğü ise elektrotların veya izolatörün şekline bağlıdır. Yüzeysel boşalmaların oluşumu sırasında tahrip gücü yüksek olan ark olayları meydana gelir. Bu arklar çoğu zaman izolatör yüzeyini de tahrip etmektedir. Bazen bu etki, izolatörleri korumak amacıyla kullanılan ark boynuzlarını da tahrip etmektedir. Oluşan tahribat sonucunda, malzemenin kor haline gelen metal kısımları kızgın eriyik şeklinde yeryüzüne düşerek birtakım yanma olaylarına ve yangınlara sebep olmaktadır.

1.1. Elektrik İletim ve Dağıtım Sistemlerinde Kullanılan İzolatörler

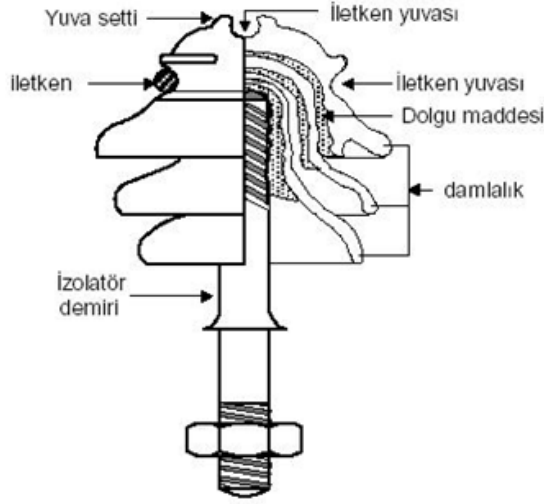
İzolatör, Türk Standartları Enstitüsü'nün 6 Ocak 1987 tarihli TS 5007 nolu kararında "Potansiyel farklarının etkisi altında bulunan malzeme ya da iletkenlerin elektriksel yalıtımını sağlamak ve mekanik olarak tespiti için kullanılması amaçlanan düzendir." şeklinde tanımlanmıştır. Diğer bir ifade ile izolatör, enerji nakil hatlarını hem taşıma hem de toprak ve diğer iletkenlere karşı izole etmeye yarayan şebeke elemanı olarak bilinir. İzolatörlerin çeşitliliği ve boyutlandırılması, kullanıldığı yere ve taşıdığı gerilim seviyesine göre değişir. En yaygın olarak kullanılan türleri mesnet izolatörleri, askı izolatörleri, gergi izolatörleri ve geçit izolatörleridir. Genel olarak porselen, epoksi ve cam malzemelerden imal edilirler. Yüzeyleri prüzsüz ve sırlı malzemeyle kaplanır. Yüzeysel boşalmalara karşı dayanımlarını arttırmak amacıyla genellikle kıvrımlı olarak imal edilirler. İletim hatlarında yaygın olarak kullanılan mesnet izolatörlerinin örnek görüntüleri Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Mesnet izolatorüne ait görüntüler

1.1.1. İzolatorlerin teknik yapıları

İzolatorler her türlü hava koşuluna (rüzgâr yükü, buz yükü, nem, kar, güneş vs.), ultraviyole ışınlar, kaçak akım etkilerine, uygulanan gerilimlere ve titreşimlerin sebep olduğu mekanik yükleri taşıma özelliğine sahip olmalıdır. Genel olarak bir izolator Şekil 1.2’de gösterilen kısımlardan oluşmaktadır.



Şekil 1.2. Bir izolatorün teknik yapısı (Megep, 2011)

Bir izolatorün teknik yapısına ait kısımlar aşağıda özetlenmiştir (Megep, 2011).

- İletken yuvası: İzolatoré bağlanacak iletkenlerin yerleştirildiği yerler olup izolatorlerin tepe ve yanlarında bulunur.

- b. İzolator Eteği (damlalık): İzolatorün yük veya atmosfer koşullarından ziyade, elektrik gerilimi atlama direncini arttırmak amaçlı şekillendirildiği kısımdır.
- c. İzolator Demiri: İzolatorün görev yapacağı zemine vidalı veya vidasız olarak sabitlenmesini sağlayan aksamdır. Vidasız izolator demirlerinde dolgu maddesi olarak genelde çimento veya kurşun kullanılır.
- d. İzolator Yuvası: İzolatorün konsol zeminine bağlanmasını sağlayan düz veya vidalı yuvadır.

1.2. İzolatorlerin Sınıflandırılması

1.2.1. Hammaddesine göre izolator çeşitleri

Hammadde çeşidine göre izolator seçiminde temelde atmosferik, mekanik ve elektriksel faktörler göz önünde bulundurulmaktadır.

1.2.1.1. Porselen İzolatorler:

Porselen izolatorler (Şekil 1.3'te örnekleri bulunmaktadır) kaolin, kuarts ve feldspot karışımının yüksek ısıda fırınlanması sonucu elde edilir ve dielektrik dayanımı 60-70 kV/cm civarındadır. Mekanik dayanımı yüksek olan bu malzemenin bir diğer önemli avantajı ise ısı değişimlerinden daha az etkilenmesidir.



Şekil 1.3. Porselen İzolator Örnekleri

Porselen izolatörlerin yüzeyleri dielektrik dayanımlarını arttırmak amacıyla gres türünden bir sır maddesi ile kaplıdır. İzolatör üzerindeki sır malzemesi, izolator yüzeyinin kayganlığını sağlamakla birlikte yağışlı havalarda yağışın yüzeyde birikimini önler. Bu kaplama işlemi iyi yapılmaz ise yüzeydeki birikimlerden dolayı izolatörde çatlaklar ve delinmeler meydana gelebilir. Meydana gelen bu çatlaklar ark oluşumlarına neden olabilir (Çetin ve ark, 2004).

1.2.1.2. Cam İzolatörler:

Cam izolatörler (Görüntüsü Şekil 1.4'te verilmiştir), sodyum silikat (NaSiO_3) ve kalsiyum silikat (CaSiO_3)'in karışımından elde edilirler. Cam izolatörlerin aşağıda belirtilen avantajları bulunmaktadır (Megep, 2011).

- a. Dielektrik dayanımlarının porselen izolatörlere göre daha yüksektir.
- b. Maliyetleri düşüktür.
- c. Şeffaf bir yapıya sahip olmalarından dolayı, izolator üzerindeki kırık ve çatlakların tespiti kolaydır.

Öte yandan, porselen izolatörlere kıyasla cam izolatörlerin mekanik ve ısı dayanımlarının düşük olması olumsuz özellikleri olarak bilinir.



Şekil 1.4. Cam izolator görüntüsü

1.2.1.3. Epoksi Reçineli İzolatörler:

Şekil 1.5'te gösterilen epoksi reçineli izolatörlerin mekanik dayanıklılıkları oldukça yüksektir. Bu tip izolatörlerin üretim maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı

özel noktalarda kullanılırlar (Megep, 2011).



Şekil 1.5. Epoksi reçineli izolatör görüntüsü

1.2.1.4. Silikon İzolatörler:

Kompozit izolatörler olarak da adlandırılan ve Şekil 1.6'da gösterilen silikon izolatörler, yüksek maliyetlerinden dolayı kullanımları çok yaygınlaşmamıştır. Diğer izolatör türlerine kıyasla aşağıda belirtilen üstünlüklere sahiptirler (Megep, 2011):

1. Yüksek mekanik hasar dayanımı,
2. Düşük kırılma ve çatlama ihtimali,
3. Kolay montaj,
4. Kar ve yağmur sonrası yüzeyinde birikim olmadığından dolayı ark meydana getirmemesi,
5. Düşük ağırlık,
6. Gerek elektriksel gerekse de mekanik olarak çok soğuk ve çok sıcak durumlara göre özelliklerinde çok düşük değişimler meydana gelmesi gibi avantajları söz konusudur.



Şekil 1.6. Silikon izolatörlerin görüntüleri

1.2.2. Taşınan anma gerilimine göre izolatör çeşitleri

Taşınan anma gerilime göre izolatör çeşitleri aşağıda listelenmiştir (Megep, 2011):

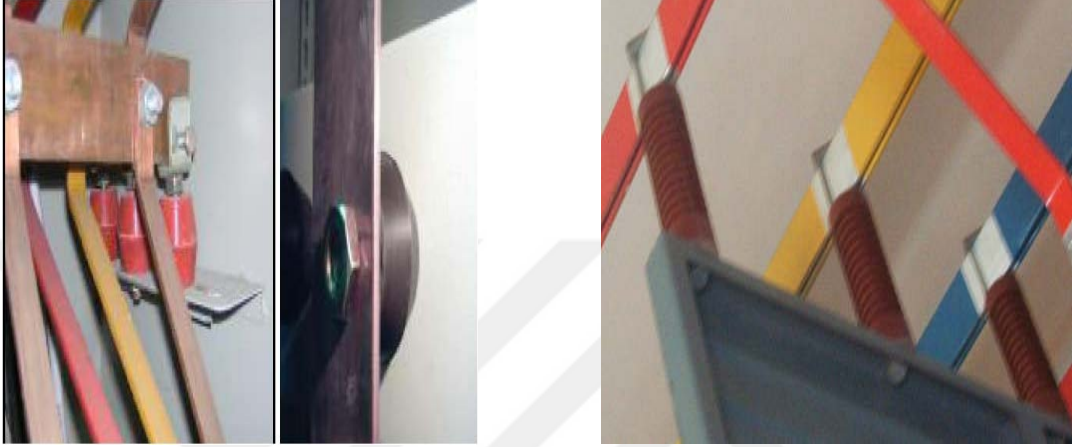
- Alçak gerilim izolatörleri: 0-1000 V arası anma gerilimlerde kullanılan bu izolatörlerin taşıyıcı, durdurucu, mesnet, gergi, mekanik ve makara izolatörler şeklinde alt türleri mevcuttur.
- Orta gerilim izolatörleri: 36 kV'a kadar olan gerilim seviyelerinde kullanılmaktadır.
- Yüksek ve çok yüksek gerilim izolatörleri: 35 kV'tan büyük anma gerilimlerinde kullanılan izolatörlerdir. Porselen ve kompozit (silikon) alt türleri vardır.

1.2.3. Kullanım amacına göre izolatör çeşitleri

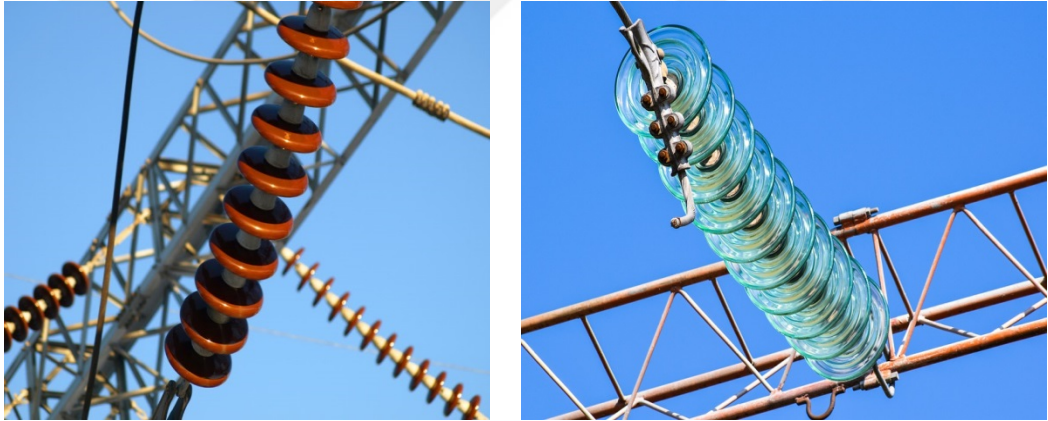
Kullanım amacına göre izolatörler mesnet izolatörleri ve zincir izolatörler olmak üzere iki çeşittirler (Megep, 2011):

1. Mesnet izolatörler (Şekil 1.7'de verilmiştir): enerji nakil hatlarını ve baraları taşıyan, bunları monte edilecekleri yerden izole eden izolatörlerdir. Cam, porselen ve epoksi malzemeden imal edilirler ve 35 kV'a kadar olan gerilimlerde kullanılırlar.

2. Zincir tipi izolatörler (Şekil 1.8’de gösterilmiştir): Yüksek gerilimli hava hatlarının taşınmasında kullanılırlar. Mekanik dayanımları çok yüksektir. Görev aldığı bölgenin iklim durumuna göre, cam veya porselen malzemenen yapılırlar. Yalıtımı arttırma amaçlı olarak aynı malzemenen yapılmış izolatörlerin birbirlerine eklenmesi sonucu oluşurlar. Yaklaşık olarak her bir zincir elemanı 10 kV’a dayanacak özelliindedir (Fırat, 2019).



Şekil 1.7. Mesnet izolatörlerin görüntüleri (Megep, 2011)



Şekil 1.8. Zincir izolatörlerin görüntüleri

1.2.4. Kullanım yerlerine göre izolatör çeşitleri

Kullanım yerlerine göre dâhili ve harici tip izolatör çeşitleri bulunmaktadır.

1. Dâhili tip izolatörler: Pano ve Trafo binalarının içinde kullanılan izolatörler olup baraları taşıma ve yalıtma özelliğine sahip mesnet tipi; bina içinden

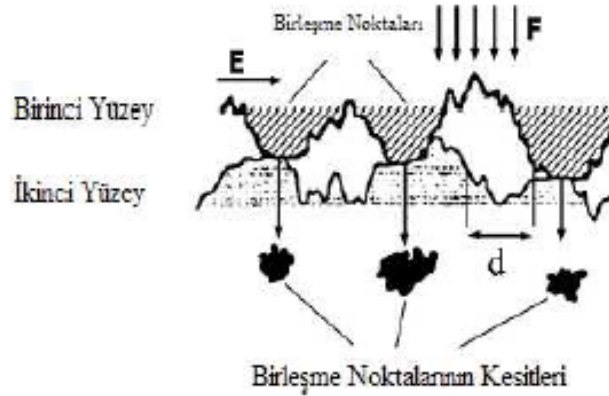
dışarıya veya baralara, aynı zamanda bina dışından da içeriye enerji geçişlerinde kullanılan geçit izolatör şeklinde tipleri vardır.

2. Harici tip izolatörler: Direklerde, trafo binaları dışında ve şalt sahalarında kullanılan izolatörlerdir (Megep, 2011).

1.3. Yüzeysel Elektrik Boşalmaları

1.3.1. Yüzeysel Elektrik Boşalmalarının Kapsamı

Yüksek gerilimde kullanılan yalıtkanların iletim sistemlerinde emniyetli ve sürdürülebilir bir yalıtım sağlaması beklenir. Bu yalıtkanlar, kısmi boşalma ve atlamalar sonucu ortaya çıkan elektriksel zorlanmalara ve kar, buz, yüksek-düşük sıcaklık, rüzgâr vb. atmosfer koşullarının sebep olduğu mekanik zorlanmalara maruz kalırlar. Bu atmosfer koşullarının neticesinde meydana gelen yüzeysel boşalma olayı, yalıtkan özellikteki katı-sıvı maddeler ile yine aynı özellikteki gaz maddeler arasında veya yalıtkan özellikteki katı-sıvı maddeler arasındaki sınır bölgede (Şekil 1.9’da gösterildiği gibi) kaçak akımlardan kaynaklanan elektriksel boşalma olarak bilinir (Gençoğlu ve Cebeci, 2005).

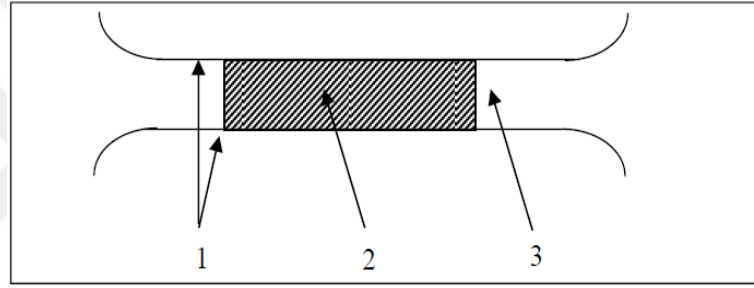


Şekil 1.9. Farklı iki katı yalıtkan yüzeyi arasında oluşan boşluklar (Arıkan, 2013)

Katı yalıtkanlar arasında oluşan çok küçük aralıklar (kusurlar) genelde boşalma durumlarındaki zayıf noktalardır. Bu boşalmanın oluşumu ve gelişimi, aradaki sınır yüzey direncine bağlı olup boşalma neticesinde sistemde fiziki olarak birtakım zararlar meydana gelebilmekte ve buna bağlı olarak yalıtkan ömrü azalabilmekte, yalıtkan özelliğinin kaybedilip sistemde kısa devreler oluşabilmektedir (Arıkan, 2013).

1.3.2. Düzgün alanda gerçekleşen yüzeysel boşalmalar

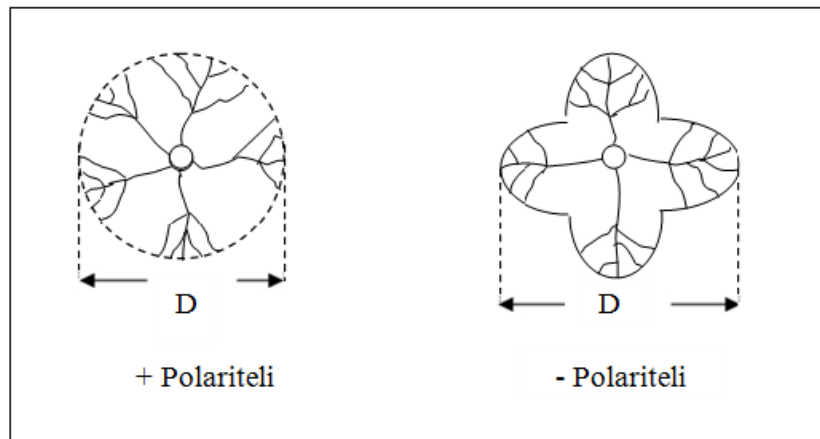
Düzgün alanda gerçekleşen yüzeysel boşalma olayının incelenebilmesi için Şekil 1.10'da görüldüğü gibi paralel elektrot sistemi içerisindeki katı yalıtkan maddenin, havanın sınır yüzey çizgilerine paralel alınması gerekmektedir. Böyle bir sistemde paralel düzlemlerle elektrotlara bir gerilim uygulandığında paralel düzlemlerden dolayı katı yalıtkan madde içindeki elektrik alanı her noktada eşit değerdedir ve sınıra teğet olur. Burada havanın delinmeye karşı dayanımı katı yalıtkan maddenin dayanımından çok daha düşük olmasına rağmen yapılan gözlemlerde boşalmanın hava aralığının rastgele bir yerinde değil de sürekli sınır yüzeyinde gerçekleştiği görülmüştür (Erdoğan, 2006). İzolatörlerde katı yalıtkan üzerindeki elektrik alanının teğetsel bileşeni malzemede yüzeysel boşalmaya; normal bileşeni ise malzemede delinmeye neden olur (Özkaya, 1996).



Şekil 1.10. Düzgün alanda yüzeysel boşalma: 1) elektrotlar, 2) katı yalıtkan 3) hava (Erdoğan, 2006)

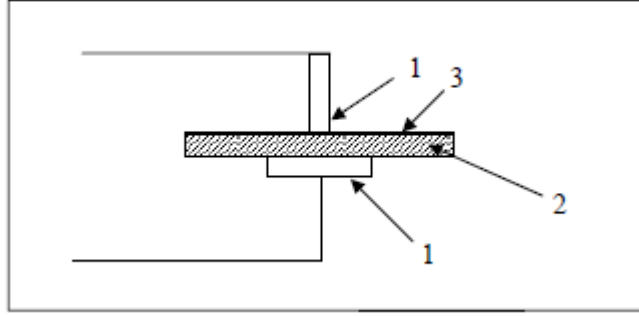
1.3.3. Düzgün olmayan alanda gerçekleşen yüzeysel boşalmalar

Düzgün olmayan alanda gerçekleşen yüzeysel boşalmaların en iyi gözlemlenebileceği örneklerden biri Şekil 1.11'de gösterilen Lichtenberg şekilleridir.



Şekil 1.11. Lichtenberg Şekilleri (Erdoğan, 2006)

Şekil 1.12’de şeması verilmiş olan Klidonograf adlı ölçüm cihazının kullanılmasıyla Lichtenberg şekillerinin çap ve biçiminden faydalanarak darbe geriliminin tepe değerini ve şeklini belirlemek mümkündür. Lichtenberg şekilleri pozitif ve negatif darbe gerilimlerinde meydana gelirler (Özkaya, 1996).



Şekil 1.12. Klidonograf görüntüsü (Erdoğan, 2006)

1.3.4. Yüzeysel boşalmayı etkileyen faktörler

Yüzeysel boşalmalar yüzey alanı büyüklüğü, nemlilik, kirlenme, rüzgâr, basınç, yüzeyin pürüzlülüğü (dolayısıyla yüzey direnci), buz, sis, *UV* ışınları, asit yağmurları, su emilimleri ve bu çalışmada etkisini gözlemleyeceğimiz sıcaklık gibi faktörlerden etkilenmektedirler. Bu etkiler çoğu zaman yalıtkanın kimyasal ve fiziksel özelliklerinde birtakım değişimlere sebep olmaktadır.

Yüzeyin, boşalmanın sebepleri olarak kabul edilen bu gibi faktörlere uzun süre maruz kalması, zamanla yalıtkanlığı zayıflatmakta ve yalıtkanın ömrünü azaltmaktadır. Buradaki olumsuzluk, yüzey direncinin azalması ile başlayan ve ardından yalıtkan malzemede kaçak akımların meydana gelmesiyle birlikte yüzeyde geniş çaplı enerji yayılımlarına sebebiyet veren olaylar silsilesi halini almaktadır. Yüzeyde meydana gelen kaçak akımlar enerji kaybını da beraberinde getirmekte ve neticede katı yalıtkanı delinmeye zorlamaktadır. Dolayısıyla, delinen katı malzeme asli vazifesini yapamaz hale gelmektedir.

Yukarıda bahsi geçen faktörlerden olan sıcaklığın yüzey boşalmalarına etkisi ilerde detaylıca açıklanacak olup bu noktada yalıtkanların çalıştıkları işletme koşullarından dolayı en fazla maruz kaldıkları sıcaklık dışındaki kirlilik ve nem gibi faktörlerin etkisi de detaylı olarak anlatılmıştır.

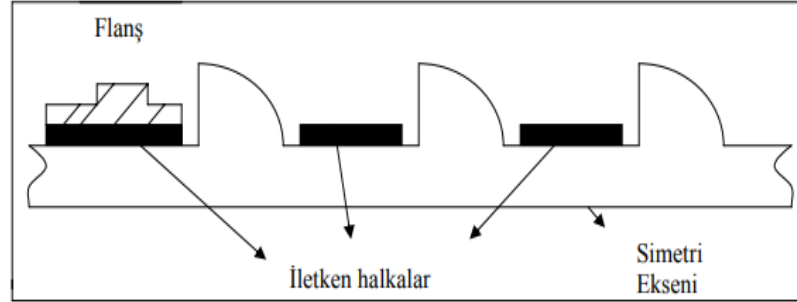
Hava ortamında bir elektriksel boşalmayı başlatmak için ortalama 30 *kV/cm* seviyesinde bir elektrik alan şiddeti gereklidir. Nominal koşullarda izolatör boyunca gerilim dağılımı düzensiz olmayıp ortalama 500 *V/cm* kadardır. Kir ve neme maruz kalmış bir izolatör yüzeyinde elektriksel alanın, havanın dielektrik dayanımını aşması sonucu kaçak akımlar meydana gelir. Yüzey boyunca meydana gelen kaçak akımlar enerji kaybına sebep olur. Kaçak akımlar sebebi ile ortaya çıkan bu enerji sonucu ilk etapta yüzeydeki sıcaklık miktarı artar. Artan bu sıcaklık, kir tabakasını çözülebilir hale getirir ve yüzeydeki iletken film tabakasının iletkenliğini artırır. Bir diğer taraftan, kaçak akımlar sebebi ile meydana gelen enerji, film tabakasının nemini buharlaştırması sonucu iletkenliğin azalmasına sebep olur. Aynı yüzeyde oluşan bu iki zıt etki, iletkenlik doyumuna ulaşılan kadar birbirini dengeler. Doyuma erişildikten sonra buharlaşma olayı daha baskın olur. İzolatör yüzeyinde meydana gelen kaçak akımlar sonucu ortaya çıkan enerji yoğunluğu her noktada aynı olmaz. Bu nedenle izolatör yüzeyinde kir çözülmesi ve nemin buharlaşması her noktada farklı olur. Bu şekilde izolatör yüzeyinde meydana gelen kuru bir kir bölgesi kuru bant olarak adlandırılmaktadır (Özkaya, 1996).

Kuru bant izolatör yüzeyini sarınca kaçak akımlar kesilir ve gerilimin büyük bir bölümü bu kuru bant bölgelerinde yoğunlaşır. Gerilimlerin yoğunlaştığı bu bölgede atlamalar gözlenir. Gözlenen bu atlamalar yüzeysel boşalma olarak tanımlanır (Rumeli, 1969). Bu boşalmalar esnasında yüzey sıcaklığında artışlar meydana gelmekte ve bu artışlar karbonlu atık ve erozyon oluşumuna sebep olmaktadır. Bu atıklar sebebi ile iletken özellikte olan bir karbon yolu meydana gelir. Neticede yalıtkan yüzey, işletme gerilimine dayanamayacak duruma gelince tamamen delinir (Erdoğan, 2006).

Yüzeysel boşalma, yüzeyden hava içerisine doğru bir yol takip etmekte olup, gerilimin şiddetinin artırılması ile bu boşalmanın yüzey boyunca yolda aldığı mesafe ve bu yoldaki genişleme artar. Delinmelere sebebiyet verebilecek bu boşalmaların engellenmesinde yüzey direncinin artırılması büyük önem arz etmektedir. Bu durumdan ötürü izolatörler şapkalı vaziyette üretilmektedirler. Bunun yanı sıra, yüzeyin ince bir tabaka halinde iletken sıvı ile kaplanması da yüzeysel boşalmayı geciktirici bir etki gösterebilecektir.

Uygulamada kullanılan izolatörlerin yüzey boşalması bakımından zorlanan kısımları Şekil 1.13'te gösterilen flanşın izolatörle temas ettiği kısım ve şapkalar arası

kısımlardır. Yani boşalma olayı, çoğunlukla yarıçapın küçük olduğu bölgelerde (örneğin bir zincir izolatöründe kapak ve sap bölgesinde) meydana gelmektedir.



Şekil 1.13. İzolatörde iletken halkaların görüntüsü (Erdoğan, 2006)

İzolatörlerin şapkalı üretimlerinin dışında konumları da boşalma üzerine ciddi bir etki etmektedir. Bunun sebebi, yatay konumlu izolatörlerin kir, yağmur vb. atmosfer olaylarına maruz kalması esnasında daha homojen bir şekilde temizlendiği halde düşey konumlu izolatörlerde kirlenmeye maruz kalan üst yüzeylerin alt yüzeylerine kıyasla daha kalın bir tabakanın oluşması, yağmur veya sis olayına maruz kalan alt kısımlarının ise üst kısımlarına kıyasla daha fazla kirlenmeye maruz kalmasıdır. Bu konuda İngiltere’de yapılan bazı araştırmalarda, 1962-1963 yıllarındaki kış aylarında, yatay pozisyondaki izolatör zincirlerinde 327 atlama gözlemlenirken düşey pozisyonlu izolatörlerde 444 atlama tespit edilmiştir (Rumeli, 1969).

1.4. Elektriksel Delinme

İyi bir yalıtkan, düşük dielektrik kayıp ve yüksek mekanik dayanıklılığa sahip olmalıdır. Ayrıca, boşluklar ile nemden arınmış olmalı ve malzemenin ısıl bozulmalar ve kimyasal bozulmalara karşı dayanıklı olması gerekmektedir.

Yalıtkanlığın zayıflamasına ve uzun vadede tümüyle bozulmasına sebep olan faktörlerden biri de elektriksel boşalmalardır. Elektriksel boşalmalar yalıtkanın yüzeyindeki arklarda yüksek sıcaklık oluşumuna sebep olmaktadır. Bu durum, erozyon ve karbonlu artık oluşumuna yol açmaktadır. İletken özellikteki bu karbon yolu, yalıtkan yüzeyin işletme geriliminin dayanamayacağı düzeye ulaştığı zaman yüzeyde yalıtkanlık özelliğinin sona ermesine sebep olan delinme olayı meydana gelmektedir (Erdoğan, 2006). Bu olaylar sonrası izolatörde belli bir süre herhangi bir hasar gözlenmeyebilir. Bu

süre, ortam koşulları ve maruz bırakılan gerilimin şiddet ve süresine göre saniyeden başlayıp yıllara kadar çıkabilir. Bu sürenin başlangıcı genellikle yalıtıkanda gözlemlenen ilk oyuğun oluşması olarak kabul edilir. Yalıtkanlık bakımından zayıf noktalar delinme riskinin yüksek olduğu noktalardır (Erdoğan, 2006). Şekil 1.14'te delinmeye uğramış bir izolator örneği görülmektedir.



Şekil 1.14. Delinmeye uğramış izolator görüntüsü

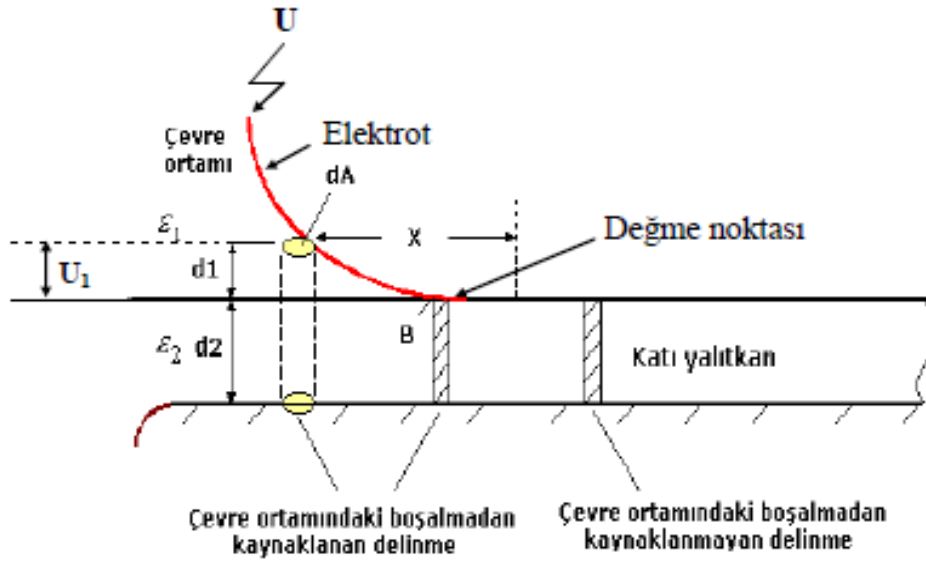
Gazlar ve sıvılardan farklı olarak, katı izolatorler kendilerini onarım özelliğine sahip değildirler; yani bir kez delinmeye maruz kaldıktan sonra delinmeye sebep olan gerilimin kesilip, bir kez daha gerilim uygulanmasına imkân vermezler. Bir kez delinmeye uğramış katı yalıtkan, kimyasal ve fiziksel özelliklerini yitirmiş yada değişime uğramış ve neticede izolasyon özelliğini kaybetmiştir.

1.4.1. Elektriksel ağaçlanma

1.4.1.1. Kanal delinmesi

Katı yalıtkan içindeki elektronlar elektrik alan etkisi ile enerji kazanırlar. Katotta bu yalıtkanın iletim bandına giren bir elektron, elektrik alanın etkisi ile kazandığı enerjiyi yaşanan çarpışmalarda kaybederek anot bölgesine doğru sürüklenmektedir. Bazen elektron, iyonizasyon enerjisine ulaşır akabinde bu enerjiyi geçebilecek mesafeyi kat ettiğinde meydana gelecek çarpışmalarda yeni serbest elektronlar ortaya çıkmaktadır. Bu

olay elektron çığı oluşum sürecine kadar sürmektedir. Elektron çığı kritik boyu aşarsa delinme olayı meydana gelir (Özkaya, 1996).



Şekil 1.15. Katı yalıtkan delinmesi (İlhan, 2005)

Uygulamada katı yalıtkan içine yerleştirilmiş bazı elektrotlu sistemler görülebilmektedir. Şekil 1.15'teki kesitte görüldüğü üzere elektrotlar arasında U gerilimi uygulandığında, bu gerilimin elektrot değme noktasından x kadar uzaktaki çevre ortamda görülecek U_1 gerilimi aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$U_1 = \frac{d_1 \cdot U}{d_1 + \left(\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}\right) \cdot d_2} \quad (1)$$

Burada, ϵ_1 , ϵ_2 ve d_1 - d_2 sırasıyla ortamın dielektrik katsayısı, yalıtkanın dielektrik katsayısı ve ortam kalınlığını göstermektedirler (Özkaya, 1996).

Gaz haldeki çevre ortamlarda ortam, numuneden daha büyük bir elektriksel zorlanmaya maruz kalacaktır. Neticede, katı yalıtkanın delinmeye uğramadan önce çevre ortam delinmeye uğrayacaktır. Gaz ortamda gerçekleşen delinme olayı sonucunda katı numune yüzeyinde elektriksel yük birikimi olacak ve bu yüzeydeki elektrik alan dağılımı bozulacaktır. Yani bu olay sonucunda gaz veya havadan meydana gelen çevre ortamın delinmesi ile beraber meydana gelen yükler, başlangıçtaki düzgün alana yakın alanı,

düzgün olmayan alana çevirir. Delinme genellikle tek bir boşalma kanalından oluşmaz ve ağaca benzer delinme kanalları meydana gelir (İlhan, 2005).

Ağaçlanma, elektriksel bir delinme olayıdır. Yalıtkan maddenin yalıtkanlığını bozacak şiddette ve sürede gerilime maruz kalması sonucu dielektrik dayanımının azalması ile meydana gelen delinme olayına görünürlük kazandırıldığında şeklin ağaca benzemesinden dolayı ağaçlanma adı verilmiştir.

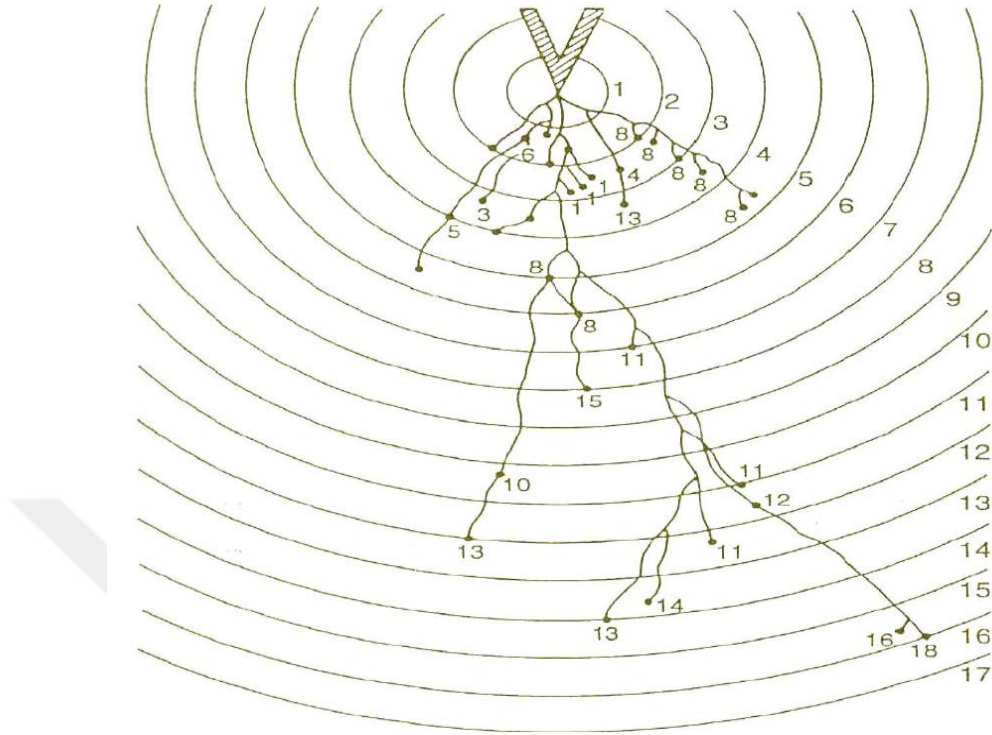
DC gerilimlerde ağaç oluşumu gerilimin kritik değeri aşması sonucu oluşurken, AC gerilimlerde ise biriken yükler nedeniyle düşük gerilim düzeylerinde meydana gelir. Ağaçların oluşumları 3 aşamadan meydana gelir;

1. Oluşum safhası: enerjinin yalıtkan malzemenin belli noktalarına iletimi,
2. Oluşumunun gerçekleştiği safha: iyonların gaz şeklinde yüksek elektrik alanın etkili olduğu yerlerde toplanması,
3. Ağacın ilerleyişi: dielektrik malzemenin aşınımının sürmesi.

Cooper, Şekil 1.16'da görülen delinme kanallarını genlikleri aynı $1/30 \mu s$ 'lik toplam 190 darbeden oluşan bir sıra darbe gerilimi uygulayarak elde etmiştir. Burada her darbe geriliminin bir kanal oluşturmayacağı unutulmamalıdır (İlhan, 2005). Ağaçlanma olayı aralıklı kısmi boşalmalar ile yavaşça oluşup ilerleyebilir veya kısmi boşalmanın olmadığı zamanlarda nemli ortamda yavaşça ya da darbe gerilimine maruziyet zamanında aniden meydana gelebilir.

Boşalma kanallarının uçları arasında meydana gelen yük yoğunluğu sebebi ile ani delinme, elektrik alan şiddetinden çok daha büyük şiddetteki bölgesel alanlar meydana gelir. Bu alanların sebebi ile boşalma kanallarının uçlarında delinmeler oluşur. Katı yalıtkan içinde bu delinme kanallarının oluşup artarak ilerlemesi ile delinme olayı tamamlanır.

Katı yalıtım malzemelerinin laboratuvar ortamında (ideal koşullarda) $10 MV/cm$ mertebelerine ulaşabilen delinme dayanımları elde edilebilmiştir. Fakat mevcut atmosfer koşulları ve işletme koşullarında bu dayanım değeri laboratuvar koşullarında elde edilen öz değerinin çok daha altındadır.



Şekil 1.16. Katı yalıtkan maddelerde kanal delinmesi (İlhan, 2005)

1.5. İyonizasyon ve İyonizasyon Türleri

1.5.1. İyonizasyon

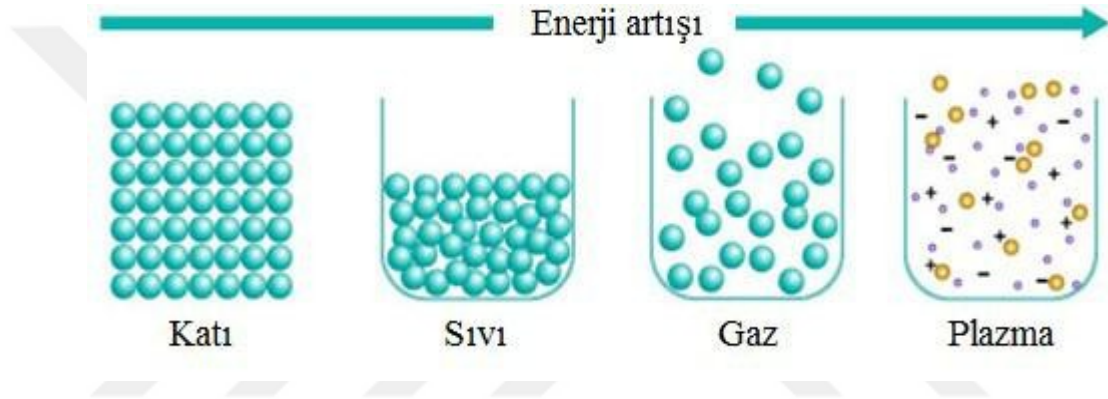
Maddeler sahip oldukları enerji farklılıklarından dolayı katı, sıvı, gaz ve plazma hali olmak üzere temelde dört halden oluşurlar. Maddelerin sahip oldukları enerjiler değiştirilerek belirtilen bu haller arasında geçişler yapılabilir. Örneğin, katı halli bir madde belirli bir enerjiye maruz bırakılarak sıvı, gaz veya plazma durumuna dönüştürülebilir. Bu akışın tersi yönde, yani enerjinin alınması ile plazma halinden katı haline kadar dönüşüm sağlayacak bir akış da mümkündür.

“Katı + $E_1 \rightarrow$ Sıvı (Ergitme)

Sıvı + $E_2 \rightarrow$ Gaz (Buharlaştırma)

Gaz + $E_3 \rightarrow$ Plazma (İyonize etme)”

Şekil 1.7’de görülen hallerden en düşük enerji yoğunluğuna sahip katı hali; en fazla enerji yoğunluğuna sahip hal de plazma halidir (Çemişkezek, 2014). Boşalma, gazdaki güçlü bir elektrik alanının etkisi sonucu oluşan iyonizasyonun neticesidir. Etrafi yörüngeler ile çevrili çekirdek merkezli bir atomda her yörünge üzerinde elektronları barındırmaktadır. Yörüngelerde tutunan bu elektronlara, kendilerini çekirdeğe bağlayan enerjiyi yenecek enerji verilirse elektron atomdan ayrılacaktır. Bu olayda, verilen bağ enerjisi neticesinde elektron kazanan veya kaybeden atoma “iyon” ve bu olaya da “iyonizasyon” denir. İyonizasyon hadisesini oluşturmak için ihtiyaç duyulan enerji elektrotlara uygulanan gerilim sonucu meydana gelen elektrik alanından sağlanır. Bu gerilime “iyonizasyon gerilimi” denir.



Şekil 1.17. Enerji değişimine bağlı olarak maddenin hal değişimi (Çemişkezek, 2014)

İyonizasyon ile yayılma (difüzyon) ve tekrar birleşme (rekombinasyon) olayları meydana gelir. İyonizasyon olayı neticesinde ortaya çıkan parçacıklar elektrik alanın etkisi ile yayılma suretinde bir hareket eğilimine girerler. Bu olaya “difüzyon” denir. Yayılma anında iyonların başka bir atom ile bir araya gelerek yok olmasına “rekombinasyon” denir. Meydana gelen bu olaylar “iyonizasyona zıt olaylar” olarak adlandırılmaktadırlar (Kara, 2005).

1.5.2. İyonizasyon Türleri

Başlıca iyonizasyon türleri aşağıda listelenmiştir (Özkaya, 1996):

- Çarpma sureti ile iyonizasyon ,
- Foto iyonizasyon,
- Termik iyonizasyon,
- Yüzeysel iyonizasyon.

1.5.2.1. Çarpma sureti ile iyonizasyon

Kütlesi m olan V_{ef} etkin hızındaki bir parçacığın kinetik enerjisi aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$KE = \frac{1}{2}mV_{ef}^2 \quad (2)$$

Belirtilen parçacık belirli bir atom veya moleküle çarptığı zaman bu çarpışmanın neticesinde iyonizasyon olayı gerçekleşebilir. Burada iyonizasyonun gerçekleşebilmesi için m kütleli bu parçacığın kinetik enerjisinin, çarpıştığı gazın kinetik enerjisine eşit veya ondan büyük olması gerekir. Neticede bu gazın atom veya molekülünden bir pozitif iyon ve bir elektron ortaya çıkabilir.

Özet olarak,

$$\frac{1}{2}mV_{ef}^2 \geq W_i \quad (3)$$

olmalıdır. Bu durum aşağıdaki sebepler ile meydana gelebilir:

İyonlaşma enerjisi kinetik enerjiden büyük olan parçacık atomu uyarabilir. Uyarılmış haldeki bu atoma çarpan diğer parçacıklar atomu kademeli bir şekilde iyonize edebilir.

Uyarılmış durumdaki atoma çarpan elektron, atomu temel duruma geçirebilir. Bu esnada meydana çıkacak enerji elektrona geçebilir. Neticede elektronun kinetik enerjisi gazın iyonizasyon enerjisi mertebesine yükselmiş olur.

Uyarılmış durumdaki iki atom birbiriyle çarpıştığında, bu iki atomdan birinin sahip olduğu potansiyel enerjisi diğerine geçebilir ve enerji değeri yükselen atom iyonize olabilir.

1.5.2.2. Foto iyonizasyon

Foto iyonizasyon olayı, atom ya da molekül tarafından emilimi gerçekleştiren radyasyonun, gazı iyonize edecek enerjiden daha fazla bir enerji verilmesi durumunda meydana gelir. Bu hadisenin meydana gelmesi için aşağıda belirtilen koşulların oluşması gerekmektedir.

1. Atomun mevcuttan daha yüksek bir düzeydeki enerji seviyesi ile uyarımı
2. Uyarılmış durumda olan bir atomun yapısındaki elektronlar bir düşük enerji düzeyine geçerlerse, atom bu geçiş esnasında radyasyon yayılımı meydana getirir. Bu olayların tersi olarak; atom radyasyon ile uyarıldığında atomun yapısındaki elektronlar bir üst enerji düzeyine geçer.

Frekansı f olan bir ışımaya ile bir gazın iyonize olabilmesi için $hf \geq W_i$ olmalıdır. $f = c/\lambda$ olup bu değer $\lambda \leq \frac{ch}{W_i}$ olur. Burada λ , c , h ve W_i sırasıyla dalga boyu (m), ışık hızı ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$), Planck sabiti ($h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ j.s}$) ve iyonizasyon enerjisini (W_i , $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$) göstermektedir. Çarpma suretiyle iyonizasyonda yaşanan hadiseye benzer olarak gazın W_i değerinden daha küçük foton enerjileri durumunda, iyonizasyon olayı mümkündür. Bu durum aşağıdaki sebeplerden dolayı meydana gelebilir:

- Çarpma suretiyle iyonizasyondaki hadiseye benzer şekilde, gaz molekülünün sırası ile önce ışık; ardından da diğer ışık kuantumları ile iyonizasyona uğrar.
- Uyarılmış bir atom ile uyarılmamış bir atom, iyonizasyon enerjisi atomunkinden daha küçük olan moleküller meydana getirir.
- İçinde toz parçacıkları barındıran gazlarda, elektronlar gazın yapısında barındırdığı moleküllerinden veya atomlarından değil de toz parçacıklarının yüzeyinden koparlar. Burada bu olayın gerçekleşmesi için çıkış enerjisi adı verilen bir enerjiye ihtiyaç duyulur (Kara, 2005).

1.5.2.3. Termik iyonizasyon

Bir gazın sıcaklığının yükseltilmesi durumunda, bu gazın iyonizasyona uğraması mümkün olur. Çünkü sıcaklığın artırılması sonucu hızı (dolayısıyla da kinetik enerjisi) artan parçacıklar, yukarıda detayları verilen iyonizasyon türlerinden çarpma sonucunda

ısınan gazın ışıması sebebiyle meydana gelen foto iyonizasyonu ile elektrikli parçacıklar meydana gelebilir. Termik iyonizasyonun meydana gelebilmesi için sıcaklığın 1000 °K ve yukarısı bir değerde olması gerekir (Özkaya, 1996).

1.5.2.4. Yüzeysel iyonizasyon

Maden yüzeyine belirli bir enerji vermek sureti ile bu yüzeyden elektron koparılması olayına yüzeysel iyonizasyon adı verilir. Çıkış enerjisi şeklinde adlandırılan enerji, belirtilen yüzeyde aşağıda belirtilen yöntemlerle yüzeysel iyonizasyon olayı meydana gelir:

- a) Madenin ısıtılması (termik elektron emisyonu),
- b) Yüzeyin elektrikli parçacıklarla bombardıman edilmesi (çarpma ile)
- c) Yüzeyin kısa dalga boylu ışınlarla (fotonlarla) bombardıman edilmesi,
- d) Güçlü bir elektrik alanın etkisine maruz bırakılması (Özkaya,1996).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Konuyla İlgili Yapılmış Olan Çalışmalar

Yüksek gerilim şebekelerinde kullanılan izolatörlerin, enerji iletim sistemlerinde kesintisiz ve emniyetli bir yalıtım sağlaması beklenmektedir. Bu sistemlerde izolatörler, kısmi boşalmalar ve atlamalar sonucu ortaya çıkan elektriksel zorlanmalara, açık havadaki atmosfer koşullarının etkisi ile kar, buz ve rüzgârın neden olduğu mekanik zorlanmalara ve ayrıca bu tez çalışmasında incelenen yüksek ve düşük sıcaklıklara maruz kalırlar. Bu faktörler göz önünde bulundurularak izolatörlerin yeterli nitelikteki dayanıma sahip olup olmadıklarının araştırılması gerekir. Bu konu ile alakalı 20. yüzyılın başından bu yana izolatör teknolojisinde önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Literatürde konuyla ilgili yapılmış olan bazı önemli çalışmalar aşağıda verilmiştir:

Miller tarafından 1989 yılında yapılan çalışmada, vakum altında izolatör yüzeylerinde meydana gelen çığ şeklinde parlamalar (flashover) incelenmiş olup bu parlamalara ilişkin bazı deneysel çalışmalara ait teori ve modellemeler incelenerek temelde parlamaların oluşum süreci anlatılmıştır. Sonuçlar vakum altında parlamaların öncelikle elektron emisyonu ile başladığı, bu elektronların yalıtkan yüzeyinde absorbe edilmiş gazı desorpsiyonuna (iyonlaşmasına) neden olarak bir elektron çığı olarak çoğaldığı bunun da parlamalara neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıca çalışma içerisinde yalıtkan malzeme geometrisinin nasıl seçileceğine ve belirli bazı durumlar için izolatörün nasıl işlenmesi gerektiğine ilişkin bilgiler verilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, yüzey sıcaklığı arttıkça parlamalar geriliminin azalma eğiliminde olduğu belirtilmiştir (Miller, 1989).

Al-Hamoudi tarafından 1995 yılında yapılan çalışmada yoğun kirlilik koşulları altında yüksek gerilim izolatörlerinin performansı değerlendirilmiştir. Çalışmada kirliliğin Doğu Suudi Arabistan'ın kıyı kesimlerinde izolatör seçiminde önemli bir parametre olduğu belirlenmiş, bu kirliliğin belirtilen coğrafyada, kaçak akımın mesafesinin arttırılarak (farklı izolatör tasarımları kullanılarak) ya da canlı hat yıkama ile üstesinden gelindiği belirtilmiştir. Buna karşın çalışmada farklı iklim koşulları altında farklı izolatör tasarımlarının kullanılması için öneride bulunmuştur. Kıyı bölgelerinde sis tipi

izolatörlerin kullanılması gerektiği bununla birlikte kıyı bölgelerde silikon kauçuk kompozit izolatörlerin kullanılmasının yıkama maliyetini azaltacağı belirtilmiştir. Havanın çok kuru olduğu iç bölgelerde bulunan çöl ortamında aeroform tipi izolatör kullanılmasının ve sıcaklığın yüksek olduğu kıyı bölgelerde epoksi reçine kompozit tip izolatörlerden uzak durulması gerektiği önerilmiştir (Al-Hamoudi, 1995).

Chandrasekar ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada kirli koşullar altında porselen ve polimerik izolatörlerin kaçak akımı ve faz açısı özellikleri incelenmiştir. Çalışma için gerekli kirlilik seviyeleri, sodyum klorür kullanılarak elde edilmiştir. Sızıntı akımına ait *zaman-frekans* karakteristiklerini belirlenebilmesi için Ayrık Dalgacık Dönüşümü (*DWT*) kullanan Çok Çözünürlüklü Sinyal Ayırması (*MRSD*) kullanılmış olup faz açısı hesabı için ise *FFT* (Hızlı Forier Dönüşümü) spektral analizi uygulanmıştır. Yapılan testler sonucunda porselen izolatör yüzeylerinde artan nem ve kirlilikle birlikte kaçak akımların arttığı gözlemlenmiş olup kısa süreli meydana gelen akım piklerinin porselen izolatörde meydana gelme sıklığının silikon kauçuk izolatörlere oranla daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca kaçak akımın faz açısı analizinin yüzey ıslaklığını tahmin etmek için uygun olacağı belirtilmiş ve dış mekân izolatör yüzeylerinin kirlilik şiddetinin, meydana gelen kaçak akım sinyallerinin *DWT STD-MRA* (Standart Sapma Çoklu Çözünürlük Analizi) Bozulma Oranı model analizinden yola çıkılarak tanımlanabileceğini göstermiştir (Chandrasekar ve ark., 2009).

Farhadinejad ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada Güneş'in yaydığı *UV* (Ultraviyole) radyasyon türlerinden en yüksek enerjiye sahip olan *UV_C* radyasyonunun silikon kauçuk izolatörlerin termal, elektrik ve morfolojik davranışlarına olan etkisi incelenmiştir. Temelde *UV_C*'nin izolatörlerin eskimesine olan etkisinin araştırıldığı bu çalışmada üç farklı tipteki 20 *kV*'luk izolatörlerden ikişer adet kullanılmıştır. Her üç izolatör tipi için alınan ikişer izolatörlerden birer tanesi 9 adet *UV* lambanın yer aldığı ve 50 *W/m²* radyasyon yoğunluğuna sahip bir odada 65 gün boyunca bırakılarak eskimesi (yaşlanması); buna karşın diğer izolatörler ise *UV_C*'ye maruz bırakılmadan yeni kalması sağlanmıştır. Daha sonra bu numunelerin elektriksel ve termal özellikleri ile yüzeydeki değişimleri, kaçak akım, termogravimetrik analiz ve yüzey elemanları ölçülerek incelenmiştir. Ayrıca hem yeni hem de *UV*'ye maruz bırakılan izolatörlerin yüzeyleri kirletilerek gerekli ölçümler tekrarlanmış ve kaydedilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda sadece kirli yüzeye sahip olan izolatörlerde meydana gelen

kaçak akımların sadece *UV*'ye maruz kalmış izolatörlere oranla daha fazla olduğu bununla birlikte aynı anda hem *UV*'ye maruz kalmış hem de yüzeyi kirli izolatörlerde bu kaçak akımların daha da arttığı görülmüştür. Ayrıca hızlı Fourier dönüşümü kullanılarak kaçak akımların harmonik spektrumu incelendiğinde kirliliğin özellikle 3. Harmonik bileşen üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. *UV*'nin izolatörlerin yüzeyindeki polimer dolguyu ayrıştırdığı ve *Al/Si* oranını düşürdüğü sonucuna varılmıştır (Farhadinejad ve ark., 2012).

Gouda ve Dein tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada, yüksek gerilim iletim hatlarını taşıyan kirli izolatörler test edilerek bu yüzeylerde meydana gelen kaçak akımlar incelenmiştir. Deneysel çalışma için kirli izolatörler sadece çığ, sadece sis ve sis+çığ gibi farklı şekillerde ıslatılarak test edilerek kaçak akımlar kaydedilmiştir. Sonuçlar, sis+çığ ortamında izolatör yüzeyindeki kirlilik tarafından absorbe edilen su miktarı arttığından dolayı parlama (flashover) geriliminin azaldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca kirliliğin yüzey iletkenliğini arttırdığı ve artan kirlilik karşısında yüzeyde meydana gelen kaçak darbe akımları sayısının arttığı belirtilmiştir (Gouda ve Dein, 2013).

Narayanan ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada kısmi deşarj analizi yardımıyla yüksek gerilim enerji iletim hattı uygulamaları için polimerik izolatörlerin yüzey koşulları incelenmiştir. Deneysel yeni bir silikon kauçuk ve termal yaşlı (eski) bir izolatör için yapılmış olup, temiz, kuru ve ıslak yüzey için, sabit bağıl nem altında farklı kirlilik oranları için ve sabit kirlilik seviyesi altında değişken bağıl nem değerleri altında yapılmıştır. Bu çalışmaya ilişkin kısmi boşalma sinyalleri, *PD* (kısmi boşalma) dalga biçimlerini desenlerle birlikte toplayabilen bir *PD* izleme sistemi kullanılarak elde edilmiştir. Polimer izolatörün ısıl yaşlanmasının etkisinin anlaşılması için *PD* atımlarının zaman ve frekans alanı özellikleri de incelenmiştir. Sonuçlar, artan kirlilikle birlikte *PD* darbe genliğinin ve her iki izolatör tipi içinde arttığı görülmüştür. Ağır kirlilik koşulları altında termal yaşlı izolatörde görülen uzun boşalma sürelerinin, yeni olan izolatörde daha kısa süreli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca hafif kirli koşullarda, *PD* sinyallerine ait frekans spektrumunda gözlemlenen yüksek frekans içeriğinin (15-25 *MHz*) aşırı kirli koşullarda bu frekans içeriğinin büyüklüğünün önemli ölçüde azaldığı ve baskın frekans içeriğinin 5-10 *MHz*'e doğru kaydığı gözlemlenmiştir. Ayrıca *PD* enerji içeriğinin termal yaşlı izolatörlerde görülen uzun arkların etkisiyle

artmasının izolatör yüzey sıcaklığını artırarak daha hızlı aşınmasına ve bozulmasına yol açtığı sonucuna varılmıştır (Narayanan ve ark., 2014).

Jiang ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada cam, porselen ve kompozit izolatörlerde yüzey buzlanmasının ve yüksekliğin (atmosferik basıncın) izolatör yüzeyinde gerçekleşen AC parlamaların (flashover) gerilimine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada cam, porselen ve kompozit olmak üzere üç adet izolatör kullanılmış olup testler atmosferik basıncın ve buzlanma koşullarının (farklı buz kalınlıklarının elde edilebileceği) kontrol edilebildiği yapay bir iklim odası içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada farklı yükseklikler, izolatörlerin içerisinde bulunduğu alanın atmosferik basıncının azaltılmasıyla simule edilmiştir. Sonuçlar her üç izolatör tipi için de buz kalınlığının artmasıyla birlikte parlama geriliminin azaldığı ve buz kalınlığının etkisinin kompozit izolatörlerde daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, atmosferik basıncın azalmasıyla birlikte her üç izolatör tipi için AC parlama geriliminin azaldığı ve atmosferik basınç etkisinin kompozit izolatörlerde daha belirgin olduğu sonucuna varılmıştır (Jiang ve ark., 2014).

Badachi ve Dixit tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada, seramik bir tel izolatör için farklı kirlilik koşulları altında parlama (flashover) geriliminin tahmin edilebildiği yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Elde edilen bu matematiksel model kullanılarak literatürde yapılmış deneysel çalışmalar ve geliştirilen diğer modellerle karşılaştırılarak doğruluğu kanıtlanmaya çalışılmıştır. Model literatürde kirlilik dağılımının eşit olmadığı 6 farklı tipteki seramik izolatörle karşılaştırıldığında % -19 ile % +10 sapma ile parlama gerilimini tahmin edebildiğini göstermiştir. Benzer şekilde kirlilik dağılımının eşit olduğu 8 farklı tipteki seramik izolatörler içinde $\pm\% 10$ sapma ile parlama gerilimini tahmin edebildiği sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla geliştirilen modelin hem eşit hem de eşit olmayan kirlilik koşulları altında izolatör parlama gerilimi değerinin tahmin edilmesinde ve izolatör seçimlerinde yararlı olabileceği sonucuna varılmıştır (Badachi ve Dixit, 2016).

Liu ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada, ince metal partiküllerin dış mekân izolatörlerinde meydana gelen yüzeysel boşalmaların karakteristikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bununla birlikte ince metal partiküllerin dinamik hareketi ve kaldırma davranışı da incelenmiştir. Deneysel olarak gerçekleştirilen

bu çalışmada, ince metal partikül olarak mikrometre boyutlarındaki küçük demir tozları kullanılmış olup yüzey boşalmaları yüksek hızlı bir kamera yardımıyla ışık emisyonu ölçümü yapılarak boşalma ışığı yoğunluğu ve parçacık parametreleri arasındaki ilişki tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, ince metal partiküllerin yatay hareket ve düşey kaldırma davranışı içerisinde olduğunu göstermiştir ve bunun da daha düşük gerilim seviyelerinde boşalmaların gerçekleşmesine neden olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte tutuşmanın $28 \mu m$ 'nin altındaki metal partiküllerin ve $40 mg$ 'ın üzerindeki metal partiküllerin elektrik alanının yoğunlaşmasına bağlı olarak daha düşük gerilim değerlerinde gözlemlenmiş; parçacık büyüklüğü arttıkça ve partikül miktarı azaldıkça ışık yoğunluğunda azalma olduğu sonucuna varılmıştır (Liu ve ark., 2016).

Othman ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada, kirlenmiş cam izolatörlerde meydana gelen kaçak akımların dalga şeklinin kısmi boşalma karakterizasyonuna olan etkisi incelenmiştir. Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada gerekli kirlilik koşulları için amonyum klorür kullanılmıştır. Farklı kirlilik seviyeleri, farklı ağırlıktaki ($10 gr$, $50 gr$, $100 gr$) amonyum klorürün suda çözülmesi ile elde edilmiş olup tuzlu su ile yüzeyi nemlenmiş olan izolatör 24 saat boyunca kurumayı için beklenmiş ve kapalı bir reaktör içerisindeki bu izolatöre bir nemlendirici yardımıyla buhar verilmesiyle elde edilmiştir. Benzer testler temiz izolatör yüzeyi için de tekrarlanmış ve meydana gelen kaçak akımların kısmi boşalma türü üzerine etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, temiz yüzey koşullarında kaçak akımların gözlemlenmediğini; hafif kirli izolatör yüzeylerinde korona boşalması şeklinde görülen kısmi boşalmanın, orta derecedeki kirlilik seviyesine sahip izolatörlerde yüzeysel boşalma şeklinde, yoğun kirlilik seviyesine sahip izolatörlerde ise daha çok internal discharge (iç boşalma) şeklinde olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte elde edilen kaçak akım dalga formlarının izolatörün yüzey durumunu izlemek ve tahmin etmek için kullanılabilir bir parametre olduğu belirtilmiştir (Othman ve ark., 2016).

Lasabi ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada *DC* (Doğru Akım) izolatörlerinde gerçekleşen yüzeysel boşalmalar incelenmiştir. Bu çalışmada izolatör yüzeylerinde elektriksel yüklerin birikme süreci ve mekanizması incelenmiş ve bu yüklerin *DC* izolatörlerin performansına etkisi açıklanmıştır. Bu çalışma, literatürde daha önce elde edilen teorik ve deneysel sonuçlardan yararlanarak konuya ilişkin genel

bir bakış sunmaktadır. Çalışmada ayrıca *DC* yüksek gerilim altındaki izolatörler yüksek bir gerilime maruz kaldıkları göz önünde bulundurulduğunda katı-gaz ara yüzleri üzerinde yük birikimine neden olduğu ve biriken bu yüklerin izolatör etrafındaki elektrik alanını önemli ölçüde değiştirebileceği anda izolatörlerde yaşanmaya hatta alevlenmelere sebep olduğu belirtilmiştir (Lasabi ve ark., 2017).

Ramadha ve arkadaşları tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada yapay tropik koşullarda bir seramik izolatör yüzeyinde oluşan kaçak akımların (sızıntı akımlarının) biçim özellikleri incelenmiş ve bu çalışma bilgisayar ortamında modellenerek simüle edilmiştir. Çalışma için iki adet seramik izolatör tuz ve temiz sis ortamında kullanılmış olup izolatörlerden birinin yüzeyi temiz bir diğeri kirli olacak şekilde iki yüzey ortamına ilişkin kaçak akımın büyüklüğü, toplam harmonik bozulma (*THB*) ve izolatörün yüzey sıcaklığı gibi parametreler incelenmiştir. Simülasyon *ATP/EMTP* yazılımı ile gerçekleştirilmiş olup sızıntı akımı harmonikleri analizi, dalga formunda Hızlı Fourier Dönüşümü (*FFT*) kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar, izolatörün yüzey durumunun, ortam koşullarının (temiz ve tuzlu sis ortamı) ve uygulanan gerilimin izolatör yüzeyinde meydana gelen sızıntı akımlarının büyüklüğü ve oluşan sızıntı akımının dalga formu üzerinde önemli parametreler olduğunu göstermiştir. Tuz sisi ortamında oluşan kaçak akımların temiz sis koşulundakinden daha büyük olduğu görülmüş ve kirliliğin izolatör yüzeyi üzerinde iletkenliği arttırdığından dolayı kaçak akımların arttığı sonucuna varılmıştır. Tüm numuneler için *THB*'nin dalgalanma eğilimi içerisinde olduğu görülmüş ve hem simülasyon hem de deneysel çalışmada elde edilen kaçak akım dalga formlarının örtüştüğü sonucuna varılmıştır (Ramadha ve ark., 2018).

Rahim ve arkadaşları tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada izolatör yüzeylerinde gerçekleşen yüzeysel boşalmaların modellenmesi yapılmıştır. Bu çalışmada yük (transport) hareketleri ve yük oluşum süreçleri ile birlikte kirli yüzeylerde gerçekleşen yüzeysel boşalmalar modellenmiştir. Bu çalışmada elektro-göç (electro-migration) modeli kullanılmış olup modellemede yük taşıyıcıların davranışı Nernst Planck teorisi ile hesaplanırken izolatör yüzeyindeki elektrik alan dağılımı Poisson denklemi ile belirlenmiştir. Daha sonra bu matematiksel modellemenin simülasyonu için çizgi tekniği yöntemi kullanılmış ve bu teknik *MATLAB* programında sonlu farklar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Buradan elde edilen sonuçlar literatürdeki bir

çalışmayla karşılaştırılmıştır. Sonuçta bu modellemenin izolatörlerdeki yüzeysel boşalmaların modellenmesinde kullanılabileceğini göstermiştir (Rahim ve ark., 2018).

Zhang ve arkadaşları tarafından 2018 yılında yayımlanan çalışmasında 110 kV luk temiz ve kuru bir porselen izolatöre yeni bir metal halka ekleyerek parlama (flashover) gerilimini yükseltmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada izolatörün yüzey mukavemet hesaplama metodu (Elektrik alan hesabı) için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış ve izolatöre eklenecek olan metal halkanın parametreleri (halkanın çapı ve yüksekliği) de sinir ağı genetik algoritması kullanılarak elde edilmiştir. İzolatörün çelik kapağına eklenecek olan metal halka farklı yarıçaplar ve yükseklikler için denenerek optimal değerleri bulunmuş daha sonra simüle edilen bu çalışmalar deneysel olarak da yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar izolatörün çelik kapağına optimal değerlerde (uygun yarıçap ve yükseklik) bir metal halkanın eklenmesinin izolatör boyunca teğetsel alan kuvvetini azaltabildiğini ve parlama gerilimini arttırabildiğini göstermiştir (Zhang ve ark., 2018).

Aouabed ve arkadaşları tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada silikon kaplı bir izolatörün yüzeyindeki su damlacıklarının izolatör yüzeyindeki gerilim ve elektrik alan dağılımına olan etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada su damlacıklarının hacminin yanı sıra sayısının, şeklinin izolatör yüzeyindeki gerilim ve elektrik alan dağılımını nasıl etkilediği üzerinde durulmuştur. Simulasyon için izolatörün geometrik şekli için *COMSOL* Multiphysics ile tasarlanmış olup hesaplamalar ise sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı bu simülasyon yazılımından elde edilmiştir. Simulasyon üzerinde su damlacıkları bulunan ve bulunmayan iki izolatör için yapılmış olup, elde edilen gerilim ve elektrik alan dağılımlarının karşılaştırılmasıyla su damlacıklarının gerilim ve elektrik alan dağılımı gibi parametreler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, su damlacıklarının hacminin, sayısının ve iletkenliğinin gerilim ve elektrik alan dağılımını etkilediği ve su damlacıklarının varlığıyla birlikte elektrik alanın hava, su damlacığı ve izolatör yüzeyinin kesiştiği noktada arttığı sonucuna varılmıştır (Aouabed ve ark., 2018).

2.2. Tezin Güncelliği

Hızla artmakta olan dünya nüfusu, beraberinde hızla artan bir enerji tüketimini meydana getirmiştir. Bu durumda elektrik enerjisi talebinin karşılanması açısından,

alternatif enerji kaynakları arayışının yanı sıra, mevcut kaynaklardaki kayıpların önüne geçmek de son derece önemlidir.

Kayıplar elektriksel ve mekaniksel tüm sistemlerde az veya çok ölçekli olarak mutlak surette meydana gelmektedirler. Elektrik şebekelerindeki izolatör sistemleri için kaçınılmaz olan bu durum neticesinde, taşınan birim elektrik enerjisi başına maliyet miktarı artmakta, şebekede taşınan gerilimin kalitesi düşmekte ve hattın enerji taşıma kapasitesi de buna bağlı olarak küçülmektedir. Bu durumları netice veren kayıpları minimize edebilme adına, kayıplara sebep olan etkilerin tespit edilmesi ve bu doğrultuda birtakım önlemler alınmasına olanak vermektedir.

Buzlanma yükü ve rüzgâr şiddeti gibi meteorolojik faktörlerin izolatörler üzerindeki etkilerine ilişkin birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmaların sonuçları doğrultusunda izolatörlerde iyileşmeler sağlanmıştır. Sıcaklık artışı ise buzlanmaya tersi yönde etki gösteren atmosferik bir olaydır. Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde izolatörler çoğunlukla direk tepesinde yer alır ve gün boyunca güneş ışınlarına maruz kalmaktadırlar. Bu durum bir yandan çarpma suretiyle iyonizasyon olayını kolaylaştırmakta; öte yandan izolatör yüzeyini ısıtarak yüzeysel boşalmaları kolaylaştırıcı yönde bir etki göstermektedir. Yüzeysel boşalmalar neticesinde elektrik enerjisi sistemlerindeki bazı ekipmanlar hasar görmekte, erimekte ve kor alev şeklinde yere düşmektedir. Enerji iletim hatlarının direkleri çoğu zaman ekili arazilerde veya orman arazilerinde yer aldığından dolayı, bu tip boşalmalar sonucu meydana gelen hasarlar veya alevlenmeler çoğu zaman telafisi olmayan yangınların ana sebebini oluşturmaktadırlar. Bu durum, ülkelerin öz kaynakları açısından da önemli bir mali kayıp teşkil etmektedir. Bu noktadan hareketle, deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, sıcaklığın izolatör yüzeylerinde meydana getirdiği boşalmalar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan literatür araştırmasında, sıcaklığın izolatör yüzeylerinde meydana getirdiği boşalmalar ile doğrudan ilintili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamış olup tez konumuzun bu yönüyle alanında özgün bir niteliğe sahip olduğu düşünülmektedir.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde önemli elektriksel kayıplara neden olan yüzeysel elektrik boşalmalarının önlenmesine yönelik çalışmalar güncelliğini korumaktadır. Yüzeysel elektrik boşalmaları genel olarak hava iletim hatlarının izolatör yüzeylerinde gerçekleşirler. Bu tür elektriksel boşalmaların davranışlarını incelemek amacıyla deneysel çalışmada kullanılacak izolatör sistemi için Şekil 3.1’de gösterilen, havai iletim hatlarında yaygın olarak kullanılan ve anma gerilimi 10 kV olan porselen malzemedен imal edilmiş izolatör kullanılmıştır. Elektrot sistemi olarak; iletim hattını temsil eden, yüzeyi pürüzsüz tek damarlı bakır iletken kullanılmıştır. Toprak elektrotu olarak da izolatörün alt tarafına yerleştirilmiş çember şeklindeki bakır iletken kullanılmıştır. Yüzeysel boşalmaları tespit etmek amacıyla oluşturulan bu sisteme daha sonra, farklı sıcaklık koşulları için belirli aralıktaki gerilimler uygulanarak akım değişimleri ölçülmüştür.

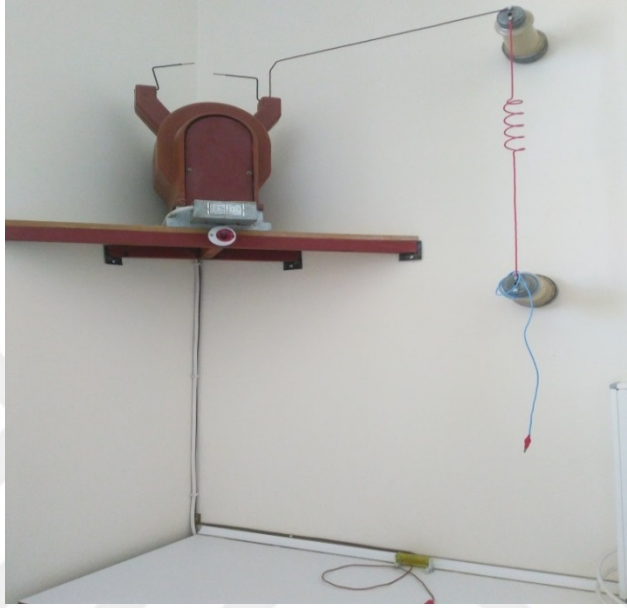


Şekil 3.1. Deneysel sistemde kullanılan izolatör görüntüsü

Deneysel işlemler Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi bünyesinde bulunan yüksek gerilim laboratuvarında yürütülmüştür. Deneysel sistemde, porselen malzemedен yapılmış havai hatlarda kullanılan izolatör, sıcaklık ölçüm aralığı $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında olan temassız ölçüm özelliğine sahip termometre ile AC beslemeye sahip 1:150 dönüştürme oranında 0-33 kV arası çıkış gerilimi verebilen ayarlı bir gerilim trafosu

mevcuttur. Bu gerilim trafosuyla birlikte, besleme amaçlı çıkış gerilimi 0-220 V aralığında değişebilen ayarlanabilir bir varyak kullanılmıştır.

şekil 3.2’de verilen ve deneysel çalışmada kullanılan dâhili tip gerilim trafosu tek fazlı olup 1 kVA gücündedir. Bu gerilim trafosunun topraklama sistemi bina topraklamasından bağımsız olan müstakil bir topraklama sistemiyle gerçekleştirilmiştir.



şekil 3.2. Deneysel çalışmada kullanılan dâhili tip gerilim trafosu görüntüsü

şekil 3.3’te gösterilen ve yüksek gerilim trafosunun beslemesi için kullanılan gerilim kaynağı, 0-220 V aralığında ve 1 V aralıklarla çıkış gerilimi verebilme özelliğine sahip olan tek fazlı bir varyaktır.



şekil 3.3. Ayarlanabilir gerilim kaynağı (Varyak) görüntüsü

Devrede gerilim trafosunu çeşitli frekanslarda besleme görevi olan devre elemanı, 45-500 Hz aralığında ayarlı frekans ve 0-220 V ayarlı gerilim sağlayabilen bir AC güç kaynağı olup bu eleman Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Çeşitli frekanslarda ayarlı çıkış gerilimi verebilen AC güç kaynağı görüntüsü

Deneysel çalışma için gerekli olan 30 °C, 45 °C, 55 °C, 75 °C, 100 °C ve 150 °C değerlerindeki yüksek sıcaklık değerleri için Şekil 3.5'te görüntüsü verilen BINDER Marka ED53 tipi etüv ısıtıcıdan yararlanılmıştır. 30 °C'den daha düşük sıcaklıklar için ise no-frost ev tipi bir buzdolabından yararlanılmıştır.



Şekil 3.5. Binder marka ED53 tipi etüv ısıtıcı görüntüsü

Deneysel çalışma süresince deney setindeki izolatorün yüzey sıcaklığı sürekli ölçülerek sabit sıcaklıkta kontrol altında tutulmuştur. Ölçümlerde kullanılan lazerli IR

termometrenin görüntüsü Şekil 3.6’da verilmiştir. Ölçüm cihazının sıcaklık ölçüm aralığı ise $-20\text{ }C^{\circ}$ ile $450\text{ }C^{\circ}$ aralığında olup lazerli *IR* temassız ölçüm özelliğine sahiptir.



Şekil 3.6. Lazerli *IR* temassız sıcaklık ölçer görüntüsü

Deney setinin genel görüntüsü ise Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Deney setine ait genel bir görüntü

3.2. Metot

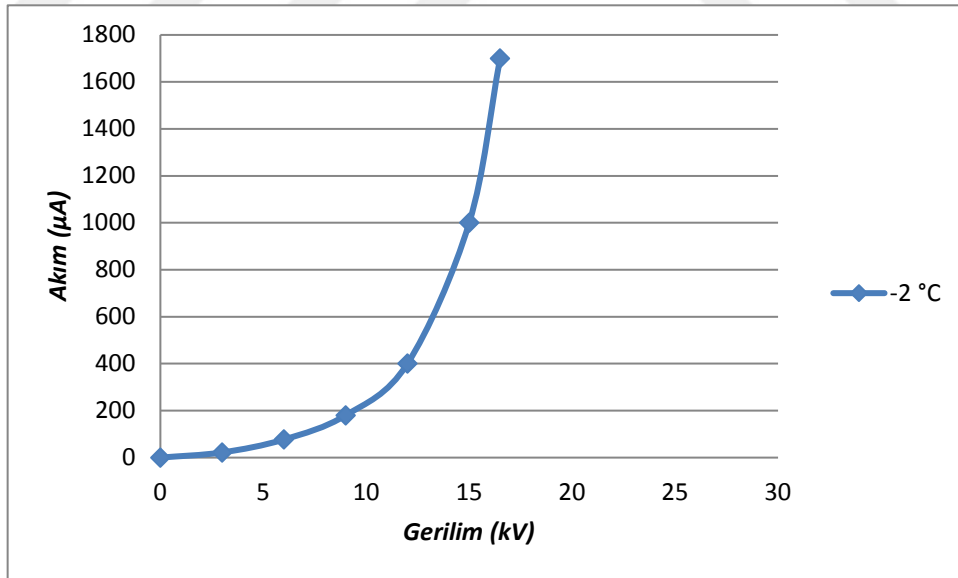
Elektrik enerjisi sistemlerinde iletim hattını taşımak ve toprağa karşı yalıtılmak amacıyla kullanılan izolatörler (trafo binalarının içindeki montaj hariç) çoğunlukla yüksek direklerin tepesinde yer almaktadırlar. Bu nedenle açık hava koşullarında her türlü atmosferik koşula maruz kalmaktadırlar. Örneğin sıcak bir yaz gününde açık havada gün boyu kuvvetli bir güneş ışığına maruz kalabilirken; benzer şekilde, soğuk bir kış günündeki dondurucu soğuğa veya yoğun bir yağışa da maruz kalabilmektedir. Bu izolatörlerin belirtilen koşullara mekanik-i dayanımlarının yanı sıra, elektrik-i dayanımları da göz ardı edilemeyecek derecede büyük öneme sahiptir. Elektrik-i dayanımdan kasıt, çeşitli faktörler sonucunda meydana gelen yüzeysel boşalmalara karşı dayanımları ve göstermiş oldukları elektriksel dirençleridir.

Bir izolatör yüzeyinde gerçekleşen yüzeysel boşalmanın tutuşmasını kolaylaştıran; başka bir deyişle yüzeysel direncini azaltan faktörlerden önemli biri, yüksek sıcaklıktır. Güneşli havalarda izolatör yüzeyleri aşırı derecelerde ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığındaki değerlere kadar) ısınarak yüzeysel boşalmalara karşı elektriksel dirençleri değişebilmektedir. Bu değişimin yüzeysel boşalmaların tutuşması üzerindeki etkisini deneysel olarak belirlemek amacıyla tez çalışmamızda kullanılan örnek izolatör, (düşük sıcaklıklar için) bir soğutucu ile (yüksek sıcaklıklar için ise) bir ısıtıcı etüv yardımıyla istenilen sıcaklık değerlerine ($-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $150\text{ }^{\circ}\text{C}$) getirilmiştir. Her sıcaklık değeri için birbirinden bağımsız olarak izolatör yüzeyine belirli adımlarla yüksek gerilim uygulanmış ve izolatör yüzeyinin sızıntı akımları ölçülmüştür. Gerilim değerleri her sıcaklık değeri için, yüzeysel boşalma tutuşuncaya kadar arttırılmış ve boşalmanın tutuşmasıyla birlikte (izolatör yüzeyinde tahribat oluşmasını önlemek amacıyla) hızlıca azaltılarak sıfıra çekilmiştir. Benzer uygulamalar farklı frekans ve farklı sıcaklık değerleri için de tekrarlanarak hem sıcaklığa bağlı hem de frekansa bağlı Gerilim-Akım grafikleri oluşturulmuş ve yorumlanmıştır. Akım değerleri dijital bir AVO metre yardımıyla ölçülmüştür. Deneysel işlemler sırasında izolatör örneğinin sıcaklık değerinin kararlı ve istenilen değerde sabit tutulmasına özen gösterilmiştir. Deneyler oda sıcaklığında ve atmosferik koşullarda gerçekleştirilmiştir. Alınan sonuçların doğruluğunu test etmek amacıyla kararlı sonuçlar alınıncaya kadar ölçümler tekrarlanmıştır.

4. BULGULAR

Atmosferik koşullarda ve özellikle açık havalarda sıcak mevsimlerde güneşe maruz kalarak ısınan izolator yüzeylerinin; öte yandan kış mevsiminin soğuk zamanlarında soğuyarak yüzeysel boşalmaların tutuşmasına karşı direnç değerleri değişebilmektedir. Böyle durumlarda yüzeysel boşalmaların delinme gerilimlerinin sınır değerlerinin belirlenmesi işlemlerinde özel olarak tasarlanmış olan bir izolator deney sisteminden yararlanılmıştır. Deneysel çalışmalar oda koşullarında ve hassas ölçümler yapabilen dijital cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar süresince, ölçüm esnasında 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.

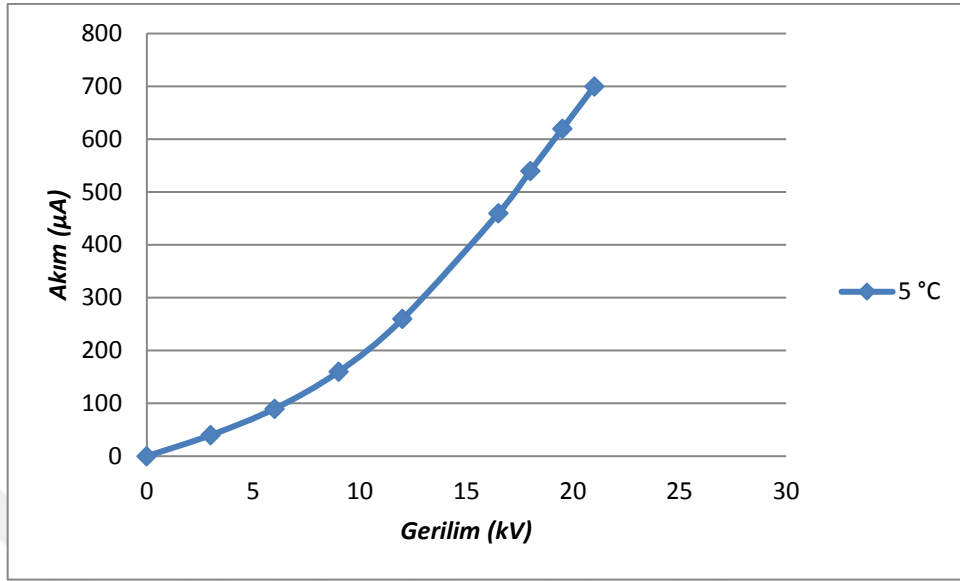
Deneysel çalışmalarda kullanılan örnek izolatorün $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ yüzey sıcaklığına ait *Gerilim-Akım* karakteristiği Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi gerilimin 5 kilovolttan küçük değerlerinde boşalmanın sızıntı akımı çok küçük değerlerde iken; 5 kilovolttan büyük değerlerde boşalma akımı üstel bir şekilde artmıştır. Bunun sebebi ise iyonizasyonla birlikte izolator yüzeyinde meydana gelen elektron çığlarıdır.



Şekil 4.1. İzolatorün $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ yüzey sıcaklığına ilişkin *Gerilim-Akım* karakteristiği

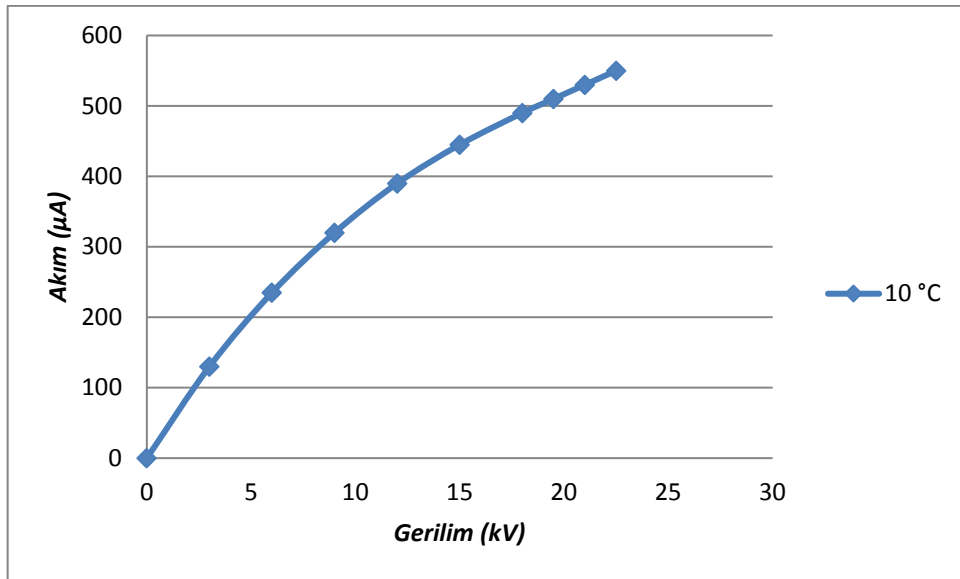
Benzer şekilde, izolator yüzeyinin sıcaklığının $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ye artırılması neticesinde, yüzeysel boşalmanın Gerilim-Akım grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü

gibi, yüzeysel boşalma akımı doğrusala yakın bir artış göstermiştir. Dolayısıyla sıcaklığın etkisi belirgin olarak görülmektedir.



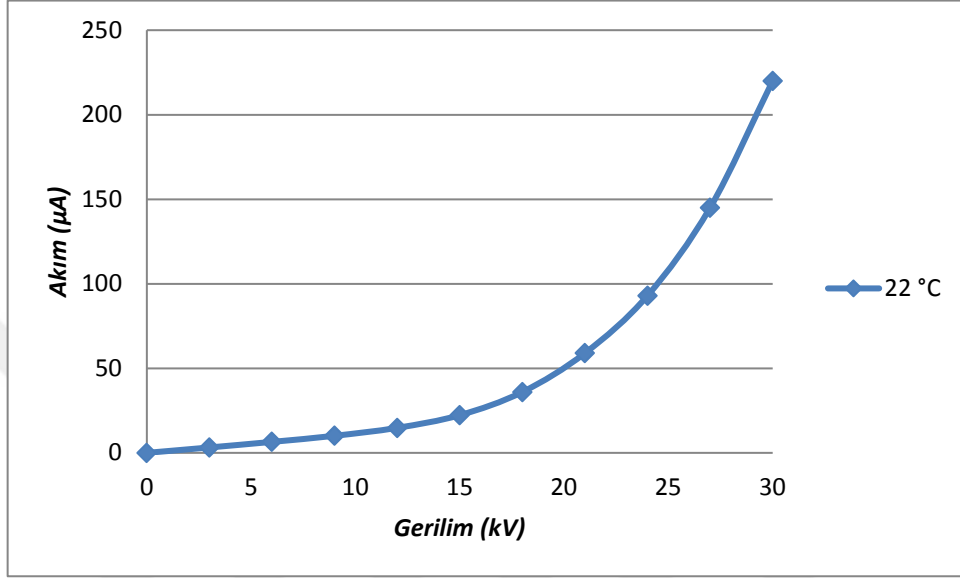
Şekil 4.2. İzolatörün 5 °C yüzey sıcaklığına ilişkin Gerilim-Akım karakteristiği

Sıcaklığın daha da artırılarak +10 °C yapılması durumunda alınan boşalmanın Gerilim-Akım grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir. Bu koşullarda boşalma akımı diğer durumlardan farklı olarak logaritmik bir artış göstermiştir. Grafiklerden görüldüğü üzere, sıcaklık artışına bağlı olarak yüzeysel boşalma akım oranları da önemli ölçüde artmıştır. Bu sıcaklık değeri, boşalma akımı açısından bir dönüm noktası olarak görülmektedir.



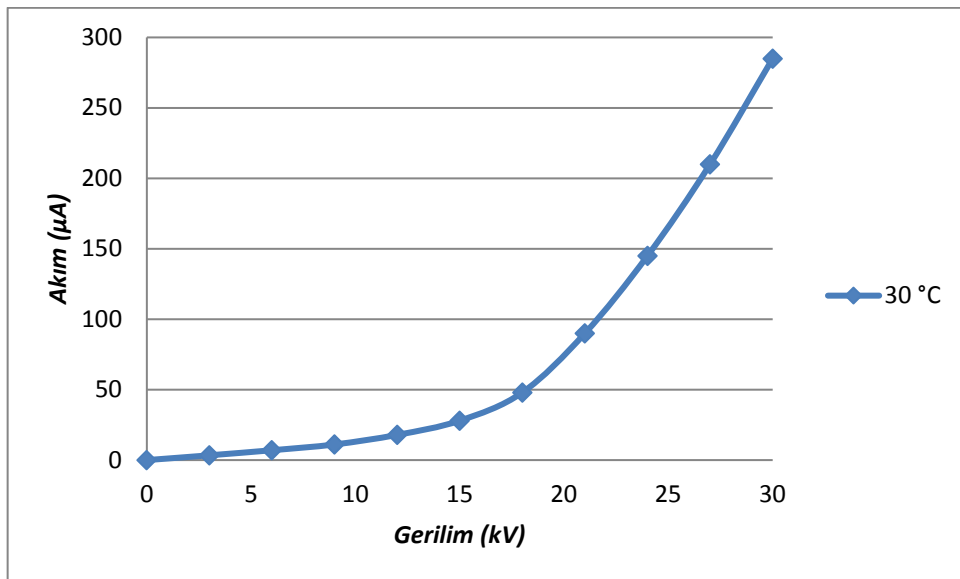
Şekil 4.3. İzolatörün 10 °C yüzey sıcaklığına ilişkin Gerilim-Akım karakteristiği

Sıcaklığın bir adım daha arttırılarak +22 °C yapılması durumunda boşalmanın alınan Gerilim-Akım grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu sıcaklık değerinde, gerilimin düşük değerlerinde boşalma akımı düşük seviyelerde iken, 10 kilovolttan daha büyük değerlerde ise -2 °C yüzey sıcaklığında alınan değerlere benzer karakterli fakat daha düşük akım seviyelerine sahip olan üstel bir artış göstermiştir.



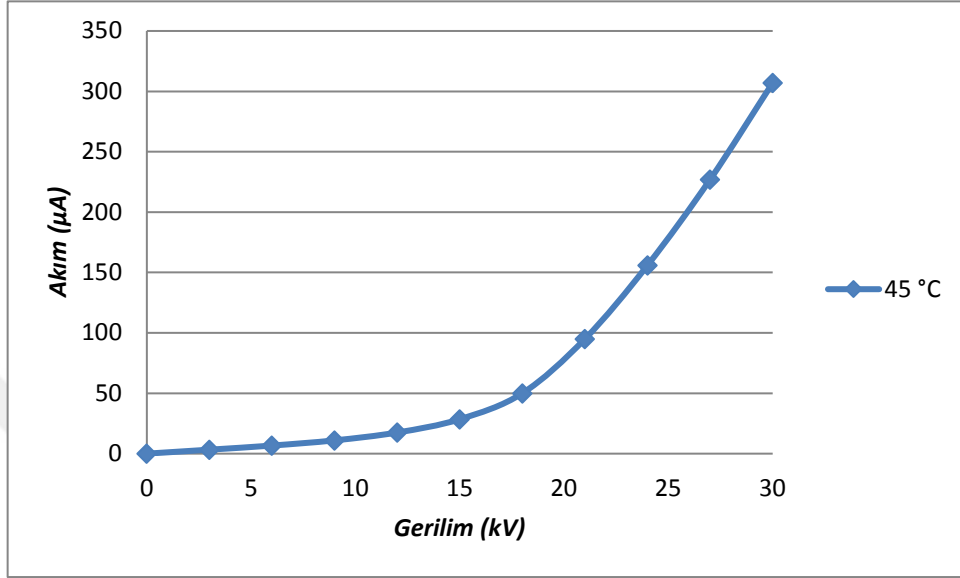
Şekil 4.4. İzolatörün 22 °C yüzey sıcaklığına ilişkin Gerilim-Akım karakteristiği

Şekil 4.5'te verilen grafik ise, izolatörün +30 °C yüzey sıcaklığına ait Gerilim-Akım grafiğidir. Bu durumda, bir önceki grafiğe göre sıcaklık farkı az olduğundan dolayı boşalma akımı +22 °C'de alınan değerlere yakın bir davranış göstermiştir.



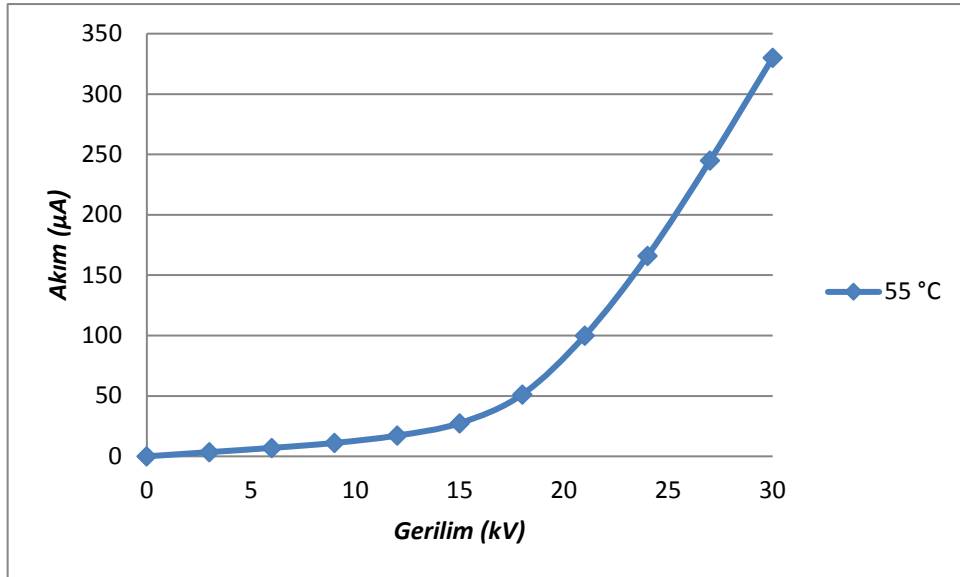
Şekil 4.5. İzolatörün 30 °C yüzey sıcaklığına ilişkin Gerilim-Akım karakteristiği

Şekil 4.6’da verilen grafik ise, izolatörün +45 °C yüzey sıcaklığına ait *Gerilim-Akım* grafiğidir. Bu durumda, bir önceki grafiğe göre sıcaklık farkı az olduğundan dolayı boşalma akımı +30 °C’de alınan değerlere yakın özelliklerde ve üstel şekilde artan bir davranış göstermiştir.



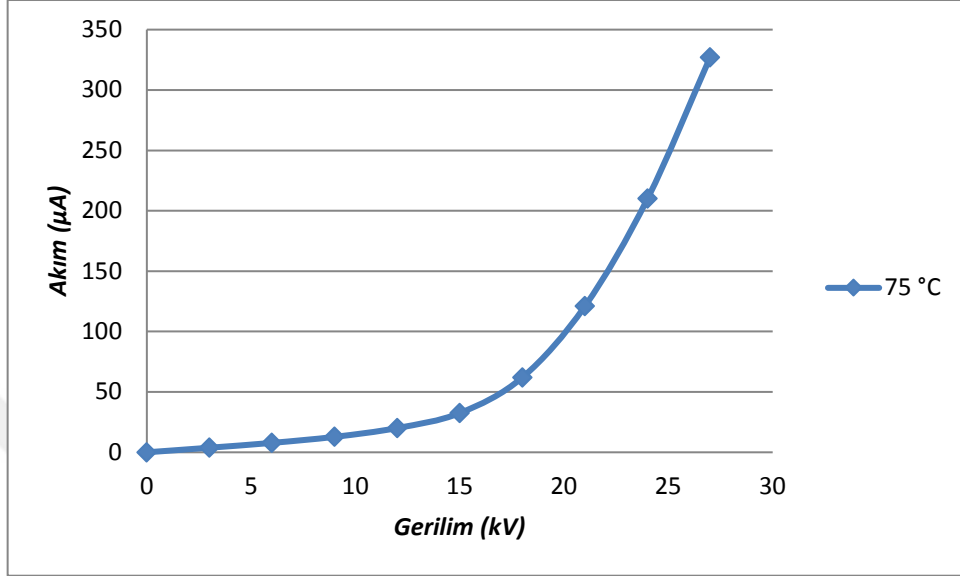
Şekil 4.6. İzolatörün 45 °C yüzey sıcaklığına ilişkin *Gerilim-Akım* karakteristiği

Şekil 4.7’de verilen grafik ise, izolatörün +55 °C yüzey sıcaklığına ait *Gerilim-Akım* grafiğidir ve bir önceki grafiğe benzer olan üstel bir artış göstermiştir.



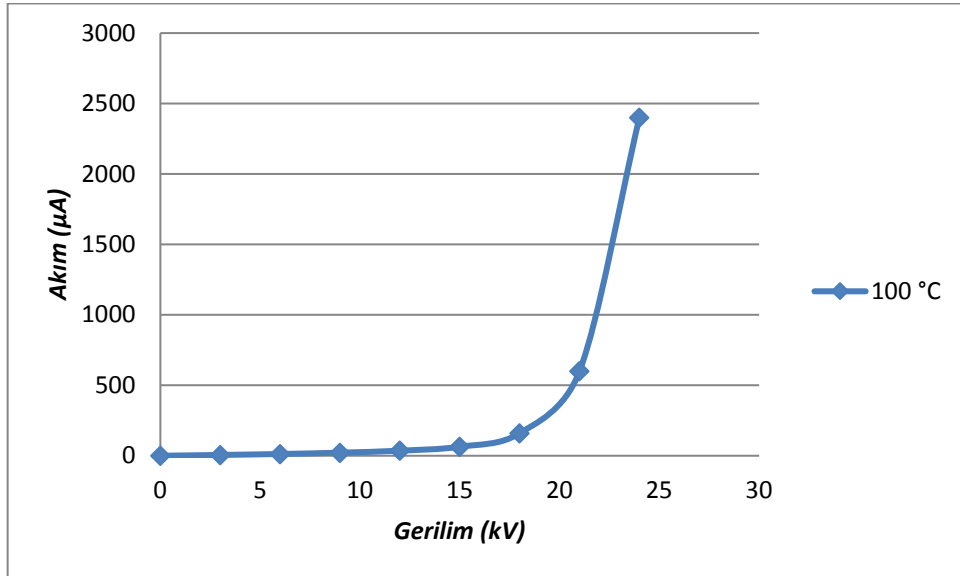
Şekil 4.7. İzolatörün 55 °C yüzey sıcaklığına ilişkin *Gerilim-Akım* karakteristiği

Şekil 4.8’de verilen grafik ise, izolatorün +75 °C yüzey sıcaklığına ait *Gerilim-Akım* grafiğidir ve bir önceki grafiğe benzer olan üstel bir artış göstermiştir. Fakat bu koşullarda boşalmanın akım değerleri genel olarak 15 kV’tan büyük gerilim değerlerinde üstel olarak artmıştır.



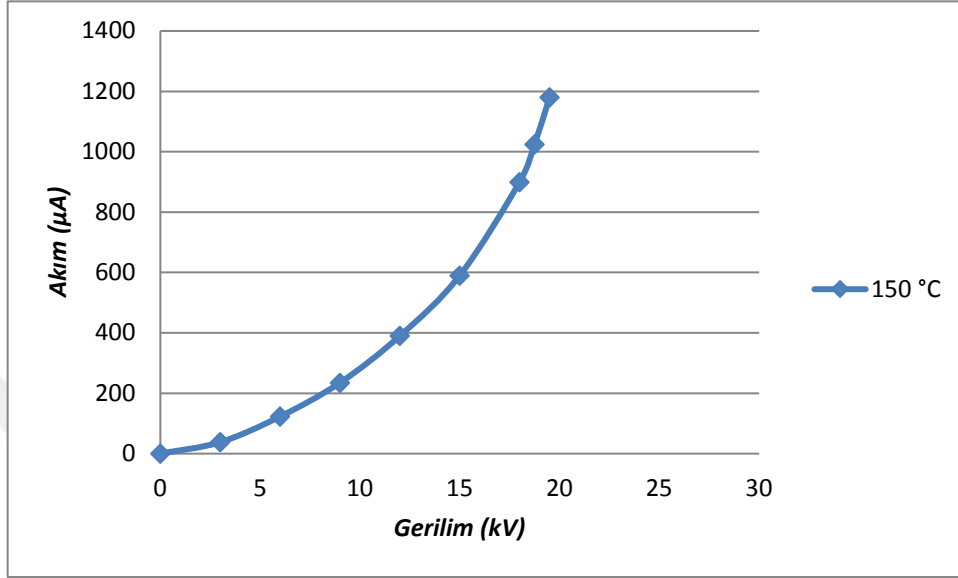
Şekil 4.8. İzolatorün 75°C yüzey sıcaklığına ilişkin *Gerilim-Akım* karakteristiği

Şekil 4.9’da verilen grafik ise, izolatorün +100 °C yüzey sıcaklığına ait *Gerilim-Akım* grafiğidir. Grafiğe göre boşalmanın tutuşması 20 kV’tan sonra gerçekleşmiş ve bu durumda akım üstel bir artış göstermiştir. Bu koşullarda boşalmanın akım değerleri *mikroamper* seviyelerinden *miliamper* seviyelerine kadar artmıştır.



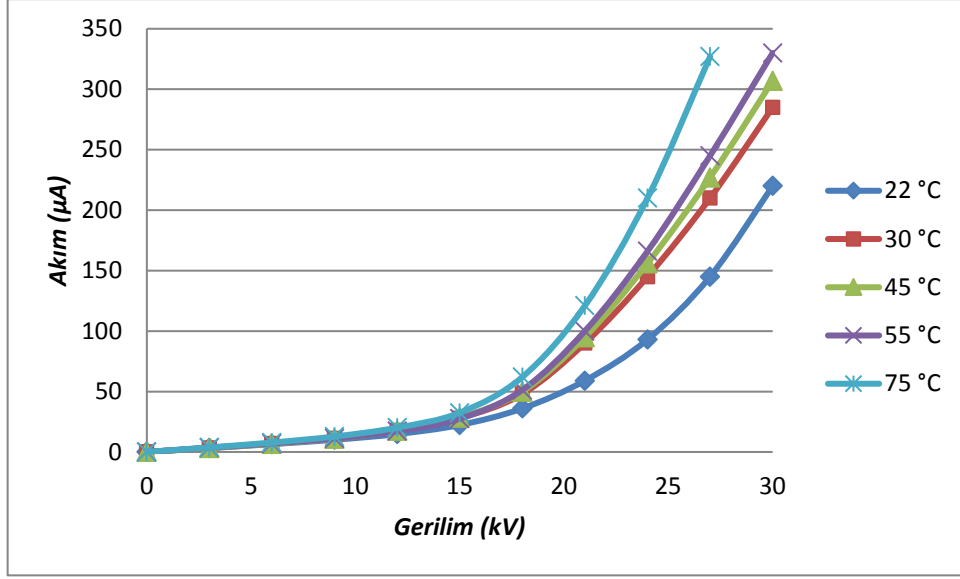
Şekil 4.9. İzolatorün 100°C yüzey sıcaklığına ilişkin *Gerilim-Akım* karakteristiği

Şekil 4.10’da verilen grafik ise, izolatörün +150 °C yüzey sıcaklığına ait *Gerilim-Akım* grafiğidir. Grafiğe göre boşalmanın akım değerleri 5 kV’tan sonra üstel bir artış göstermiştir. Bu sıcaklık değerinde boşalma daha düşük değerlerde tutuşmuş ve akım hızla artmıştır.



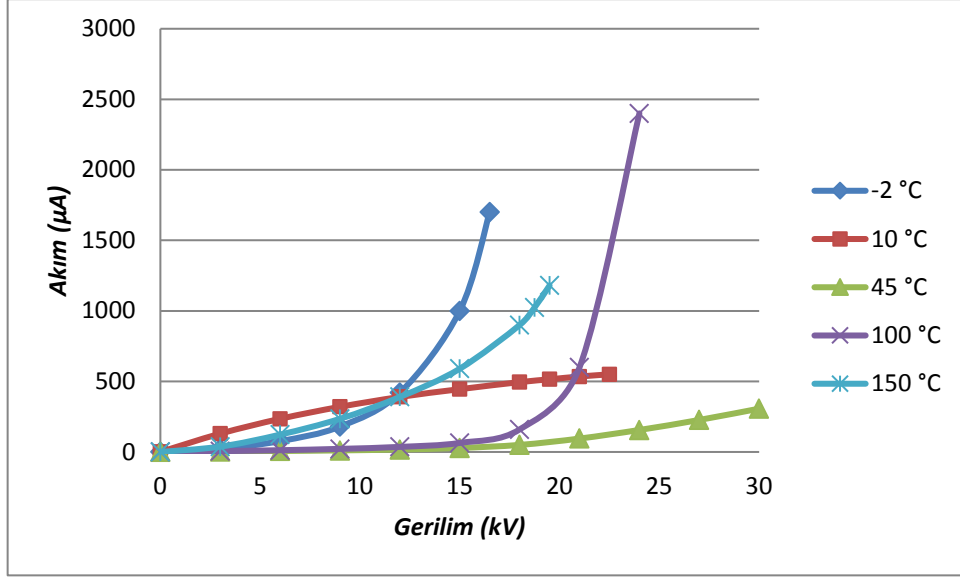
Şekil 4.10. İzolatörün 150°C yüzey sıcaklığına ilişkin *Gerilim-Akım* karakteristiği

Şekil 4.11’de verilen grafikte izolatörün 22–75 °C arası çeşitli yüzey sıcaklıklarındaki *Gerilim-Akım* karakteristiği verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere izolatörün yüzey sıcaklığının, izolatör yüzeyinde meydana gelen kaçak akımlar üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Verilen tüm sıcaklık değerlerinde besleme gerilimi arttıkça akımın üstel olarak artan bir eğilim içerisinde olduğu görülmektedir. Tüm yüzey sıcaklık değerlerinde 12 kV gerilim değerine kadar akım değerleri aynı olmamakla birlikte birbirine yakın iken buna karşın; bu gerilim değerinden sonra uygulama geriliminin değeri arttıkça farklı sıcaklıklar için akım değerlerindeki değişim daha belirgin bir hale gelmektedir. Yüzey sıcaklığının artmasıyla birlikte termik iyonizasyonun kolaylaştığı bunun da beraberinde yüzeysel boşalmaları kolaylaştırıcı yönde bir etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte verilen sıcaklık aralığında artan sıcaklıkla birlikte yüzeysel boşalmanın daha küçük gerilim değerlerinde başladığı görülmektedir. Artış değerlerinin üstel şekilli bir değişim göstermesi, yüzeysel boşalmaların çığ şeklinde gelişmesi ve akımın da buna bağlı olarak üstel bir davranış göstermesiyle açıklanabilir. Bu durum aynı zamanda oluşan yüzeysel boşalmanın elektriksel karakteristiğini de ortaya koymaktadır.



Şekil 4.11. İzolatörün 22 -75 °C aralığındaki çeşitli yüzey sıcaklıklarına ilişkin karşılaştırmalı Gerilim-Akım karakteristikleri

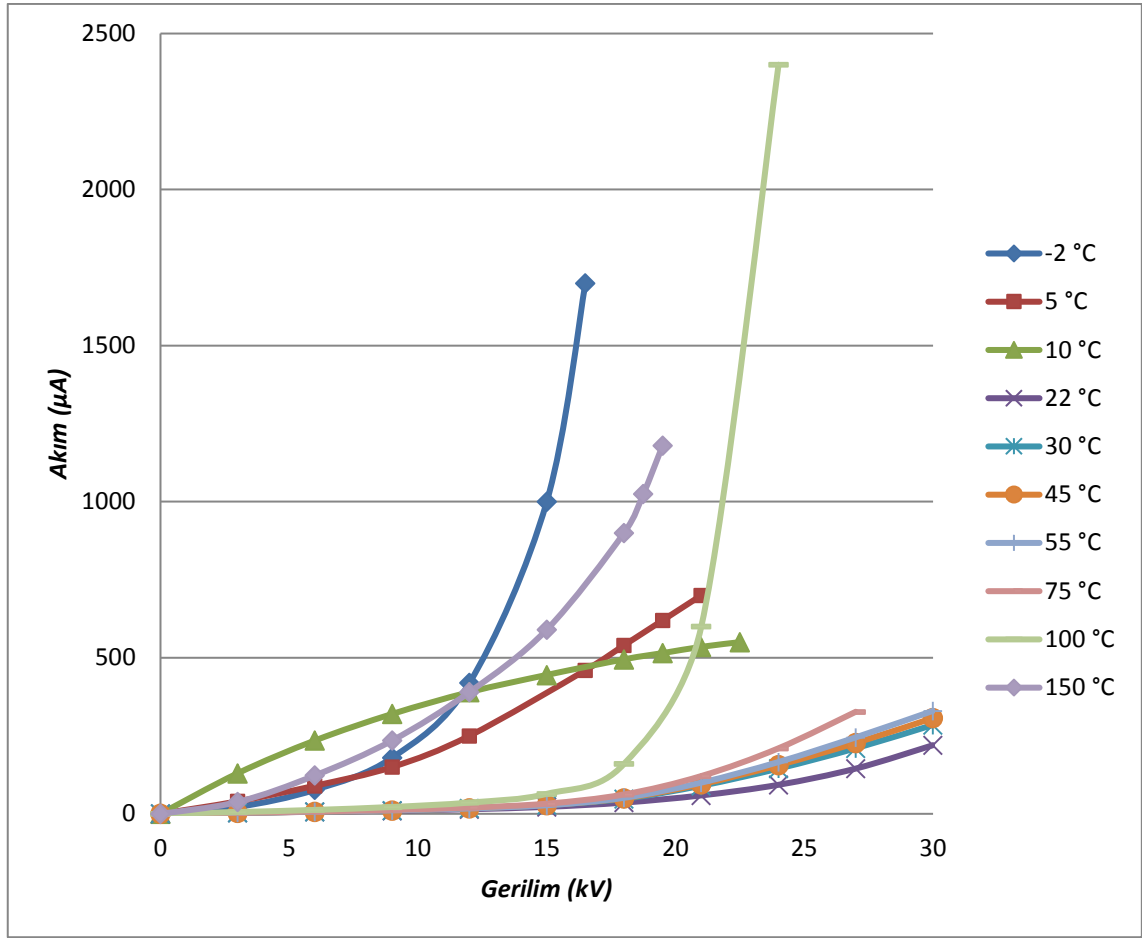
Şekil 4.12’de izolatörün -2 ile 150 °C aralığındaki çeşitli yüzey sıcaklıklarına ilişkin karşılaştırmalı Gerilim-Akım karakteristikleri verilmiştir. Burada izolatör yüzey sıcaklığının çok düşük olduğu değerlerde de şekil 4.11’de verilen artan sıcaklık karakteristiğine yakın bir eğilim içerisinde olduğu görülmüştür. Burada 12 kV gerilim değerine kadar tüm gerilim değerinde en büyük boşalma akımı 10°C yüzey sıcaklığında gözlemlenmiş olup -2 ile 150 °C yüzey sıcaklığında boşalma akımının birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür. 12 kV gerilim değerinden sonra gerilim arttıkça akım değişimi belirgin bir hal almış olup en yüksek boşalma akımı -2 °C yüzey sıcaklığında ölçülmüştür. Bu da düşük yüzey sıcaklığının izolatör yüzeyinde gerçekleşen yüzeysel boşalmaları kolaylaştırıcı yönde bir etkisinin olduğunu göstermektedir. Bunun sebebi olarak ise soğutma esnasında yüzey üzerinde oluşan nemin yüzey üzerindeki elektriksel iletkenliği arttırdığı bunun sonucunda da yüzeysel boşalma akımının daha yüksek değerlerde olmasına bağlı olarak yüzeysel boşalmanın daha düşük gerilim değerlerinde gerçekleşmesine neden olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte sonuçlar yüzey sıcaklığının belli bir sıcaklık değerinden sonra artmasıyla birlikte boşalma akımının da üstel karakterli olarak arttığını, bu sıcaklık değerinden itibaren sıcaklık kademeli olarak azaldıkça benzer bir şekilde boşalma akımının yine arttığını göstermiştir. Bu durumda ilgili bölgede akım açısından bir dönüm noktası meydana gelmiştir. Bu nokta 10-22 °C aralığında yer almaktadır.



Şekil 4.12. İzolatörün -2 ile 150 °C aralığındaki çeşitli yüzey sıcaklıklarına ilişkin karşılaştırmalı Gerilim-Akım karakteristikleri

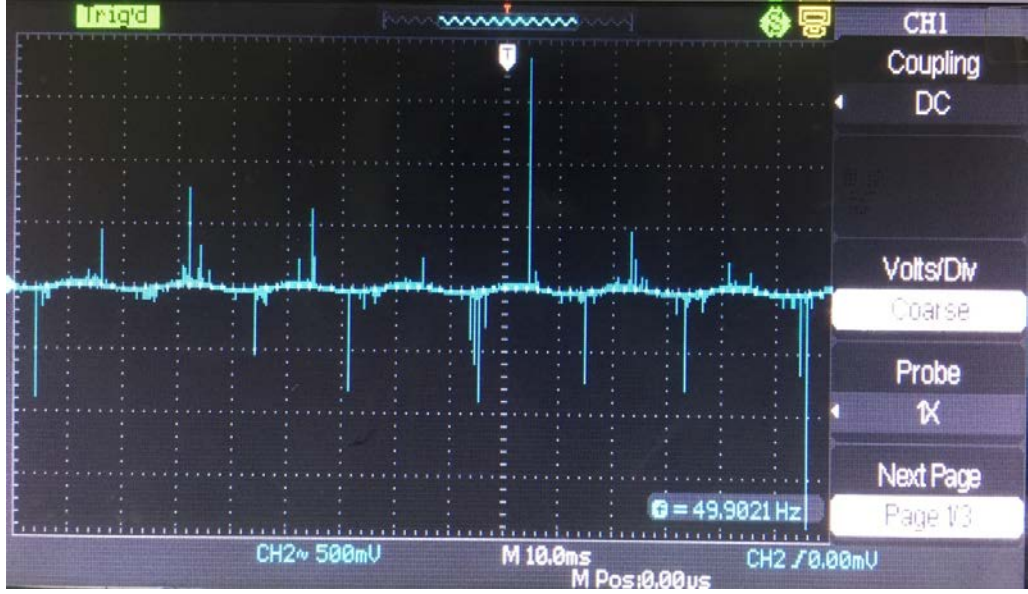
Şekil 4.13'te İzolatörün -2 ile 150 °C aralığındaki belirlenen tüm yüzey sıcaklıklarına ilişkin karşılaştırmalı Gerilim-Akım karakteristikleri verilmiştir. Sonuçlar 22 °C yüzey sıcaklığından itibaren yüzey sıcaklığı arttıkça boşalmanın belirli gerilim değerlerinden itibaren üstel bir şekilde artan boşalma akımının da daha büyük değerler aldığını göstermektedir. Özellikle 150 °C yüzey sıcaklığında bu akım değişiminin daha belirgin bir hal aldığı görülmektedir. 22 °C yüzey sıcaklığından sonra sıcaklık arttıkça boşalma başlama sınır değerinin de küçüldüğü görülmektedir. 12 kV gerilim değerine kadar en büyük boşalma akımı 10 °C yüzey sıcaklığında ölçülmüş olup bu gerilim değerinden sonra artan gerilim karşısında boşalma akımının yüzey sıcaklığının düşmesiyle daha büyük değerler aldığı bununda yüzeysel boşalmanın daha düşük gerilim değerlerinde gerçekleşmesine neden olduğu görülmektedir. Grafikte yüzey sıcaklığının en alt (-2 °C) ve en üst (150 °C) sınır değerleri karşılaştırıldığında 12 kV gerilim değerine kadar boşalma akımının 150 °C değerinde daha büyük değerler alırken 12 kV gerilim değerinden sonra -2 °C de daha büyük değerler aldığı görülmektedir. Tüm yüzey sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında 12 kV gerilim değerinden sonra boşalma akımı tüm uygulama gerilim değerlerinde en yüksek değerleri -2 °C'de almaktadır. Bunun sebebi olarak ise bu yüzey sıcaklık değerinde izolatör yüzeyinin direncinin azalmasıyla birlikte (yüzey nemliliğinin veya buğulanmanın etkisiyle iletkenliğin artması) yüzeyde daha geniş çaplı enerji yayılımlarının olması gösterilebilir. Dolayısıyla 0 °C'nin altındaki düşük sıcaklık

değerlerinin izolatör yüzeylerinde gerçekleşen yüzeysel boşalmalar üzerinde daha belirgin bir parametre olduğu görülmüştür.



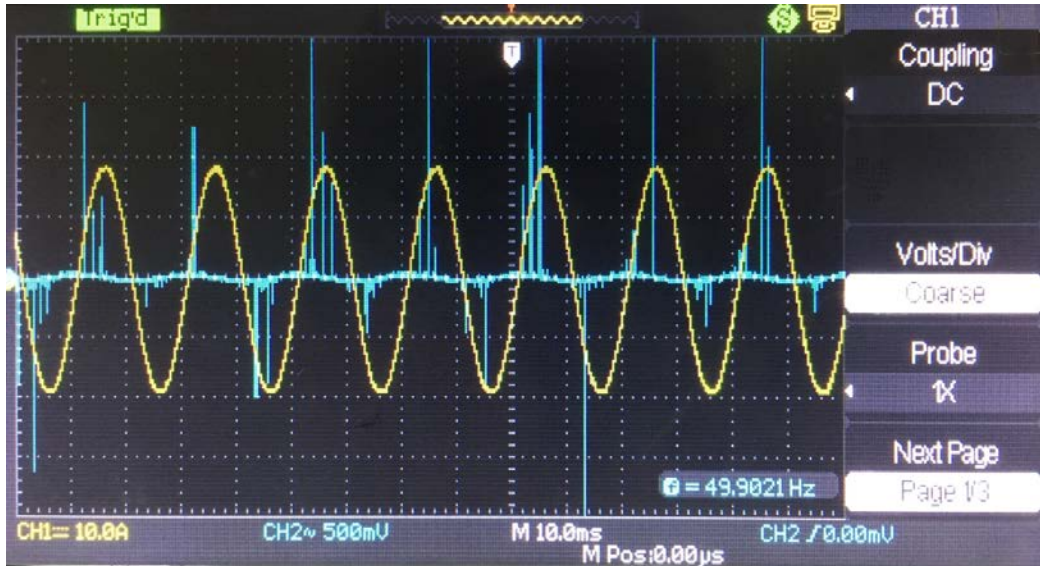
Şekil 4.13. İzolatörün -2 ile 150 °C aralığındaki belirlenen tüm yüzey sıcaklıklarına ilişkin karşılaştırmalı Gerilim-Akım karakteristikleri

Şekil 4.14'te yüzeysel boşalmanın, gerilimin 5 kV'tan düşük değerlerinde alınan sızıntı akımı darbelerinin osiloskop ekranı görüntüsü verilmiştir. Besleme gerilimine bağlı olarak hem pozitif hem de negatif alternasta belli bir gerilim değerinden sonra Trichell darbeleri görülmektedir. Bu darbeler boşalma henüz gerçekleşmediği için yoğun bir şekilde gözlenmemekte olup bu darbeler çok yüksek genliklere sahip değillerdir. Gerilimin daha da artırılmasına bağlı olarak bu darbelerin sayısı giderek artmakta ve bu da boşalma ortamındaki uzay hacim yüklerinin mobilitelerinin artması ve dolayısıyla boşalma akımının non-lineer bir şekilde artmasına yol açmaktadır.



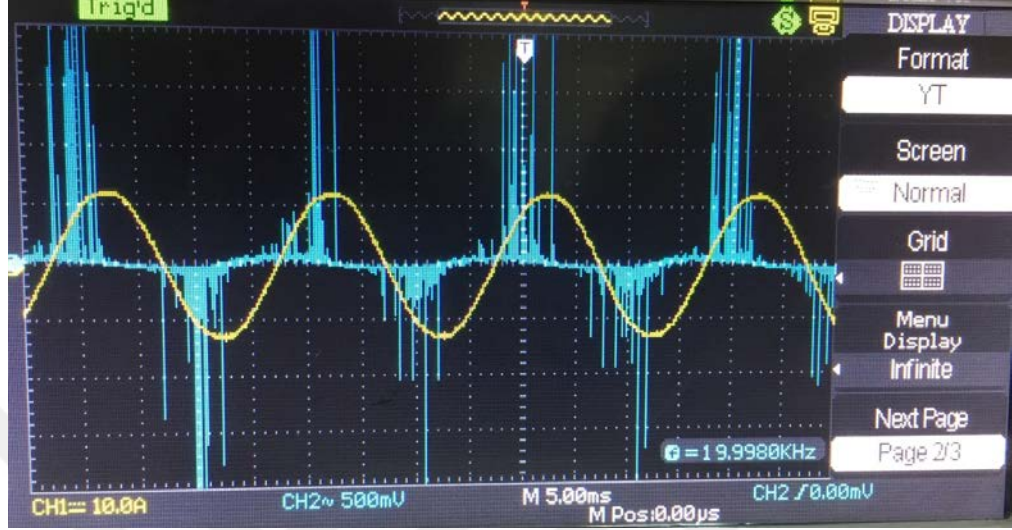
Şekil 4.14. Yüzeysel Boşalmanın, gerilimin 5 kV'tan düşük değerlerinde alınan sızıntı akımı darbelerinin osiloskop ekranı görüntüsü

Şekil 4.15'te yüzeysel boşalmanın tutuşma başlangıcında alınan akım darbeleri ve uygulama gerilimi sinyallerinin osiloskop ekranı görüntüsü verilmiştir. Burada boşalmanın başlama anı olduğundan Trichell darbeleri negatif alternansa kıyasla pozitif alternansta hem daha yoğun hem de daha yüksek genlikli olmaktadır. Bu durumda pozitif koronanın etkisinin daha baskın olduğu söylenebilir.



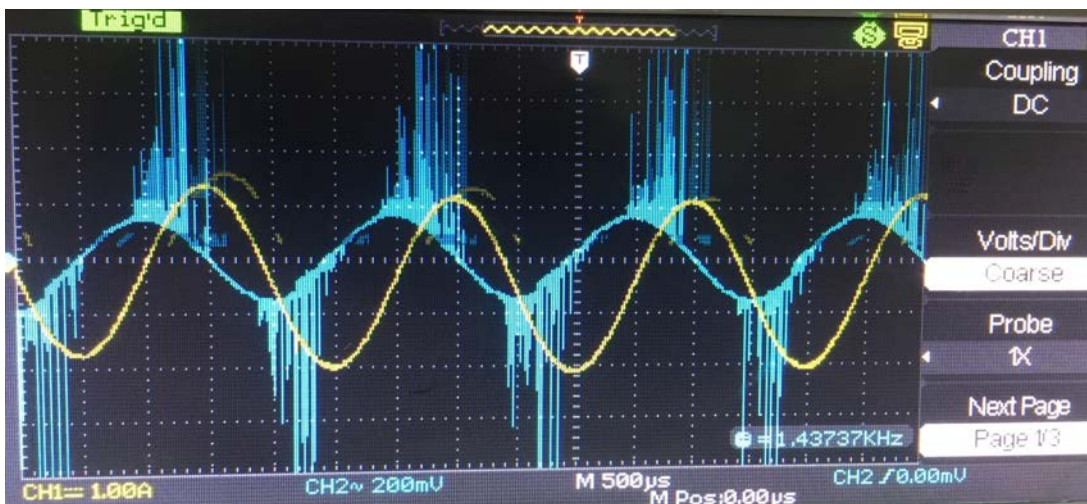
Şekil 4.15. Yüzeysel Boşalmanın tutuşma başlangıcında alınan akım darbeleri ve uygulama gerilimi sinyallerinin osiloskop ekranı görüntüsü

Şekil 4.16'da yüzeysel boşalmanın tutuşması sonrasındaki akım darbeleri ve uygulama gerilimi sinyallerinin osiloskop ekranı görüntüsü verilmiştir. Burada boşalma gerçekleştiği için Trichell darbeleri daha yoğun bir şekilde gözlenmiştir.



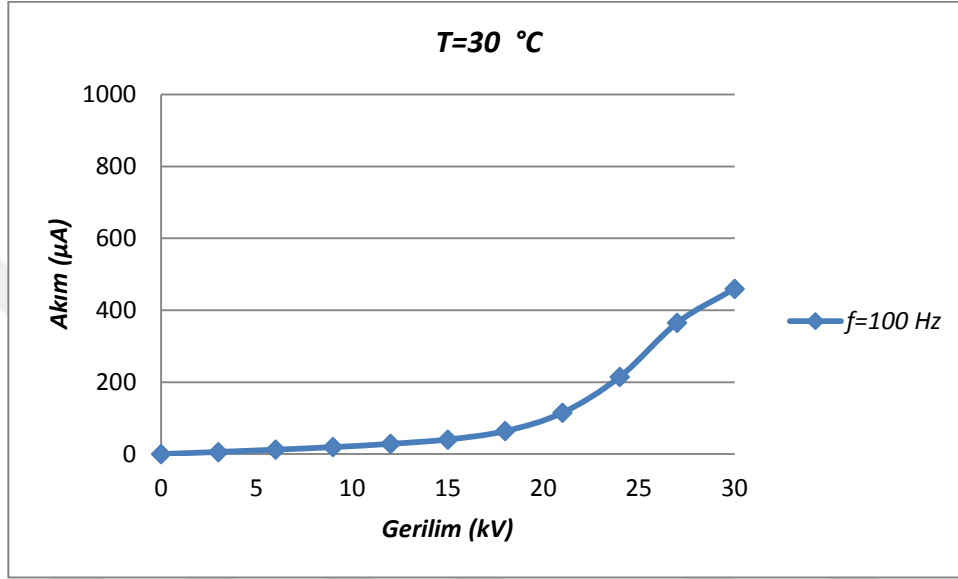
Şekil 4.16. Yüzeysel Boşalmanın tutuşması sonrasındaki akım darbeleri ve uygulama gerilimi sinyallerinin osiloskop ekranı görüntüsü

Şekil 4.17'de yüzeysel boşalmanın gelişimi sırasında alınan akım darbeleri ve uygulama gerilimi sinyallerinin osiloskop ekranı görüntüsü verilmiştir. Besleme geriliminin belli bir değerinden sonra hem pozitif hem de negatif alternansta Trichel darbeler çok daha yoğun bir şekilde gözlemlenmiştir.



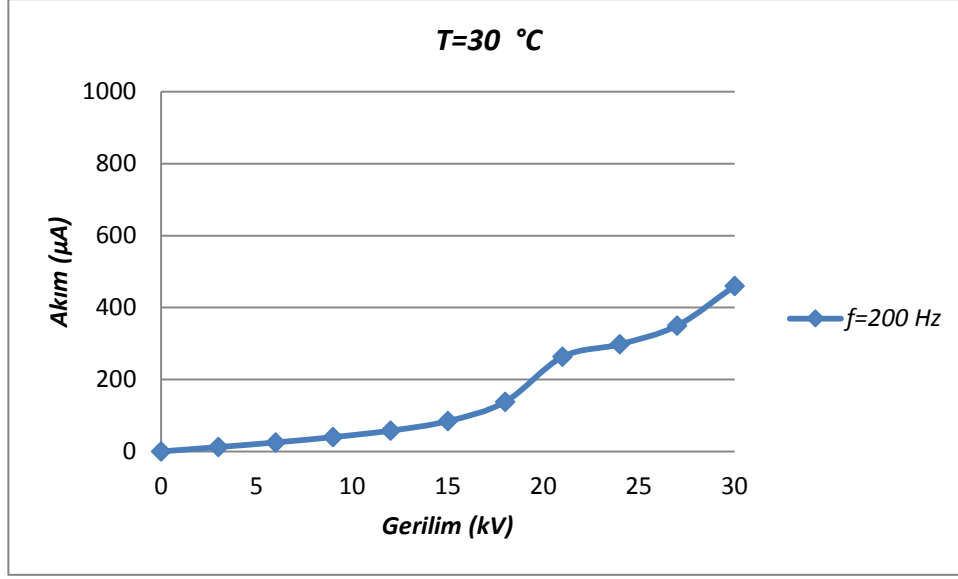
Şekil 4.17. Yüzeysel Boşalmanın gelişimi sırasında alınan akım darbeleri ve uygulama gerilimi sinyallerinin osiloskop ekranı görüntüsü

Deneysel çalışmalar izolatör yüzeyi $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sabit tutularak besleme geriliminin farklı frekans değerleri için tekrarlanmıştır. İzolatörün $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sabit yüzey sıcaklığındaki uygulama geriliminin 100 Hz frekansına ilişkin *Gerilim-Akım* karakteristiği şekil 4.18'de verilmiştir. 15 kV uygulama gerilim değerine kadar boşalma akımının küçük değerlerde olduğu buna karşın; 15 kV uygulama değerinden sonra boşalma akımının üstel bir şekilde arttığı görülmüştür.



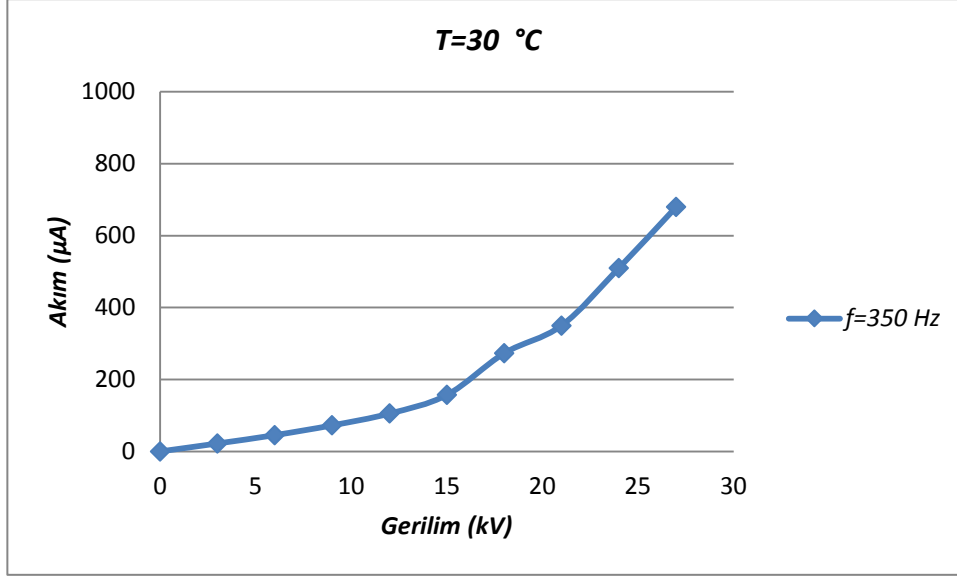
Şekil 4.18. İzolatörün $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sabit yüzey sıcaklığındaki uygulama geriliminin 100 Hz frekansına ilişkin *Gerilim-Akım* karakteristiği

İzolatorün $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sabit yüzey sıcaklığında besleme frekansının daha da artırılarak 200 Hz olması durumunda ise oluşan *Gerilim-Akım* grafiği Şekil 4.19'da verilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere *Gerilim-Akım* karakteristiği 100 Hz ile kıyaslandığında benzer bir eğilim içerisinde olduğu buna karşın; aynı gerilim değerlerinde boşalma akımının 100 Hz 'e oranla 200 Hz besleme frekansında daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür. Deneysel uygulamaların farklı frekanslarda da incelenmesinin temel nedeni, şebeke üzerinde meydana gelebilecek muhtemel kısa devre arızaları veya devre AÇMA/KAPAMA sırasında oluşabilecek harmonikler neticesinde sistemin etkilenme derecesini belirlemektir. Özellikle arıza esnaslarında karşılaşılan geçici rejimler sonucunda oluşan değişken frekanslı harmoniklerin izolator yüzeylerinde oluşabilecek yüzeysel boşalmaların tutuşması üzerindeki etkileri incelenmiştir.



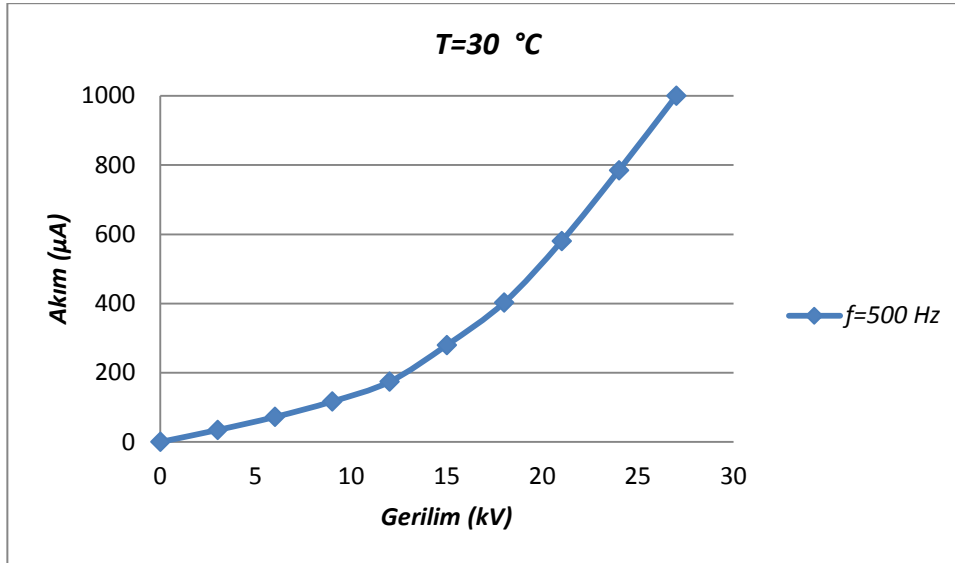
Şekil 4.19. İzolatörün 30°C sabit yüzey sıcaklığındaki uygulama geriliminin 200 Hz frekansına ilişkin Gerilim-Akım karakteristiği

Benzer şekilde izolatörün sabit yüzey sıcaklığında besleme frekansının 350 Hz olması durumunda oluşan Gerilim-Akım grafiği Şekil 4.20’de verilmiştir. Boşalma akımının belli bir gerilim değerinden sonra üstel bir şekilde arttığı ve boşalmanın tutuşma gerilim seviyesinin 100 Hz ve 200 Hz besleme frekansına kıyasla daha küçük değerlerde olduğu görülmüştür. Grafiğe göre boşalma tutuşma gerilimi 27 kV olarak bulunmuş ve bu gerilim değerinden sonra boşalma akımı kaynak akımının üst sınır değerini aşarak mikroamper seviyelerinden amper seviyelerine ulaşmıştır. Bu durumda boşalma, iyice gelişmiş ve ark modunda bir önceki moda geçmiştir.



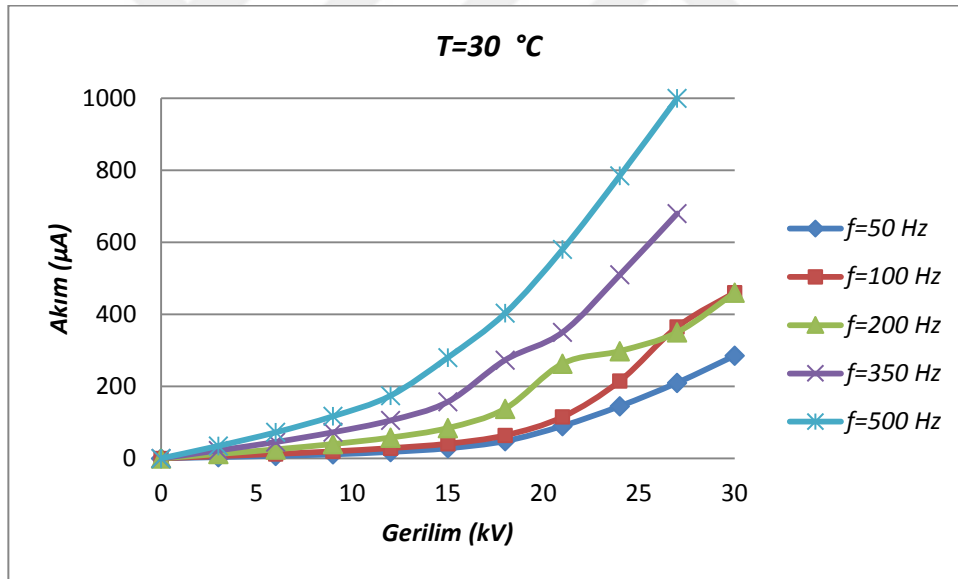
Şekil 4.20. İzolatörün 30°C sabit yüzey sıcaklığındaki uygulama geriliminin 350 Hz frekansına ilişkin Gerilim-Akım karakteristiği

İzolatörün 30 °C sabit yüzey sıcaklığındaki uygulama geriliminin 500 Hz frekansına ilişkin Gerilim-Akım karakteristiği 4.21’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere 500 Hz besleme gerilimi frekansında besleme gerilimi arttıkça boşalma akımının da belli bir gerilim değerinden boşalma anına kadar üstel bir şekilde arttığı ve aynı besleme değerine karşılık akım değerinin diğer besleme frekanslarına kıyasla daha büyük değerlerde olduğu görülmüştür. Diğer uygulama frekanslarına kıyasla 500 Hz besleme frekansında boşalmanın tutuşma geriliminin daha düşük değerlerde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21. İzolatörün 30°C sabit yüzey sıcaklığındaki uygulama geriliminin 500 Hz frekansına ilişkin Gerilim-Akım karakteristiği

Şekil 4. 22’de İzolatörün 30 °C sabit yüzey sıcaklığındaki uygulama geriliminin 50, 100, 200, 350 ve 500 Hz frekanslarına ilişkin karşılaştırmalı Gerilim-Akım karakteristikleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere besleme geriliminin tüm frekans değerlerinde kaynak gerilimi arttıkça akım değerinin arttığı ve bu artışın her bir frekans için farklı gerilim değerlerinden sonra üstel bir değişim gösterdiği görülmüştür. Bununla birlikte frekans arttıkça sabit bir gerilim değerine karşılık gelen akım değerinin de arttığı ve 500 Hz besleme frekansında bu akım değerinin tüm uygulama gerilim değerlerinde en büyük değerleri aldığı görülmüştür. Bunun temel sebebi ise artan frekans ile birlikte birim saniyedeki darbe sayısının artmasıdır. Şekil 4.22’deki veriler besleme gerilimine ait frekans ile boşalmanın başlama gerilimi sınır değerleri arasındaki ilişkiyi de ortaya koymaktadır. Sonuçlar frekans ile boşalmanın başlama sınır gerilimi arasında ters bir ilişki olduğunu göstermiş, uygulama geriliminin frekansı arttıkça boşalmanın başlama sınır gerilim değerinin azaldığı dolayısıyla boşalmanın daha düşük gerilim değerlerinde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.22. İzolatörün 30°C sabit yüzey sıcaklığındaki uygulama geriliminin 50, 100, 200, 350 ve 500 Hz frekanslarına ilişkin karşılaştırmalı Gerilim-Akım karakteristikleri

Yapılan deneysel uygulamalar neticesinde, sıcaklığın izolator yüzeylerinde meydana gelebilecek yüzeysel boşalmalar üzerinde kaydedeğer bir etkisinin olduğu ve izolator boyutlandırma veya iletim hattı modellemelerinde bu durumun dikkate alınmasının önemli avantajlar sağlayabileceği görülmüştür.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Günümüzde önemi gittikçe artan elektrik enerji verimliliğini etkileyen faktörlerden bir tanesi de çeşitli atmosferik koşullara bağlı olarak katı yalıtkan maddeler (izolatör) ile gaz yalıtkan maddeler (hava) arasında sınır yüzeyde görülen elektriksel boşalmalardır. Farklı atmosferik koşullara (yüksek ve düşük sıcaklık) maruz kalan bir izolatörün yüzeyinde meydana gelen elektriksel kayıpların incelendiği bu çalışmada, sıcaklık parametresinin yanı sıra elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde çeşitli sebeplerden (arızalardan) dolayı hatlarda meydana gelen yüksek frekanslı harmoniklerin izolatör yüzeylerinde meydana gelen yüzeysel boşalmalara olan etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında, özellikle yüksek gerilim enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde yalıtım malzemesi olarak kullanılan izolatörlerin boyutlandırılmasında önemli katkılar sağlayacağı düşünülen bu çalışmada, sıcaklık ve uygulama gerilimi frekansı gibi parametrelerin etkileri deneysel olarak incelenmiş ve aşağıda sıralanmış olan sonuçlar elde edilmiştir:

- Tüm sıcaklık ve uygulama gerilim frekansı değerlerinde besleme gerilimi arttıkça belirli bir gerilim değerinden sonra yüzeyde meydana gelen boşalma akımının buna bağlı olarak üstel şekilde bir değişim gösterdiği gözlenmiştir. Bununla birlikte uygulanan gerilimin izolatör yüzeyinde meydana gelen sızıntı akımlarının büyüklüğü ve oluşan sızıntı akımının dalga formu üzerinde önemli parametreler olduğunu göstermiştir
- Belirli yüzey sıcaklığı değerinden sonra (22 °C) sonra yüzey sıcaklığı arttıkça izolatör yüzeyinde meydana gelen boşalma akımının değerinin de buna bağlı olarak arttığı ve bu değişimin uygulama gerilimi arttıkça yüksek sıcaklıklarda daha belirgin bir hal aldığı görülmüştür. Bunun sebebi ise artan yüzey sıcaklığının yüzeyde termik iyonizasyonu kolaylaştırmasıdır.
- 22 °C sonra yüzey sıcaklığın artmasıyla birlikte yüzeyde termik iyonizasyonun kolaylaştırıcı etkisinin beraberinde yüzeyde meydana gelen boşalmaların başlangıç sınır gerilim değerini etkilediği ve sıcaklık arttıkça boşalmanın daha düşük gerilim değerlerinde gerçekleştiği görülmektedir.
- 22 °C'nin altındaki yüzey sıcaklıklarında da belli bir gerilim değerinden sonra sıcaklık azaldıkça boşalma akımının da buna bağlı olarak arttığı; bunun da beraberinde düşük

yüzey sıcaklıklarında yüzeyin elektriksel iletkenliğinin artmasına bağlı olarak boşalmanın daha düşük gerilim değerlerinde gerçekleşmesine yol açtığı görülmüştür.

- Yüzey sıcaklığının en alt ve en üst sınır değerlerinin iletim hatlarında katı yalıtkan maddeler (izolatör) ile gaz yalıtkan maddeler (hava) arasında sınır yüzeyde görülen elektriksel boşalmaların bir türü olan yüzeysel boşalmalar üzerinde önemli bir parametre olduğu görülmüş, özellikle yüksek gerilim değerlerinde düşük yüzey sıcaklığının boşalma üzerinde daha belirgin bir parametre olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise yüzeydeki düşük sıcaklığın yüzeyin elektriksel iletkenliğini daha çok arttırmasıdır.
- Besleme gerilimi frekansı arttıkça tüm frekans değerlerinde belli bir gerilim değerinden sonra akım üstel bir şekilde artmıştır. Sabit bir gerilim altında frekans arttıkça bu gerilime karşılık gelen boşalma akımı da artmıştır. Uygulama gerilimi frekansı arttıkça birim saniyedeki darbe sayısının artmasına bağlı olarak yüzeyde meydana gelen kaçak akımların sayısının da buna bağlı olarak arttığı; bunun da yüzeysel boşalmaların başlama gerilimi sınır değerlerini etkileyerek boşalmanın daha düşük gerilim değerlerinde gerçekleşmesine yol açmıştır.

5.2. Öneriler

Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde yalıtım malzemesi olarak kullanılan izolatörler yüzey sıcaklığı ve besleme gerilimi frekansı değerlerinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Özellikle yaz mevsimlerinde yüksek sıcaklığın ve kış mevsimlerinde de yağışlarla birlikte çok düşük sıcaklık değerlerinin görüldüğü bölgelerde yüzeyde gerçekleşen kaçak akımlar, yüzeyde gerçekleşen boşalmaları kolaylaştırıcı yönde etkilemektedir. Özellikle bu tür atmosferik koşulların ağır olduğu bölgelerde kaçak akım yolunun arttırılması gerekmektedir. Dolayısıyla bu tür bölgelerdeki izolatör boyutlandırmalarında bu faktörlerin azami ölçüde göz önünde bulundurulmaları önemli avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir. Benzer durum çeşitli sebeplerle (açma-kesme, kısa devre arızası, şebekeye anlık olarak bağlanan dengeli veya dengesiz yükler v.b.) meydana gelen yüksek frekanslı besleme gerilimi içinde geçerlidir. EÜAŞ, TEİAŞ VE TEDAŞ gibi kurumların bu tür olayların yoğun olarak yaşandığı bölgelerde izolatör seçimlerini buna göre yapmaları önerilmektedir. Doğru izolatör boyut seçiminin bu tür elektriksel kayıpların azaltılmasında önemli katkılar sağlayacağı beklenmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Al-Hamoudi, I. Y. (1995, October). Performance of high voltage insulators under heavy natural pollution conditions. In Proceedings of ESMO'95-1995 IEEE 7th International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance (pp. 25-31). IEEE.
- Aouabed, F., Bayadi, A., Rahmani, A. E., & Boudissa, R. (2018). Finite element modelling of electric field and voltage distribution on a silicone insulating surface covered with water droplets. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 25(2), 413-420.
- Arıkan, K. Elektriksel Boşalmanın Bulanık Mantık İle Benzetimi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü), 2013, 9-10.
- Badachi, C., & Dixit, P. (2016). Prediction of pollution flashover voltages of ceramic string insulators under uniform and non-uniform pollution conditions. Journal of Electrical Systems and Information Technology, 3(2), 270-281.
- Çemişkezek, D. Elektriksel Deşarj İle İyonizasyonun Sterilizasyon Etkinliğinin Belirlenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü), Yüksek Lisans Tezi, 2014, 3.
- Çetin, E., Özer, N. L., & Çetin, M. (2005). Porselen izolatörlerde izolasyon problemleri. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(2), 287-292.
- Erdoğan, M. K. (2006). Katı Yalıtkanlarda Yüzeysel Boşalmanın İncelenmesi Ve Matematiksel Modelinin Çıkarılması (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü), 2006, 46-47.
- Farhadinejad, Z., Ehsani, M., Ahmadi-Joneidi, I., Shayegani, A. A., & Mohseni, H. (2012). Effects of UVC radiation on thermal, electrical and morphological behavior of silicone rubber insulators. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 19(5), 1740-1749.

Fırat Üniversitesi, 2019

http://ee.tek.firat.edu.tr/sites/ee.tek.firat.edu.tr/files/Enerji%20Sistemleri_4.pdf

Gençoğlu M. T., Cebeci M., 2005. İzolatör Kaçak Akımlarının Ve Yüzeysel Atlama Gerilimlerinin Çevresel Faktörlere Bağımlılığı, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 2006, 37 - 49.

Gouda, O. E., & El Dein, A. Z. (2014). Laboratory simulation of naturally polluted high-voltage transmission line insulators. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 8(2), 321-327.

İlhan, S. (2005). Katı Yalıtkanlardaki Elektriksel Zorlanmalar Ve Ömür Saptaması (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü), Yüksek Lisans Tezi, 2005, 11.

Jiang, X., Xiang, Z., Zhang, Z., Hu, J., Hu, Q., & Shu, L. (2014). Comparison on ac icing flashover performance of porcelain, glass, and composite insulators. *Cold Regions Science and Technology*, 100, 1-7.

Kara, A. (2005). Düzgün Olmayan Alanda Paravanaların Havanın Delinme Dayanımına Etkisi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü), Yüksek Lisans Tezi, 2005, 6-7.

Liu, Y., Xia, B., Du, B., & Farzaneh, M. (2016). Influence of Fine Metal Particles on Surface Discharge Characteristics of Outdoor Insulators. *Energies*, 9(2), 87.

Megep, 2011. İzolatörler, 2011, 3-16.

Miller, H. C. (1989). Surface flashover of insulators. *IEEE transactions on electrical insulation*, 24(5), 765-786.

Narayanan, V.J., Chandrasekar, S, Vanitha, A., 2014. Analysis Of Surface Condition Of Polymeric Insulators For High Voltage Power Transmission Line Applications Using Partial Discharge Analysis, *International Journal of Engineering And Science*, 4(7):31-40.

- Olanrewaju L., Inno D., Andrew S., 2017. Surface Charge Accumulation On Dc Insulators: An Overview, SAUPEC, 2017.
- Othman, N. A., & AdziB, M. P. Z. (2016). Partial Discharge Characterization based on Leakage Current Pulses Waveform for Contaminated Glass Insulator String. *Probe*, 3, 14.
- Özkaya, M., & Cilt, Y. G. T. (2008). Statik Elektrik Alanı ve Boşalma Olayları. Birsen Yayınevi, İstanbul. (285-291)
- Putra, N. R. M., & Sartika, N. (2018, May). The study on leakage current waveform characteristics and computer simulation of ceramic insulator under artificial tropical condition. In 2018 12th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM) (pp. 320-323). IEEE.
- Rahim, N. A. A., Ranom, R., & Zainuddin, H. (2018). Mathematical Modelling of Surface Discharge on the Contaminated Surface of Insulator Using Nernst's Planck Equation. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 10(2-2), 5-10.
- Rumeli, A., "İzolatorların Kirlenme ve Atlama Problemi", *Elektrik Mühendisliği*, C. XIII, S. 156, s. 7-15, 1969.
- Zhang, R., Cai, L., Chen, J., Wang, L., & Tan, X. (2018, April). Study on the method of improving the flashover voltage of 110kV suspension porcelain insulators based on neural network genetic algorithm. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1955, No. 1, p. 040166). AIP Publishing.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Edip ERTUĞRUL
Doğum Yeri ve Tarihi : Batman-12.08.1989
Telefon : 90(506).965.49.15
E-posta : ertugruledip@gmail.com

EĞİTİM

<u>Derece</u>		<u>Bitirme Yılı</u>
Lise	: Özel Zübeyir Gündüzalp Anadolu Lisesi	2006
Üniversite	: İnönü Üniversitesi	2013

DENEYİMLERİ

<u>Yıl</u>	<u>Kurum</u>	<u>Görevi</u>
2013-2016	Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş Batman İl Müdürlüğü	Sorumlu Mühendis
2016-2017	Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş Batman İl Müdürlüğü	Özel Müşteriler Yöneticisi
2017-Halen	Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş Batman İl Müdürlüğü	Tahakkuk Yöneticisi

UZMANLIK ALANI:

YABANCI DİLLER: İngilizce