

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



VHD-35 İZOLATÖRDE KISMİ DEŞARJ ANALİZİ

YASİN ASLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Seyit Ahmet SİS (Tez Danışmanı)**
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kubilay EKER (Eş Danışman)
Prof. Dr. Ramazan YAMAN
Dr. Öğr. Üyesi Serhat KÜÇÜKDERMENCİ
Dr. Öğr. Üyesi Bayram ESEN

BALIKESİR, TEMMUZ - 2020

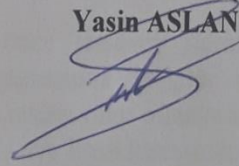
ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımca hazırlanan “VHD-35 İzolatörde Kısmi Deşarj Analizi” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Yasin ASLAN



ÖZET

VHD-35 İZOLATÖRDE KİSMİ DEŞARJ ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
YASİN ASLAN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ SEYİT AHMET SİS)
(EŞ DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET KUBİLAY EKER)
BALIKESİR, TEMMUZ - 2020

Bu tez çalışmasında, ülkemizde dağıtım sistemlerinde sıklıkla kullanılan VHD-35 pin tipi izolatörler için sahada kısmi deşarj tespitleri belirlendikten sonra, sis tipi VHD-35 izolatörün elektrik alan değişimleri dikkate alınarak kısmi deşarj oluşumları analiz edilmiştir.

FEMM programı kullanılarak yapılan incelemelerde, ilk önce hasarsız durumdaki izolatörde elektrik alan değişimi elde edilmiştir. İmalat esnasında izolatör içinde istenmeyen hava boşluklarının mevcut olmasının kısmi deşarja neden olup olmayacağını irdelendiği ikinci kısımda; farklı çaplarda ve farklı konumlarda hava boşluklarının mevcut olması durumunda elektrik alan değişimleri elde edilmiş, izolatör içindeki hava boşluklarının kısmi deşarja neden olacağına dair bir bulguya ulaşılamamıştır.

İzolatörde tahribatlar neticesinde oluşacak çatlaklarda toz, su ve çamur kirlerinin yerleşmesi durumunda kısmi deşarj incelemesi yapılan üçüncü kısımda ise çatlak içindeki hava ve tozun kısmi deşarja neden olmamasına rağmen, su ve çamurun kısmi deşarja neden olacağı belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Kısmi deşarj, izolatörde elektriksel alan değişimi, izolatörlerde kirlilik.

ABSTRACT

PARTIAL DISCHARGING ANALYSIS AT VHD-35 INSULATOR
MSC THESIS
YASIN ASLAN
BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. SEYİT AHMET SİS)
(CO-SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. MEHMET KUBİLAY EKER)
BALIKESİR, JULY - 2020

In this thesis, partial discharge in fog-type VHD-35 insulators is analyzed by taking electric field variations into consideration after specifying various discharge examples detected in field.

First, the electric field variation is simulated in a nondamaged insulator using a numerical solver, FEMM. Subsequently, air filled cavities are created inside the insulator in simulations, imitating the unwanted voids that can be formed during fabrication. Cavities with different diameters and locations are placed inside the insulator and electric field variations are simulated. No partial discharge is observed in these simulations.

Finally, cracks are formed in the simulated structure to imitate damages in the insulator. The cracks are filled with air, dust, water and mug, separately, and simulation results show that water and mug filled cracks cause a partial discharge in the insulator.

KEYWORDS: Partial discharge, electric field in insulators, contamination on insulators.

Science Code / Codes: 90515/90516/90545

Page Number: 57

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
2. İZOLATÖRLER	6
2.1 Tanımı ve Görevleri	6
2.2 İzolatör Çeşitleri.....	7
2.2.1 Cam İzolatörler.....	8
2.2.2 Epoksi Reçineli İzolatör	9
2.2.3 Porselen İzolatör	9
2.2.4 Silikon İzolatör.....	10
3. KISMİ DEŞARJ	12
3.1 Kısmi Deşarj Oluşumu ve Tespit Yöntemleri.....	12
3.2 Sahada Meydana Gelen İzolatör Tespitli Kısmi Deşarjlar	18
4. VHD-35 SİMÜLASYON MODELLEMESİ VE PARAMETRELER	25
4.1 Parametre Değerleri	25
4.2 VHD-35 İzolatör Modellemesi	26
4.3 Teknik Veriler	27
4.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi Matematiksel Modeli	29
5. VHD-35 İZOLATÖRDE ELEKTRİK ALAN DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ	32
5.1 Hasarsız Durumdaki (Boşluksuz/Çatlaksız) İzolatör Elektrik Alan Dağılımının İncelenmesi	32
5.2 Boşluklu Yapılar İhtiva Eden İzolatörün İncelenmesi.....	34
5.2.1 Boşluk çapı ve adedinin elektrik alan üzerine etkisi	34
5.2.2 Boşluk yerinin elektrik alan üzerine etkisi	38
5.3 Çatlaklı İzolatör Elektrik Alan Dağılımının İncelenmesi	42
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
7. KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: İzolatör yapısı.	7
Şekil 2.2: Cam izolatör yapısı.	8
Şekil 2.3: Epoksi reçineli izolatörün yapısı.....	9
Şekil 2.4: Porselen izolatörün yapısı.....	10
Şekil 2.5: Silikon izolatörün yapısı.	11
Şekil 3.1: Kısmi deşarj kaynaklı voltajdaki boşluk [23].	12
Şekil 3.2: Kısmi deşarj tespit yöntemleri [33].	14
Şekil 3.3: Kısmi deşarj tespit cihazı ile saha etüdü [33].	15
Şekil 3.4: Kısmi deşarj ölçüm değerlendirme tablosu [33].	15
Şekil 3.5: İç ve dış yüzeyde görülen kısmi deşarj [35].	16
Şekil 3.6: Kuru band oluşumu [37].	18
Şekil 3.7: Musakça enerji nakil hattında yüzeysel kısmi deşarja neden olan izolatör.	19
Şekil 3.8: Saraylar enerji nakil hattında kuru band yüzünden kısmi deşarja neden olan izolatör.	20
Şekil 3.9: Akçapınar enerji nakil hattında kısmi deşarja neden olan izolatör.	21
Şekil 3.10: Akçapınar enerji nakil hattında kısmi deşarja neden olan izolatör.	22
Şekil 3.11: Gündoğdu enerji nakil hattında kısmi deşarja neden olan izolatör.	23
Şekil 3.12: Sahada tespit edilen kırık VHD-35 örneği.	24
Şekil 4.1: Sis tipi VHD-35 izolatörün FEMM programına aktarılan kesiti.	26
Şekil 4.2: İzolatörde elektrik alan dağılımı.	27
Şekil 4.3: Sis tipi VHD-35 izolatöre ait teknik çizim [28].	28
Şekil 4.4: İletkenin sis tipi VHD-35 izolatöre sıkıbağ ile montajı.	29
Şekil 4.5: Tipik üçgen eleman [41].	31
Şekil 5.1: Hasarsız durumda potansiyel dağılımı.	32
Şekil 5.2: Şekil 5.1 'de gösterilen çizgi üzerindeki elektrik alan değişimi.	33
Şekil 5.3: Şekil 5.1 'de gösterilen çizgi üzerindeki potansiyel değişimi.	33
Şekil 5.4: İzolatör içinde 6 mm çaplı hava boşluk konumu ve çap ölçüsü.	34
Şekil 5.5: İzolatör içinde 6 mm çaplı boşluk olması durumunda potansiyel dağılımı.	35
Şekil 5.6: Aynı merkezli 0,5 mm, 1,5 mm, 2,5 mm, 4 mm ve 6 mm çaplı hava boşluklarında elektrik alan değişimi.	35
Şekil 5.7: İzolatör içinde 2 adet 6 mm çaplı hava boşluk konumları ve çap ölçüsü.	36
Şekil 5.8: 6 mm çaplı 2 adet boşluk durumunda potansiyel dağılımı.	37
Şekil 5.9: Şekil 5.8 'de gösterilen çizgi üzerindeki elektrik alan değişimi.	37
Şekil 5.10: İletkenden 13 mm uzaklıkta 1 mm çapında hava boşluğu durumunda potansiyel dağılımı.	39
Şekil 5.11: İletkenden 13 mm uzaklıkta 1 mm çapında hava boşluğu durumunda elektrik alan değişimi.	39
Şekil 5.12: 8 adet 1 mm çaplı hava boşlukların iletkenin pim demirine doğru 5 mm aralıklarla kaydırılması durumundaki hava boşluk konumları ve çap ölçüsü.	40
Şekil 5.13: 1 mm çaplı hava boşlukların iletkenin pim demirine doğru 5 mm aralıklarla kaydırılması durumları için elektrik alan şiddeti değişimleri.	41
Şekil 5.14: 1 mm çaplı hava boşlukların iletkenin pim demirine doğru 1 mm aralıklarla kaydırılması durumlarında boşluk öncesi ve boşluk içinde elektrik alan şiddeti değişimleri.	42

Şekil 5.15: İçinde toz olan 58 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde çatlak konumu ve derinlik ölçüsü.	43
Şekil 5.16: İçinde toz olan 58 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde potansiyel dağılımı. ..	44
Şekil 5.17: 58 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (hava).....	45
Şekil 5.18: 58 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (toz).	45
Şekil 5.19: 58 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (su).....	46
Şekil 5.20: 58 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (çamur).	46
Şekil 5.21: İçinde hava olan 72 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde çatlak konumu ve derinlik ölçüsü.	47
Şekil 5.22: İçinde hava olan 72 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde potansiyel dağılımı.	47
Şekil 5.23: 72 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (hava).....	48
Şekil 5.24: 72 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (toz).	49
Şekil 5.25: 72 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (su).....	49
Şekil 5.26: 72 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (çamur).	50

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: İzolatör karşılaştırmaları.	11
Tablo 4.2: İletkene ait teknik veriler (HAWK) [40].....	27
Tablo 4.3: Sis tipi VHD-35 izolatöre ait ölçüler [28].....	28

SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ

IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
HAWK	: Çelik Özlü Alüminyum İletken
VHD	: Porselen Mesnet İzolatör
ϵ	: Dielektrik Katsayısı
SI	: Silisyum/Silikon
AL	: Alüminyum
r	: Yarıçap
FE	: Demir
V	: Voltaj
R	: Direnç
AG	: Alçak Gerilim
YG	: Yüksek Gerilim
İM	: İndirici Merkez
DM	: Dağıtım Merkezi

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım sırasında tüm imkanları ile destek veren Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. firmasına; tez çalışmalarım boyunca yol göstericiliği, maddi ve manevi tüm desteğinden dolayı Sayın Dr. Öğr. Üyesi Seyit Ahmet SİS ve Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kubilay EKER 'e; Yüksek Lisans sürecinde desteğini benden esirgemeyen ve bu sürecin başlamasında önderlik eden değerleri işletme müdürlerim Tayfun TUTAR ve Barış Can TOYGUN 'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 2020

Yasin ASLAN

1. GİRİŞ

Enerji nakil direklerinde iletkenlerin taşınması ve yalıtım, izolatörler aracılığıyla yapılmaktadır. Ülkemizde 6,3 kV 'dan 36 kV 'a kadar farklı gerilim seviyelerinde işletme şartlarının mevcut olduğu dağıtım sistemlerinde çeşitli tiplerde izolatörler kullanılmaktadır. Havai iletkenler aracılığı ile enerji naklinin yapıldığı dağıtım sistemlerinde enerjinin tüketiciye kadar ulaştırılmasında en önemli sorun, hatlarda oluşan arızalar nedeniyle müşterilerin enerjisiz kalmalarıdır. Arıza çeşitliliğinin irdelenmesi ve sorunları kalıcı olarak çözümlenmesi de bu sebeple önem arz etmektedir.

Piyasada çok farklı türde izolatörler bulunmakta ve bu izolatörlerin elektriksel özellikleri ve dayanımları literatürde birçok akademik çalışmada detaylı olarak incelenmektedir. Tüm izolatörler, tasarımcının farklı beklentilere cevap vermesi gereken mekanik ve elektriksel çift yönlü fonksiyona sahiptir [1]. İzolatörler, kullanım durumlarına bağlı olarak pin, askı ve gergi tip [2] olarak sınıflandırılırken; porselen, cam ve polimer [1] türü malzemelerden imal edilmektedirler. Formlarından biri porselen olarak bilinen seramikler, izolasyon malzemesi olarak yüz yılın üzerinde bir süredir kullanılmaktadır. Seramikler, %40-50 kil, %30-20 alüminyum oksit ve %30 feldspar 'dan oluşmaktadır. Seramiklerin, mekanik dayanımı yüksek ve dielektrik kayıpları düşüktür. Yüksek frekans uygulamalarına uygun olan porselen, baryum bileşikleri kullanılarak elde edilir [3]. Porselen izolatörün üzerine kaplanan sır, pürüzsüz bir yüzey oluşturarak yağmur, çiy, buz ve kar gibi su bileşenlerinin tutunmasını engellemektedir. Sır, porselen izolatörün yüzey empedansı iyileşmesine önemli bir katkı sağlamaktadır [4].

2018 yılı Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. Faaliyet Raporu ve Hizmet Kalitesi Göstergelerine göre kendi dağıtım bölgesinde oluşan 15852 adet enerji kesintisinin; %61,55'i kuş çarpması, %7,86'sı ağaç teması, %5,27'si iletken kopması gibi nedenlerle oluşurken, %3,89'lik bir orandaki kesintinin sebebini ise izolatörden kaynaklı problemler oluşturmaktadır [5-6]. Bu dağıtım bölgesindeki diğer kesinti sebepleri ise; ayırıcı arızası, kesici arızası, kablo arızası, tedbir amaçlı kesinti, transformatör arızası, tesis çalışması, izolatör sıkıbağ sorunları, kablo başlığı sorunları, röle arızası, parafudr arızası, direk hasarı olarak sıralanmakta ve toplam kesintilere neden olma yüzdeleri ise %21,43'lik bir seviyededir. Bu kesintilerin %76,68'i geçici arızaya sebep olurken %23,32'si kalıcı arızalara neden olmaktadır [6]. Kuş çarpması ve ağaç teması gibi durumlar çoğunlukla

geçici enerji kesintilerine neden olmasına rağmen, iletim hattının kopması ve izolatörlerden kaynaklı problemler için tesisat üzerinde belirli süre çalışılması gerektiğinden daha uzun süreli enerji kesintilerine neden olmaktadır. Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği'ne göre, dağıtım şirketine sorumluluklar yüklenmekte, oluşacak kısa ve uzun süreli kesintiler için tazminat yükümlülüğünden bahsedilmektedir [7].

En iyi tasarımın belirlenebilmesi için izolatörler, elektrik alan dağılımları açısından çeşitli çalışmalarda incelenmiştir. Romanya ulusal şebekesinde kullanılan 400 kV silikon izolatörlerdeki elektrik alan dağılımları sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiş ve elektrik alan dağılımının izolatör boyunca aynı olmadığı ve özellikle izolatörün yüksek gerilim kısmındaki elektrik alan şiddetinin daha büyük olduğu belirtilmiştir [8]. 150 kV'luk 12 zincirli cam izolatörün elektrik alan dağılımı sonlu elemanlar yöntemiyle incelendiği çalışmada, deneysel sonuçlarla karşılaştırma yapılarak simülasyon modelinin doğruluğu irdelenmiştir [9]. 400 kV'a kadar 5 farklı gerilim seviyesindeki porselen disk izolatör zincirlerindeki elektrik alan dağılımları ve eş potansiyel dağılımlar sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenen simülasyon çalışmasında, hasar veya arızaların oluşmaması için gerekli tasarım hesaplamalarının önemi belirtilmektedir [10]. Yeni bir tasarım olarak sunulan kompozit tip bir izolatörde elektrik alan dağılımının öncekilerine kıyasla beş kat daha düşük olduğu belirtilmektedir [11]. Pin demirinin de benzetimlere dahil edilerek elektrik alan ve potansiyel dağılımının tek ve üç fazlı sistem için izolatörlerde incelendiği bir çalışmada, üç fazlı sistemdeki elektrik alan dayanımının tek fazlı sisteme göre önemli ölçüde yüksek olduğu değerlendirilmiştir [12].

İzolatör civarında oluşan kuş çarpması, ağaç teması ve benzeri olaylar bazen izolatörler üzerinde veya iç kısmında tahribatlara neden olmakta ve kısmi deşarj oluşmasına imkan verebilmektedir. İzolatör yüzeyinde oluşan kirin (toz, kum, su, tuz) kuruması her noktada farklı olmaktadır, bu şekilde izolatör yüzeyinde oluşan kuru kir bölgesine kuru band adı verilmektedir. Suyun herhangi bir formu veya çeşitli kirlenmeler izolatör yüzeyinde kısmi deşarjların oluşmasına neden olmaktadır [4]. İzolatörlerdeki kirlilik durumunun, nem ve yağış sonrasında yüzey kaçak akımı oluşturduğu, bu durum sonrasında oluşan kuru band bölgelerinin ise deformasyona sebebiyet verdiği belirtilmektedir [13]. Cam izolatördeki elektrik alan dağılımları sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak normal koşullar ve kirlilik durumlarında benzetim yapılarak incelenen

çalışmada, kirlenmiş izolatörde gerilim ve elektrik alan dağılımının önemli ölçüde bozulduğu belirtilmektedir [14]. Sınır elemanlar yöntemiyle çeşitli şekillerdeki HV izolatörler için elektrik alan hesaplamaları yapılan çalışmada; kirlilik yokken, düzenli dağılımlı kirlilik varken ve kısmi kirlilik durumları için izolatör yüzeylerinde maksimum stres oluşan kısımlar incelenmiş ve kısmi yüzey kirliliğinin maksimum gerilmeleri önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir [15]. Sınır eleman tabanlı bir yazılım kullanılarak, 36 kV işletme geriliminde porselen ve silikon izolatörlerde yüzeysel deşarjlar açısından yapılan analizde, silikon-kauçuk yalıtkanlı izolatörün yüzeysel deşarjlar açısından daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır [16].

Cam ve seramik izolatördeki elektrik alan dağılımları normal koşullar, kirlilik durumu ve çatlaklı durum için sonlu elemanlar yöntemiyle incelenen bu çalışmada, seramik izolatörde elektrik alan dağılımının cam izolatöre göre daha yüksek olduğu, kirlilik ve çatlağın elektrik alan dağılımını etkilediği, düzgün olmayan elektrik alan dağılımının ise yaşlanmayı hızlandırdığı belirtilmektedir [17]. Analitik yöntem ve sonlu elemanlar metodu birleştirilerek farklı kirlilik durumları için dinamik ark modeli oluşturulan bir çalışmada, atlama gerilimleri önceki matematiksel modeller dikkate alınarak karşılaştırılmıştır [18]. Eşit kirlilik durumları için zincir tipi izolatörler üzerinde yapılan simülasyon çalışmasında, yapısı bozulmuş baklaya sahip zincir tipi izolatörlerin elektrik alanı ve potansiyel dağılımı incelenmiş, bozulan bakla üzerindeki elektrik alan çizgilerinin dışarıya doğru yayılarak ciddi bir değişim gösterdiği, elektrik alan şiddetinin ise bu noktada en yüksek değerlere ulaştığı gözlenmiştir. Sağlam baklaların, bu hasarlı bakla nedeniyle %26,77 oranına kadar yaşlanma eğilimine girdiği ifade edilmektedir [19].

UEDAŞ tarafından yayınlanan bir raporda belirtildiği üzere kendi dağıtım bölgesinde kullanılan izolatörler içinde %87,74 oranında pin izolatörler yer almaktadır. VHD-35 porselen pin izolatörünün, UEDAŞ dağıtım bölgesinde kullanımı tüm izolatörler içinde %69,46 gibi yüksek bir seviyededir [20]. VHD-35 izolatörü ülkemizdeki dağıtım sistemlerinde en yaygın kullanılan izolatörlerden biri olmakla beraber literatürde bu izolatör yapısının deşarj durumlarıyla ilgili çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, VHD-35 izolatördeki boşluk ve çatlak durumlarında elektrik alan dağılımları incelenmekte ve kısmi deşarj analizi yapılmaktadır.

Yüksek gerilim kablolarına 220 kV gerilim uygulanarak çeşitli çap ve farklı konumlardaki boşluklu yapıda elektrik alan dağılımı simülasyonları yapılmış, iletkene yakın olan boşluk içerisindeki elektrik alan şiddetinin yüksek, uzak noktalardaki değerlerin ise daha düşük olduğu görülmüştür. Farklı boşluk çaplarında yapılan çalışmalarda ise çapın büyüklüğünün elektrik alan şiddetini çok fazla etkilemediği, çap büyüklüğünün kısmi deşarjın daha fazla bir bölgeyi tahrip etmesine sebep olacağı belirtilmiştir [21]. Yüksek gerilim kabloları elektrik alan dağılımı simülasyonlarının yanı sıra 400 kV gerilim uygulanan silikon izolatördeki elektrik alan dağılımları ilave cam izolatör eklenerek incelenmiştir. İzolatör yüzeyi boyunca en düşük elektrik alan şiddetinin iki adet cam izolatör ilavesi sonrasında cam ve silikon izolatör bağlantı kısımlarında olduğu gözlemlenmiştir [22].

Yapılan bir araştırmada ise farklı koşul ve şartlarda bulunan elektriksel teçhizatlar da ki kısmi deşarj durumunun oluşumu ve olumsuz etkileri incelenmiştir. Kısmi deşarj sonrasında teçhizatta meydana gelen elektriksel ağaçlanma nedeniyle zaman içerisinde teçhizat ekonomik ömrünün azalacağı ifade edilmiştir [23]. Yine yüksek gerilim teçhizatında yapılan elektrik alan dağılımı simülasyonların da gerilim yükseldikçe kayıpların azaldığı ve yalıtım arızasının önemli bir hale geldiği, iç deşarjın yanı sıra yüzeysel deşarjında yalıtım ömrünü etkilediği ifade edilmiştir [24]. Çeşitli kirlilik durumlarındaki zincir tipi izolatörlerde elektrik alan ve potansiyel dağılım incelenmiş, özellikle izolatör tasarımı için kirlilik durumunun irdelenmesi gerekliliği belirtilmiştir [25].

Bu tez çalışmasının ilk kısmında ülkemizde dağıtım sistemlerinde sıklıkla kullanılan VHD-35 pin tipi izolatörler için sahada kısmi deşarj tespitleri sunulmaktadır. Elektrik dağıtım şirketinin raporlarına dayanan bu tespitlerde, izolatörlerdeki bozulma ve tahribatlar saha fotoğrafları ile sunulup olası sebepleri detaylı bir şekilde tartışılmaktadır.

Tezin ilerleyen bölümlerinde, sis tipi VHD-35 izolatörün elektrik alan değişimleri dikkate alınarak kısmi deşarj oluşumları analiz edilmiştir. FEMM programı kullanılarak yapılan incelemelerde, ilk önce hasarsız durumdaki izolatörde elektrik alan değişimi elde edilmiştir. İmalat esnasında izolatör içinde istenmeyen hava boşluklarının mevcut olmasının kısmi deşarja neden olup olmayacağının irdelendiği sonraki kısımlarda; farklı çaplarda ve farklı konumlarda hava boşluklarının mevcut olması durumunda elektrik alan değişimleri elde edilmiş, izolatör içindeki hava boşluklarının kısmi deşarja neden olacağına dair bir bulguya ulaşılamamıştır.

Tezin son bölümünde ise, izolatörde tahribatlar neticesinde oluşacak çatlakların varlığı göz önünde bulundurulmakta ve FEMM programında modellenmektedir. Çatlakların içine, günlük hayatta karşılaşılan toz, su ve çamur kirlerinin yerleşmesi durumları detaylı olarak irdelenmektedir. Bu bölümdeki analizlerden elde edilen temel gözlem, çatlak içindeki hava ve tozun kısmi deşarja neden olmamasına rağmen, su ve çamurun kısmi deşarja neden olduğudur.

2. İZOLATÖRLER

2.1 Tanımı ve Görevleri

Havai hat iletkenlerini direkler üzerinde taşımaya, faz iletkenlerini topraktan yalıtmaya ve iletkenleri diğer iletkenlere karşı izole etmeye yarayan şebeke unsurlarına izolatör denir. Enerji Nakil Hatlarında mevcut durumda ki izolatörlerin ana görev ve temel özellikleri şunlardır [26];

Ana Görevleri;

- İletkenleri toprak temasından ayırmak
- İletken ağırlığını ve iletkenlere gelen ek yükleri taşımak

Temel Özellikleri;

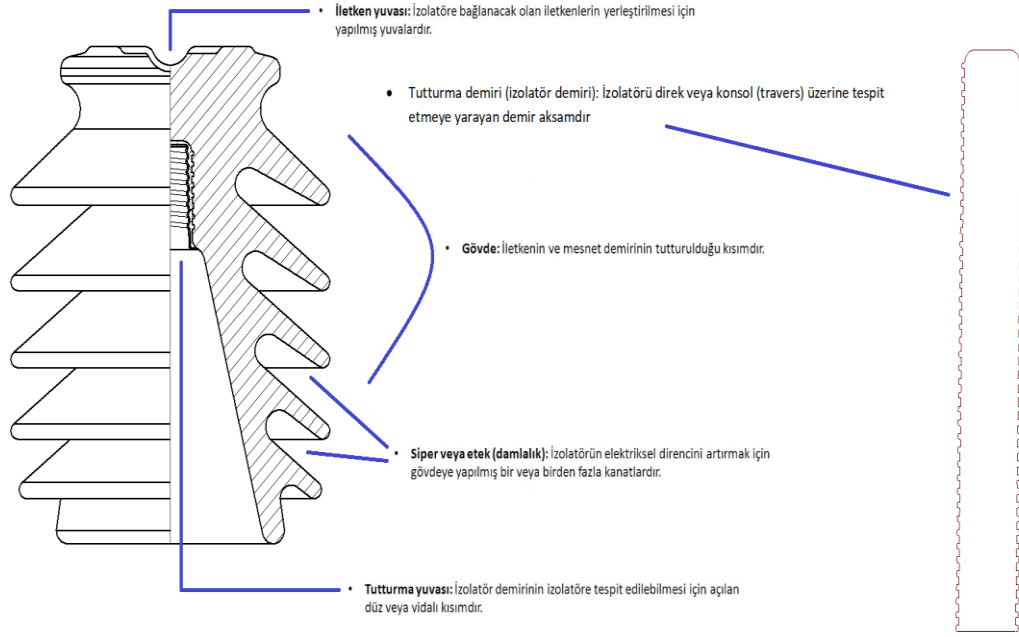
İzolatörlerin elektriksel ve mekaniksel olarak dayanımları yüksek olmalıdır. Elektriksel dayanım bakımından bir izolatörün delinmemesi ve yüzeyinden toprağa kaçak meydana getirmemesi en temel özelliğidir. Mekaniksel dayanım bakımından gerek coğrafi koşullar nedeniyle oluşan rüzgar yükü ile kar ve buz yüklerinin gerekse de dışsal sebepler nedeniyle oluşacak etkilerin meydana getirdiği yüklerinin taşınması önem arz etmektedir. Ayrıca kir ve toz gibi etkenlere karşı rüzgar ve yağmur suyu yardımı ile kendini temizleyebilmelidir [26].

İzolatörler günümüzde elektrik akımına karşı büyük direnç gösteren, özellikle değişken hava şartlarına dayanıklı olan porselen ve silikon gibi malzemelerden imal edilir [27]. Bunlara ilaveten, cam ve epoksi reçineli izolatörler de üretilmektedir; ancak gerek gelişen günümüz teknolojisinin gerisinde kalması gerekse de arızanın tespiti ve arızaya müdahale kolaylığı anlamında diğerlerine göre daha az tercih edilmektedir. Özellikle silikon izolatörler fiber maddeden üretilmesi nedeniyle dayanım üstünlüğü ve hafifliği açısından diğerlerine göre daha çok tercih sebebidir.

İzolatörler genel olarak beş farklı kısımdan oluşmaktadır [26];

- Gövde: İzolatörde çelik özlü iletkenin ve pim demirinin tutturulduğu kısımdır.
- Tutturma Yuvası: İzolatör demirinin izolatöre montaj yapılmasını sağlayan vidalı kısımdır.

- Damlalık: İzolatörün elektriksel direncini artırmak için gövdeye yapılmış bir veya birden fazla kanatlardır.
- İletken yuvası: İzolatörün üst kısmına konulacak olan iletkenlerin yerleştirilmesi için yapılmış yuvalardır.
- İzolatör demiri: İzolatörün direkteki travers veya konsol üzerinde montajını sağlayan demir aksamdır.



Şekil 2.1: İzolatör yapısı.

2.2 İzolatör Çeşitleri

İzolatörler yapıldıkları malzemeye göre porselen, cam, epoksi reçineli ve silikon izolatörler olmak üzere dört şekilde imal edilirler. Porselen izolatörler gerek mekanik dayanıklılık gerekse de ısı dayanımına karşı performansından dolayı çok eskiden bu yana sıklıkla kullanılan izolatörlerdir [27]. İzolatörler seçiminde hattın karakteristiği kadar hattın bulunduğu coğrafi durum ve işletme gerilimi de dikkate alınır. Bu karakteristiklerin doğru seçimi şebekedeki düzenli elektrik arzının da sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.

İzolatörler kullanım amacına göre iki çeşitte sınıflandırılmaktadır. Dahili tip izolatörler genellikle trafo binası gibi kapalı alanlarda kullanılmakla beraber harici tip izolatörler de enerji nakil hatları ve şalt sahaları gibi dış ortamda kullanılmaktadır. Gerilim seviyelerine

göre ise izolatör alçak gerilim (AG) ve yüksek gerilim (YG) olmak üzere iki çeşittir. Alçak gerilim İzolatörleri anma gerilimi 1 kV 'a kadar olan izolatörler olup, yüksek gerilim izolatörleri ise anma gerilimi 1 kV 'tan büyük olan izolatörlerdir [27].

2.2.1 Cam İzolatörler

Üretimi piyasadan kalkmış bir izolatör çeşitidir. Ağırlığı Porselen izolatöre kıyasla azdır. Maliyeti ucuzdur. Dielektrik dayanımı porselen izolatör ve epoksi reçine izolatöre kıyasla daha yüksek olup 140 kV/cm dir [26]. Üretimden kalkmasının başlıca sebebi nem ve çığ gibi hava olaylarının cam izolatör üzerinde, porselene izolatöre göre daha çabuk yoğunlaşmasıdır.

Yoğunlaşmanın hızlı olması cam izolatörler üzerinde kirliliğin oluşmasına ve kaçak akımların artmasına neden olmaktadır. Cam güneş ışığını daha fazla geçiren bir madde olması sebebiyle, cam izolatörler diğer izolatörlere göre daha az ısınır [26]. Bu sebeple mevsimsel değişimler nedeniyle izolatörün zarar görme olasılığı yüksektir. Mevcut durumdaki dağıtım hatlarında cam izolatörün sayısı oldukça az olup, olası arıza durumunda yenisinin değişimi üretimin kalkması nedeniyle porselen izolatör ile yapılmaktadır.



Şekil 2.2: Cam izolatör yapısı.

2.2.2 Epoksi Reçineli İzolatör

Epoksi malzemesi suya, asite ve alkaliye karşı iyi direnç gösteren bir reçine türüdür. Ağırlığı diğer izolatörlere göre oldukça azdır [27]. Ülkemizde özellikle açık salt olan İndirici Merkez (İM) ve Dağıtım Merkezi (DM) binalarında dahili olarak bara mesneti ve ayırıcı itici kol mesneti olarak kullanılmaktadır.

Üretimi Cam izolatör gibi tamamen durmamış olsa da mevcut şebekelerde kullanımı kolay kir tutması ve yüksek bedelli üretim maliyetleri nedeniyle tercih edilmemektedir. Dielektrik dayanımı oldukça yüksek bir üründür. Normal coğrafi koşullarda performans bakımından oldukça iyi olan bu ürün, kirlilik oranının yüksek olduğu koşullarda kötü performans sergiler. Bu sebeple kullanım alanı genellikle dahili olarak seçilmektedir.



Şekil 2.3: Epoksi reçineli izolatörün yapısı.

2.2.3 Porselen İzolatör

Geçmişten günümüze mekanik ve ısı dayanımlarının cam ile epoksi reçine izolatörlere göre yüksek olmasından kaynaklı enerji nakil hatlarında sıklıkla kullanılan izolatörler çeşididir. İzolatörün dielektrik dayanımını artırmak için yüzeyi ince bir sır tabakasıyla kaplanarak pürüzsüz olması sağlanır. Yüzeyin pürüzsüz olması, kirlenen izolatörlerin yağmur sularıyla kolayca temizlenmesine yardımcı olur.

Olası nem, toz ve coğrafi etkenlerden dolayı cam ve epoksi reçine izolatöre göre daha az etkilenir. Porselenin dielektrik dayanımı 60-70 kV/cm 'dir [27]. Yapı maddeleri %40-50 kil, %30-20 alüminyum oksit ve %30 feldspar'dan oluşmaktadır [3]. Cam ve Epoksi izolatörlere göre arıza tespiti zor yapılıır. Mevcut durumda dağıtım hatlarında en fazla kullanılan mesnet izolatör çeşididir. Türkiye 'de ki üretimi sadece Ankara Porselen [28] firması tarafından yapılmakta olup özellikle harici durumdaki kullanımı sis tipidir. Kuş çarpması, yüzeysel atlama, kısmi deşarj ve olası kısa devre durumlarında atlama yolu uzun olması sis tipi izolatör tercih sebepleridir.



Şekil 2.4: Porselen izolatörün yapısı.

2.2.4 Silikon İzolatör

Silikon izolatörlerin (SI) diğer adıyla kompozit izolatörlerin cam, epoksi reçine ve porselen izolatörlere göre birçok üstünlükleri olmakla beraber pahalı olmaları dolayısıyla kullanım alanları azdır. Özellikle kirliliğin ve nemin fazla olduğu yerlerde sık kullanılmakta iyi arıza bakımından iyi sonuçlar vermektedir.

Silikon (kompozit) izolatörlerin üstünlükleri [26];

- Darbelere karşı dayanıklıdır. Çatlama ve kırılma riski çok azdır.
- Hafif olması sebebiyle montajı ve taşınması kolaydır.
- Gerilme kuvvetlerine karşı dayanımı çok yüksektir.

- Yüzeyinde yağmur ve kar suyunu tutturmadığından elektriksel ark oluşmaz.
- Aşırı soğuk ve sıcak havalarda dahi özelliğini kaybetmez.

Ürünün en büyük dezavantajı ise olası patlak veya yırtılma durumlarında arıza tespitinin zor bulunmasıdır. Silikon İzolatörün kullanım ömrü de bilinmemektedir.



Şekil 2.5: Silikon izolatörün yapısı.

İzolatör çeşitleri ve özelliklerine ait karşılaştırma verileri Tablo 2.1 'de gösterilmektedir. Bu tabloya göre şebekelerde porselen ve silikon izolatör kullanımının daha uygun olacağı anlaşılmaktadır.

Tablo 2.1: İzolatör karşılaştırmaları.

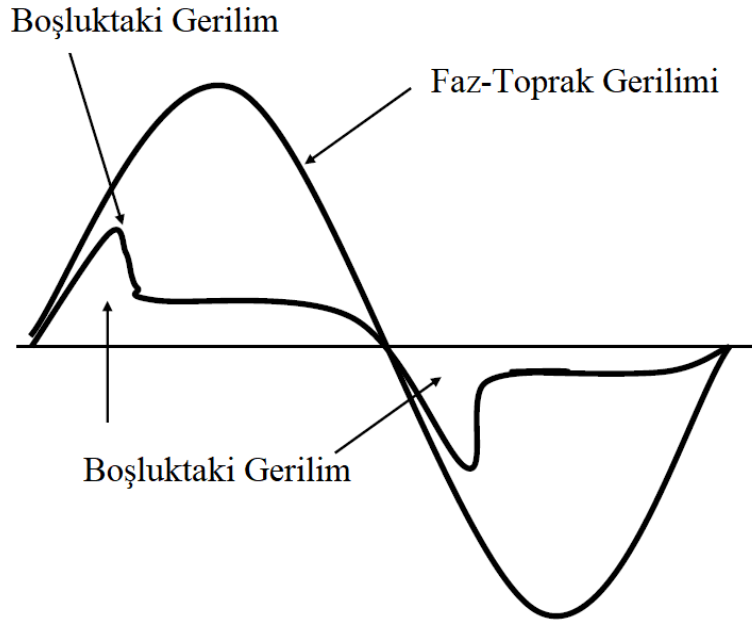
Özellikler	İzolatör Türleri			
	Cam	Epoksi Reçineli	Porselen	Silikon
Dielektrik Dayanım	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek
Mekanik Dayanım	Orta	Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek
Maliyet	Ucuz	Pahalı	Ucuz	Pahalı
Ağırlık	Orta	Hafif	Ağır	Hafif
Üzerinde Kir Tutma	Fazla	Az	Az	Az
Kullanım Sıklığı	Az	Az	Çok	Orta
Kullanım Alanı	Askı-Gergi-Pin	Bara Mesneti	Askı-Gergi-Pin	Askı-Gergi-Pin

3. KISMİ DEŞARJ

3.1 Kısmi Deşarj Oluşumu ve Tespit Yöntemleri

Elektrik dağıtım şebekelerinin temel görevi enerjiyi en ekonomik, kaliteli ve güvenilir bir şekilde son kullanıcıya ulaştırmaktır. Sistemin kalitesi ve güvenilir olması da sistemin güvenilirliği de sistemi oluşturan elemanların güvenilirliğine bağlıdır. Arızaların önlenmesinde şebeke unsurlarının işletme şartlarında çalıştırılması çok önemlidir. Dağıtım tesislerinde enerjinin teknik olarak dağıtımını ne kadar önemli ise oluşan varlıkların etkin ve verimli bir şekilde yönetilmesi de oldukça önemlidir.

Dağıtım şirketleri de müşterilerine hizmet kalitesi yönetmeliği gereğince asgari kesinti süresi ve sıklığı ile etkin voltaj değer aralığında enerji sunabilme kapasitesine sahip olmalıdır [6]. Şebekede arıza kaynaklı oluşabilecek istenmeyen gerilim dalgalanmaları/boşlukları (Şekil 3.1) elektrikli cihazlarında arızalanmasına sebebiyet verecektir.



Şekil 3.1: Kısmi deşarj kaynaklı voltajdaki boşluk [23].

Bu sebeple dağıtım şirketleri dağıtım hatlarındaki enerji kesintilerini en aza indirmek için planlı bakım çalışmaları yapmalarının yanı sıra termal kamera ve kısmi deşarj gibi donanımlı teçhizatlar da özellikle enerji nakil hatlarındaki yüksek gerilim ekipmanlarının da

kısa ya da uzun sürede oluşan, ileri de yıkıcı düzeylere ulaşabilecek fiziksel hasarların önüne geçmeye çalışırlar.

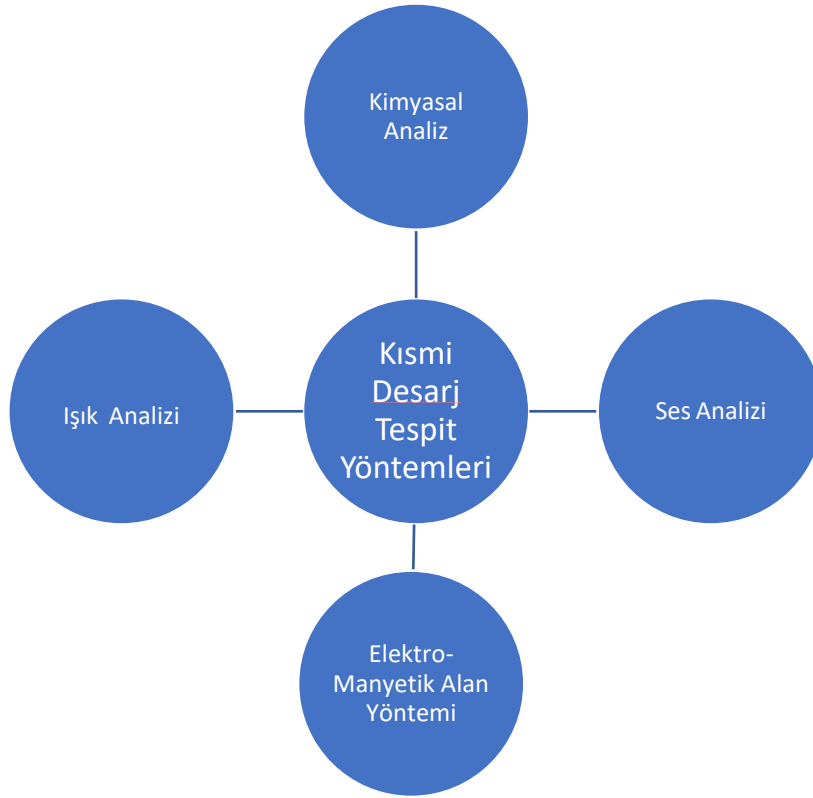
Dağıtım hatları varlıkları içerisinde en değerli ve önemli ekipmanlar izolatörlerdir. İzolatörlerde meydana gelebilecek en ufak teknik bir sorunda dağıtım hattının uzun sürece enerjisiz kalması kaçınılmazdır. Bu sebeple özellikle havai dağıtım hatlarında kısmi deşarj cihazları ile ekipman kontrolleri yapılmaktadır.

Kısmi deşarj, iletkenler arasındaki yalıtımı kısmen köprüleyen ve bir iletkenin yakınında oluşabilen yerel bir elektriksel deşarj olarak tanımlanmaktadır. Her deşarj olayının, yüksek enerji elektronlarının ya da ivmelenmiş iyonların enerji darbesi ile malzeme yapısında ciddi bozulmalara yol açtığı ve kısmi deşarjın devam etmesi ile malzemenin delinmesine neden olabileceği belirtilmektedir [29]. Kısmi deşarjlar genel olarak, yalıtımın içinde veya yüzeyinde, bölgesel elektriksel gerilmelerin yoğunlaşmalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Genellikle bu tür deşarjlar, 1 μ s 'den daha kısa süreli olan darbeler olarak görülür. Kısmi deşarjların çoğu kez sesin, ışığın, ısının ve kimyasal reaksiyonların emisyonuyla beraber oluştuğu bilinmektedir [30].

Alternatif gerilimde kısmi deşarj kaynakları genellikle sıkışmış gaz ya da dış ortamla ilişkilidir. Bütün yalıtım sisteminin bu tür bileşenleri katı malzemelere göre daha düşük dielektrik sabitine ve kırılım dayanıklılığına sahiptir. Bu sebeple kısmi deşarjın başlangıç noktası olmaya eğilimlidirler [31].

Yapılan bir çalışmada, silindirik yapıda homojen dağılımlı epoksi reçinenin orta kısmına küresel yapılı farklı çaplarda boşluk veya farklı kısımlarına sabit çaplı boşluk enjekte edilerek deneysel olarak kısmi deşarj tespiti yapılmış, aynı zamanda sistemin sonlu elemanlar yöntemiyle modeli de oluşturulmuştur. 1 mm'den küçük farklı boşluk çapları için, boşluk içindeki elektrik alanının önemli ölçüde değişmediği, daha büyük çaplar için ise elektrik alan değerinin azaldığı belirtilmektedir. Boşluğun bağıl dielektrik katsayısının, yalıtıkana göre düşük olmasından dolayı, kısmi deşarj oluşmadan önce boşluktaki elektrik alan şiddetinin daha büyük olduğu, kısmi deşarj oluştuğunda elektrik alan şiddetinin boşlukta önemli ölçüde azaldığı, boşluk yüzeyinde ise önemli ölçüde arttığı ifade edilmektedir [32].

İzolatörlerde oluşan kısmi deşarjlar zamanla izolatörün deformasyonuna neden olacak ve kalıcı arızalara yol açacaktır. Tam deşarj oluşmadan izolatörlerdeki kısmi deşarj durumlarının tespiti büyük zararlar oluşmadan çözüm üretebilmek açısından önemlidir. Kısmi deşarjın oluştuğu ortam ve materyale bağlı olarak, kısmi deşarj esnasında ortama ışık, ses, elektromanyetik sinyal ve kimyasal reaksiyon yayılır. Test edilecek olan teçhizata bağlı olarak kısmi deşarjın tespit edilebilmesi amacıyla çeşitli metotlar kullanılabilir [33]. Test edilecek olan teçhizatın tipine göre kullanılan kısmi deşarj tespit yöntemleri Şekil 3.2 'de gösterilmektedir;



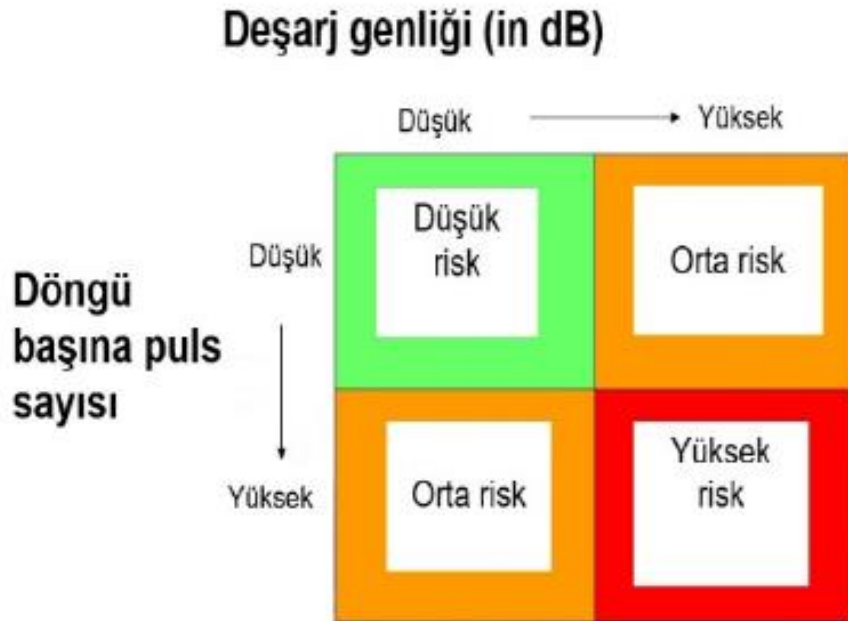
Şekil 3.2: Kısmi deşarj tespit yöntemleri [33].

Dağıtım şirketleri tarafından enerji nakil hatlarında ses ve termal analiz yöntemleri kullanılarak izolatörlerde kısmi deşarj tespitleri yapılabilmektedir. Ses analizi yapan kısmi deşarj tespit cihazı sıklıkla kullanılmakta olup (Şekil 3.3), bu yöntemle birçok arızanın nedeni belirlenebilmekte ve kesinti süreleri en aza indirgenebilmektedir.



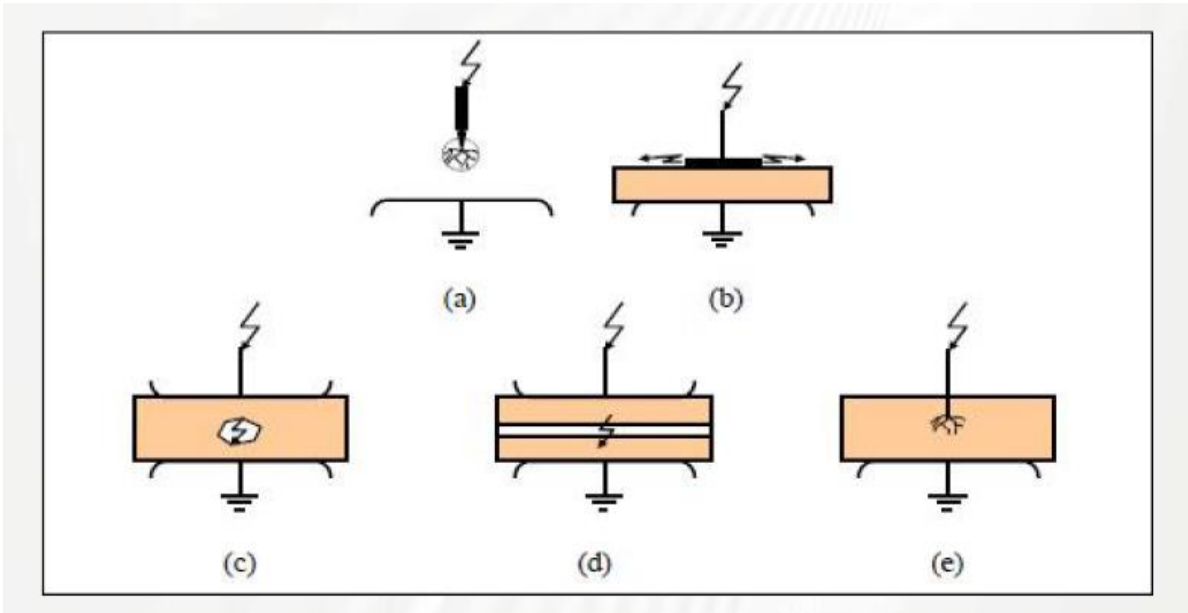
Şekil 3.3: Kısmi deşarj tespit cihazı ile saha etüdü [33].

Sahada kısmi deşarj tespit cihazı ile yapılan ölçümlerde kısmi deşarj genliği (dB) ve döngü başına puls sayısı verileri karşılaştırılarak Şekil 3.4 'de verilen kısmi deşarj ölçüm değerlendirme tablosuna göre önem derecesi belirlenir ve arızalı ekipmana müdahale sağlanır.



Şekil 3.4: Kısmi deşarj ölçüm değerlendirme tablosu [33].

IEEE 'nin yaptığı araştırmaya göre yüksek gerilim sistemlerinde meydana gelen yıkıcı arızaların büyük bir oranı (%80'i) elektriksel kısmi deşarj kaynaklıdır [34] [35]. Şekil 3.4 'de iç ve dış kısımlarda meydana gelen kısmi deşarjların 5 farklı durumunu görebiliriz. Şekil 3.5 'de ki "a" ve "b" durumları dış kısımlarda oluşan/oluşabilecek kısmi deşarjları, "c, d ve e" durumları ise iç kısımlarda oluşan/oluşabilecek kısmi deşarjları göstermektedir [35].



Şekil 3.5: İç ve dış yüzeyde görülen kısmi deşarj [35].

- "a" şekli sivri uçlu, keskin kenar ve keskin köşe olan eğrilik yarıçapı küçük olan elektrotlardır.
- "b" şekli yalıtkan yüzey üzerinde oluşan elektrotlardır.
- "c-d ve e" şekilleri katı yalıtkan içindeki boşluk, aralık ya da yapı bozulması ile oluşan kısmi deşarjlardır.

İzolatörler için elektrik alan şiddeti dağılımının ve özellikle de en yüksek olduğu yer/yerlerdeki değerinin bilinmesi kısmi deşarj analizlerinin yapılması ve önleyici bakım faaliyetlerinin planlanması için önemlidir.

İzolatörlerde yüzeyinde coğrafi ve hava şartları sebebiyle yaşanan çeşitli kirlilik durumları da dağıtım şirketleri açısından ciddi arıza risklerini oluşturan başka bir kısmi deşarj

durumunu oluşturmaktadır. Kirlilik durumlarında meydana gelen faz-toprak ya da faz-faz arızalarında elektrik alan değeri dielektrik dayanımını aşarak kısmi deşarj oluşmasına sebep olmaktadır. İzolatörler de kirlenme atlaması için üç şart veya beş kademe gereklidir [36][18].

- 1) İzolatör yüzeyindeki iletken kir filminin teşekkülü;
 - a) İzolatör yüzeyinin kir tabakası ile kaplanması
 - b) Kir tabakasının rutubet tesiri ile ısınması
- 2) Kirli izolatör yüzeyinde ön deşarjın teşekkülü;
 - a) Kuru bandların oluşması
 - b) Kuru bandlar boyunca ön deşarj tutuşması
- 3) Ön deşarjın yüzey boyunca yayılması ve kısa devre;

Bu üç şart veya beş kademededen herhangi biri tamamen kontrol altına alınabilirse, kirlenme atlaması problemi kesin olarak çözülecektir.

Porselen izolatörler üretim aşamasında sır adı verilen bir tabaka ile kaplanırlar. Parlak ve kaygan olan sır tabakası izolatör yüzeyine kir yapışmasını azaltmakla beraber izolatör yüzeyi boyunca potansiyel dağılımını da düzenlemektedir [37]. Özellikle izolatör yüzeyinde oluşan kuru band yüzeydeki sır tabakasına zarar vermesi sebebiyle, kuru band görülen bölgelerdeki gerilim düşümü havanın dayanımını aşınca ön deşarj oluşumunu da başlatmaktadır [18]. Şekil 3.6 'de kuru band oluşumu detaylı olarak anlatılmaktadır.



Şekil 3.6: Kuru band oluşumu [37].

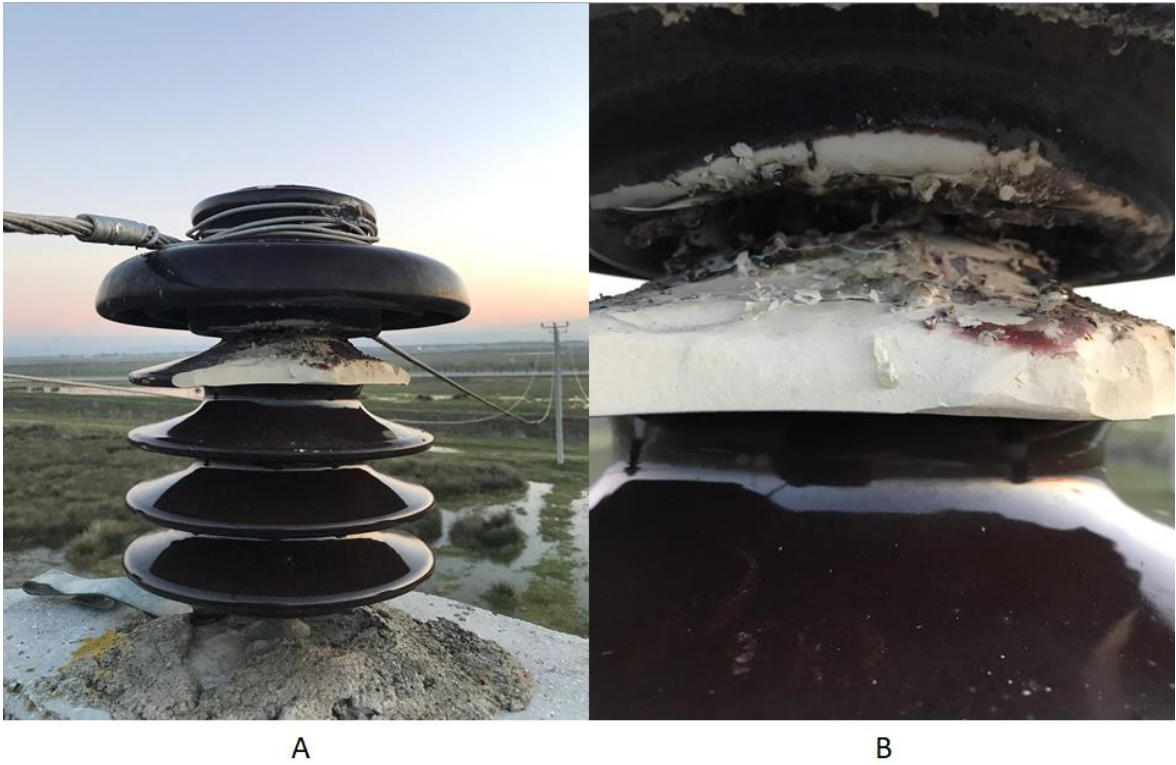
3.2 Sahada Meydana Gelen İzolatör Tespitli Kısmi Deşarjlar

Kuş çarpması, ağaç teması ve yıldırım düşmesi gibi çeşitli fiziksel olaylar nedeniyle oluşan arklar izolatörlerde tahribatlara neden olabilmektedir. İzolatörlerde oluşan bu tahribatlar sonrasında özellikle kötü hava koşullarında enerjinin kısa süreli veya tekrarlayan sürelerde kesilmesi söz konusu olabilmektedir. Bütün dağıtım şirketlerinde olduğu gibi UEDAŞ da sorumluluk bölgesinde arızaları kısa sürede tespit etme, tekrarlayan arızaları belirleme ve problemin kaynağını çözme noktasında saha çalışmalarında bulunmaktadır.

Bandırma İlçesi, Bezirci ve Musakça Mahallelerinde sık sık enerji kesintisi ile karşılaşıldığının ifade edilmesi üzerine birkaç defa bölgeye ait Bezirci Kök'e gidilmesine rağmen, röle ile korunan kesicili çıkış hücresindeki tekrar kapama devresinin hattı kısa sürede beslemesi nedeniyle enerjinin tekrar verildiği belirlenmiştir. Şiddetli yağışlarda, yoğun sis ve nemli havalarda bu durumun tekrar tekrar yaşandığı, enerjinin anlık kesilmesi ve tekrar geri gelmesi sonrasında elektriksel cihazlarının hasar görebileceği noktasında şikayetler yoğunlaşmıştır. Bu durumun kış şartlarında tekrarlaması nedeniyle şikayetlerin

azaltılması ve enerji tedarikinin verimli olarak sağlanması amacıyla saha etüdü yapılmasına karar verilmiştir. Saha etüdü yapılırken hava şartları nedeniyle kısmi deşarj tespit cihazı ile işlem yapılmamış, enerji nakil hattı ekiplerce gezilerek görsel temas ile kontrol sağlanmıştır.

Saha etütlerinde Bezirci Mahallesi çıkışındaki durdurucu direkte görsel temas ile tespit edilen bir halkası tahribata uğramış izolatörün (Şekil 3.7) değişimi yapılarak sorun kalıcı olarak çözümlenmiştir. 2015 yılında yapılan Bezirci Kök-Musakça ENH 'da ki proje ve etüt çalışmalarında özellikle bu iklimsel özellikler dikkate alınarak izolatör seçimlerinin sis tipi olmasına özen gösterilmiştir. İzolatör tipinin sis tipi olması bu gibi hasarların oluşması sonrasında atlama mesafesinin uzaması nedeniyle kesinti sıklığını en aza düşürmektedir. İzolatördeki bu tahribatın şiddetli hava şartlarında tam deşarja neden olmasına rağmen, yağmur, nem ve sisin büyük oranda yüzeysel kısmi deşarja neden olduğu söylenebilir.



Şekil 3.7: Musakça enerji nakil hattında yüzeysel kısmi deşarja neden olan izolatör.

Balıkesir İli, Marmara İlçesi, Saraylar ENH 'da kısa süreli enerji kesintisi şikayeti üzerine, kış mevsiminde olunması ve inceleme döneminde bölgede şiddetli yağış olayları olması sebebiyle kısmi deşarj tespit cihazı kullanılmadan sadece görsel temas yöntemi ile enerji nakil hattı incelenmiştir. Etüt sırasında bir taşıyıcı direk üzerinde elektriksel ark tespit edilmiş ve enerji kesilerek izolatör kontrolü yapılmıştır.

Yapılan tespitlerde izolatör üzerinde kuru band mevcut olduğu ve bazı kısımlarında deformasyonların olduğu (Şekil 3.8), bu durumun ise kısmi deşarja yol açtığı değerlendirilmiştir. Marmara adası yüksek nem ve tuzlanmanın yaşandığı bir bölge olarak kuru band oluşumuna bağlı kısmi deşarj durumlarının sıklıkla karşılaşıldığı bir yerdir. İzolatör, sis tipi olarak yenilenmiş ve enerji nakil hattı beslenmiştir. Bakım ekiplerince özellikle ada bölgelerinde planlanan hat yıkama çalışmalarının kir tabakasından kaynaklı kuru band oluşumlarını geciktirdiği ve enerji nakil hatlarındaki arızaları azalttığı görülmüştür.



Şekil 3.8: Saraylar enerji nakil hattında kuru band yüzünden kısmi deşarja neden olan izolatör.

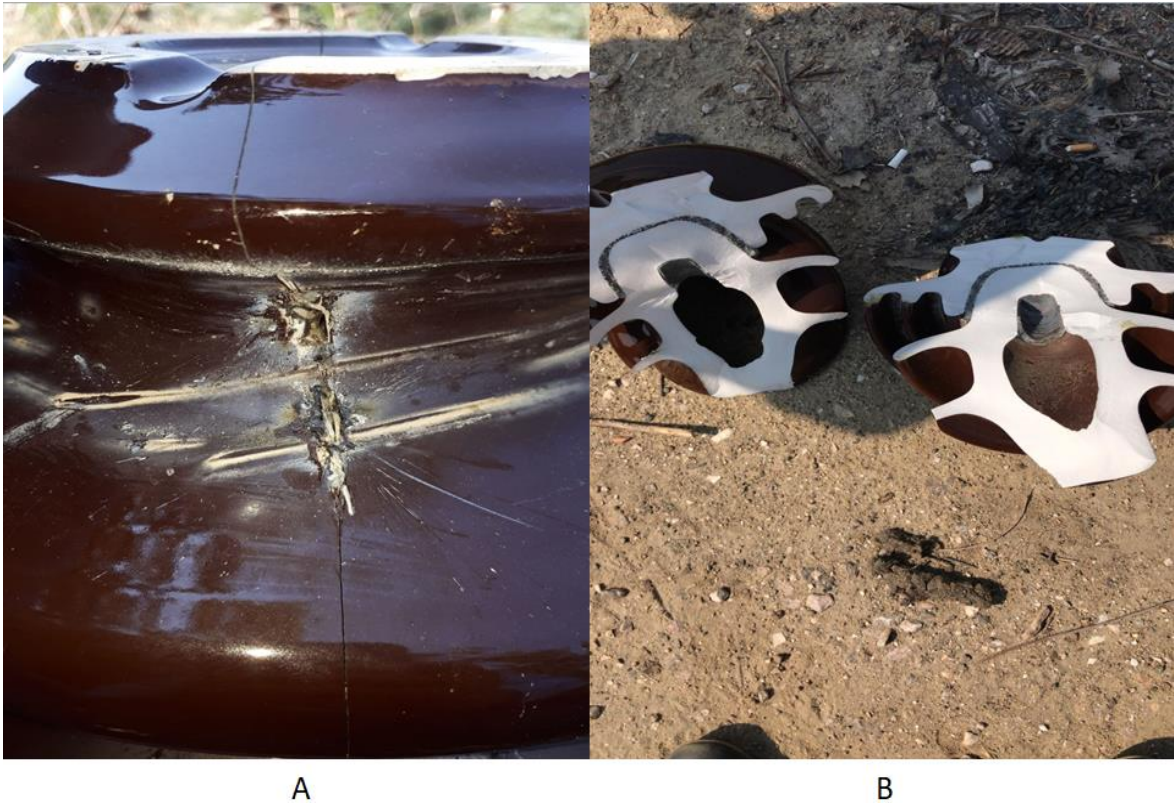
Şekil 3.8 'de görülen kuru band oluşumu sonrasında izolatör deformasyonları da şebekedeki enerji kesintisi durumunu tetikleyebilen bir unsurdur. İzolatör yüzeyinde meydana gelen ve çoğunlukla gözle de tespit edilebilen bu durumlar sonrasında dielektrik malzemelerin bozulmasıyla kısmi deşarj veya tam deşarj durumları ile karşılaşılmaktadır. Coğrafi koşullardan kaynaklı kir ve nem altında izolatör yüzeyindeki bazı noktalarda kısmi deşarj oluşumu görülmektedir. Bu durum bazı noktalardaki elektrik alanının havanın dielektrik sabitini aşması sebebiyle gerçekleşir.

Balıkesir İli, Bandırma ilçesi, Akçapınar ve Çakıl mahallelerinden gelen uzun süreli elektrik kesintisi ihbarları sonrasında bölgeye giden ekipler enerji nakil hattı üzerinde faz-toprak kaynaklı açmaların yaşandığını ve enerjinin uzun süredir olmadığını tespit etmiştir. Öncelikle kesici ölçü kabinlerindeki elektriksel teçhizatları ve xlpe kablo başlıklarının kontrol edilmesi sonrasında sorunun enerji nakil hattı iletken kopması veya izolatör arızası oluşması ihtimali üzerinde durulmuştur. Enerji nakil hattı mesafenin uzun olması nedeniyle ilave saha personeli çağırılmış ve hat dolaşılarak gözle tespit yapılmıştır. Şekil 3.9 'da görülen izolatör çatlağı ekiplerce fark edilerek izolatör değiştirilmiş, saha etüdünün bitimi ile başka bir teknik arızanın bulunamaması sonrasında enerji nakil hattı beslenmiştir. Enerjinin verilmesi ile tekrar faz-toprak arızası tespit eden röle, kesicinin konumunu değiştirerek hattın enerjisini kesmiştir.



Şekil 3.9: Akçapınar enerji nakil hattında kısmi deşarja neden olan izolatör.

Tekrar besleme sırasında kabin merkezine yakın bir noktada ekiplerce fark edilen izolatör üzerindeki ark oluşumu, başka bir izolatör arızası şüphesini doğurmuştur. Direğe çıkılarak gözle yapılan tespitlerde VHD-35 üzerinde kılcal çatlakların olduğu tespit edilmiş ve sıkıbağın sökülmesi sonrasında izolatör kırılarak toprağa düşmüştür (Şekil 3.10). Hatta enerjinin kesik olması nedeniyle kısmi deşarj tespit cihazı ile etüt yapılamamış ve olası ekonomik ömür veya dışsal sebepler nedeniyle kısmi deşarja maruz kalan çatlak izolatörün tespiti gecikmiştir. İzolatörlerin sis tipi VHD-35 izolatör ile değişimi sonrasında enerji nakil hattına enerji verilmiştir.



Şekil 3.10: Akçapınar enerji nakil hattında kısmi deşarja neden olan izolatör.

Marmara İlçesi, Gündoğdu Mahallesi'nde kısa süreli ve sık aralıklarla yaşanan enerji kesintisi şikayeti üzerine Gündoğdu ENH 'da hat kontrolüne çıkılmış, görsel temas yöntemi ile sorunu tespit edemeyen ekipler kısmi deşarj tespit cihazı ile etütlerini yapmışlardır. Gündoğdu Mahallesi girişindeki taşıyıcı direkte cihazın uyarı vermesi üzerine yapılan kontrolde izolatör üst kısmında yaşanan derin tahribat nedeniyle, iletkenin izolatör pimi üzerinden deşarja neden olduğu görülmüştür (Şekil 3.11). İzolatörün sis tipi

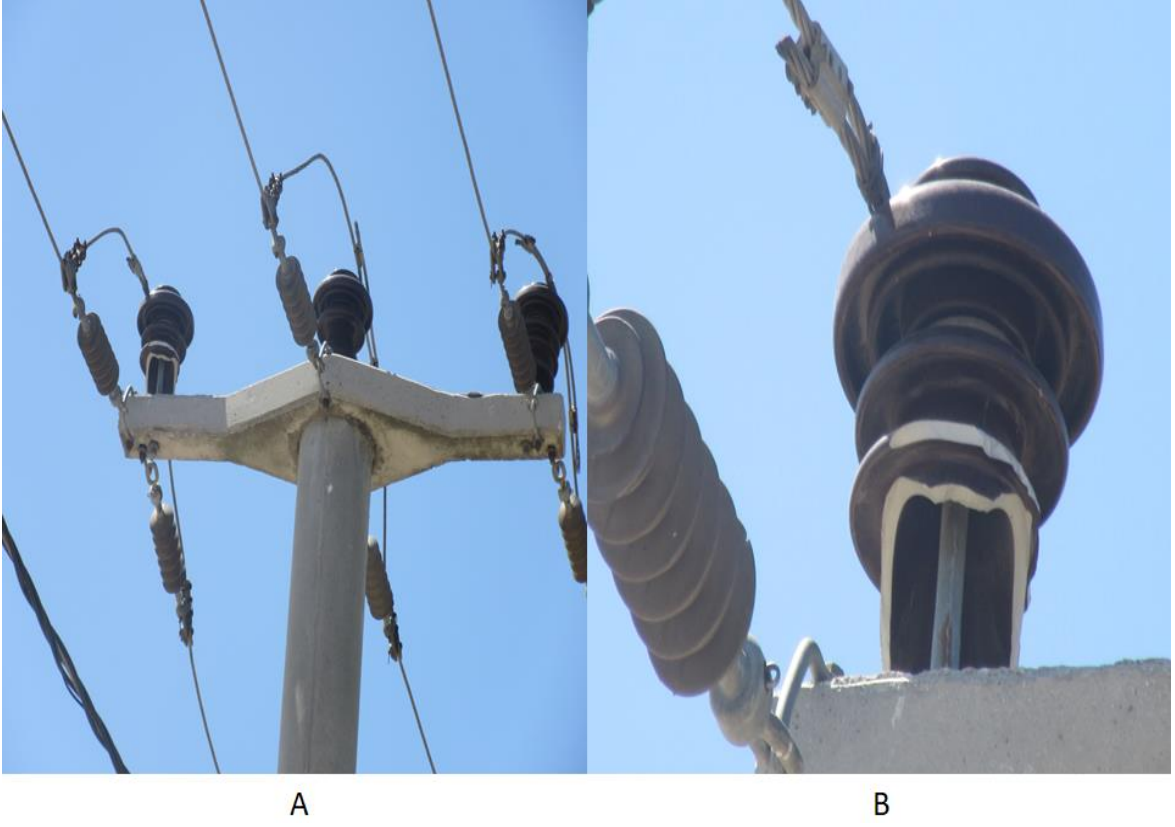
VHD-35 ile değişimi sonrasında enerji nakil hattı beslenmiş ve akabinde de herhangi bir enerji kesintisi şikâyeti alınmamıştır.



şekil 3.11: Gündoğdu enerji nakil hattında kısmi deşarja neden olan izolâtör.

Tekrar kapama devrelerinin aktif olarak kullanıldığı enerji nakil hatlarında geçici olarak yaşanan bu tarz deşarj durumlarında müşteriler sık sık elektrik kesintisi yaşamakta ve özellikle kullanımın yoğun olduğu bölgelerde elektrik cihazlarında hasarların oluşması sorunu ile karşılaşılmaktadır. Bu durumların önlenmesi amacıyla enerji nakil hatlarından periyodik olarak kısmi deşarj tespit cihazı ile hat kontrolleri yapılmalı, cihazın uyarı verdiği her teçhizat programlı bakım kapsamında ivedi olarak değiştirilmelidir.

Enerji nakil hatlarında yıllık programlı olarak yapılan hat etüt çalışmaları kapsamında kısmi deşarj cihazı tarafından tespit edilen izolâtör şekil 3.12 'de paylaşılmıştır. 36 kV dağıtım şebekesinde bulunan sol faz VHD-35 izolâtörde gerek gözle muayenede gerekse de kısmi deşarj cihazı ile kırık izolâtörün varlığı rahatlıkla tespit edilmektedir. Sahadaki tespitlerimizde de görüldüğü üzere bütün kırıklı ve çatlaklı durumdaki izolâtörler enerji nakil hattında enerji kesintilerine yol açmamaktadır.



Şekil 3.12: Sahada tespit edilen kırık VHD-35 örneği.

Özellikle hava şartlarının zorlaştığı durumlarda yüzeysel atlamaların ve kısmi deşarj olaylarının görülmesi, elektrik kesinti sürelerinin daha da uzamasına sebebiyet vermektedir. Kısmi deşarj ile bakım amaçlı yapılan erken tespitlerin, enerji nakil hatlarındaki arıza sayılarını ve kesinti sürelerini en aza indirebileceği düşünülmektedir.

4. VHD-35 SİMÜLASYON MODELLEMESİ VE PARAMETRELER

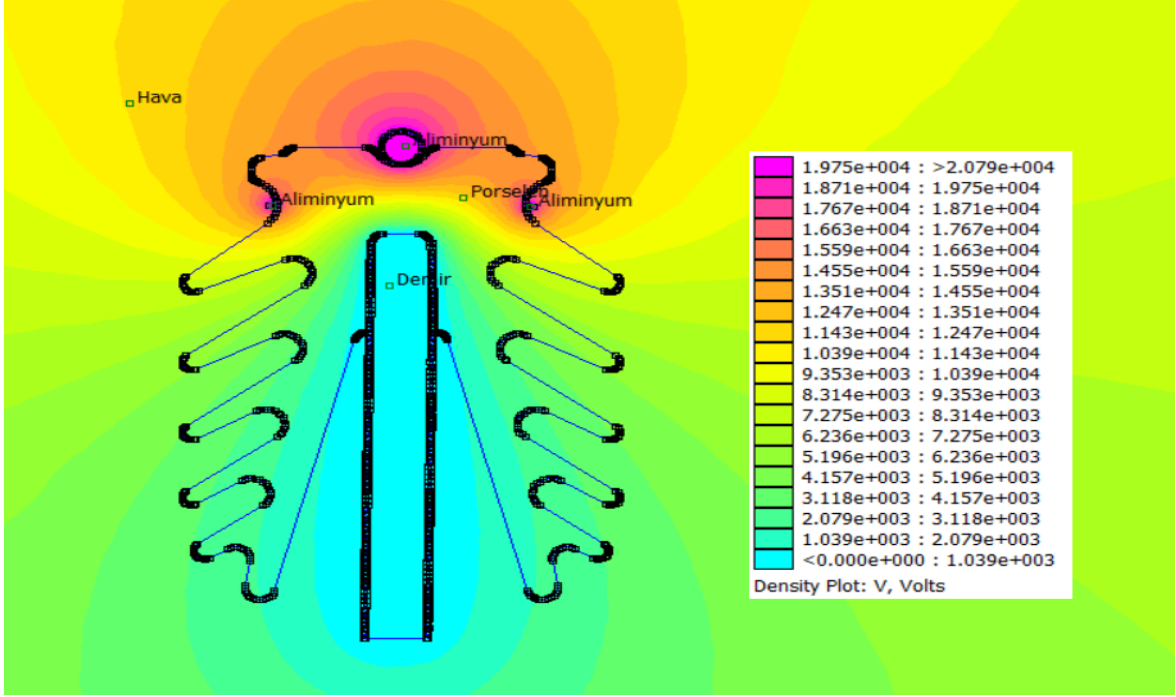
Kısmi deşarj incelemesi için yüzeysel deşarjların en az olduğu sis tipi VHD-35 izolatörü seçilmiş olup, simülasyon çalışmaları FEMM programı kullanılarak potansiyel dağılımı ve elektrik alan değişimleri elde edilerek yapılmıştır. Simülasyonda coğrafi ortam koşulları için hava, toz, su (yağmur), çamur, pin tipi izolatör yapısı için porselen, sıkıbağ ve yüksek gerilim iletkeni için alüminyum (AL) ve izolatör pim demiri için demir (FE) malzemeleri karakteristikleri seçilmiş olup uygun dielektrik sabitleri ile çatlaklı, boşluklu vb. durumlarda ki kısmi deşarj modellemelerinin benzetimi gerçekleştirilmiştir.

4.1 Parametre Değerleri

VHD-35 izolatör modellemesinde kullanılan malzemelerin bağlı dielektrik sabiti (ϵ);

- Porselen için 6 [38],
- Pim demiri için 1 [39],
- Alüminyum sıkıbağ ve akım taşıyan HAWK iletken için 1 [39],
- Dış ortam olan hava için 1 [38] olarak alınmıştır.

Dağıtım sistemlerindeki fazlar arası nominal gerilim 36 kV olduğundan, alüminyum iletkene faz-toprak gerilimi olan 20785 V uygulanarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. İzolatörün teknik çizimleri (Şekil 4.1) FEMM programına 2-boyutlu kesit şeklinde aktarılarak potansiyel dağılımları ve elektrik alan değişimleri elde edilmiştir.



Şekil 4.2: İzolatörde elektrik alan dağılımı.

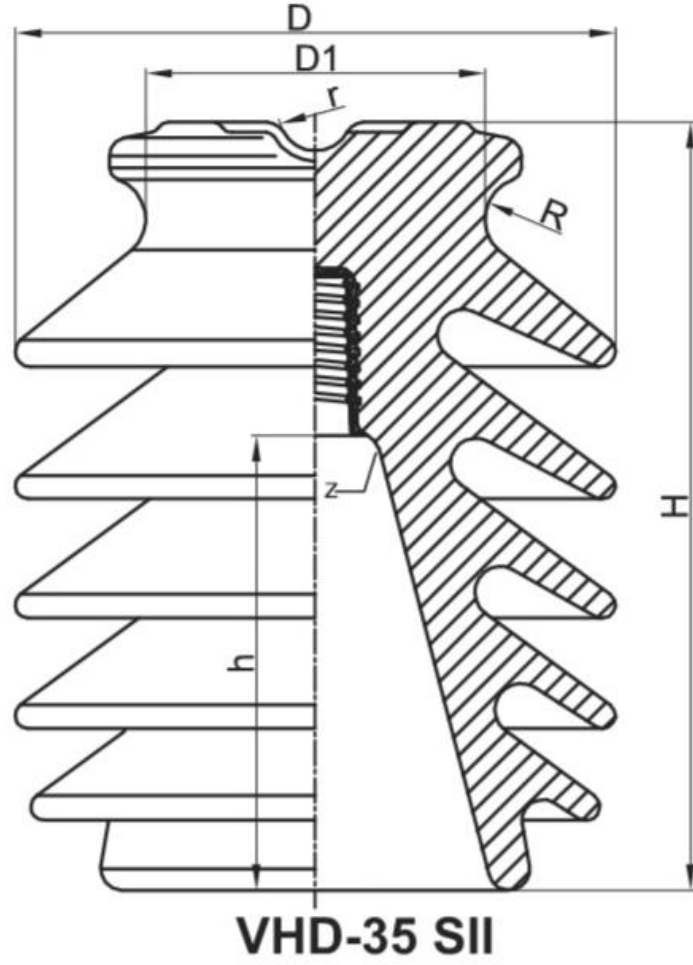
4.3 Teknik Veriler

Simülasyonda kullanılan ve 36 kV dağıtım tesislerinde en yüksek akım taşıma kapasitesi bulunan HAWK iletkenine ait teknik veriler Tablo 4.2 'de paylaşılmıştır [Tablo 4.2].

Tablo 4.2: İletkene ait teknik veriler (HAWK) [40].

İşareti	Adı	Anma Çapı (mm)	Toplam Kesit (mm)	Akım Taşıma Kapasitesi (A)	Alüminyum Tel Sayısı
477 MCM	HAWK	21,77	280,84	670	26

İzolator seçiminde ise kaçak mesafenin uzun olması nedeniyle sis tipi VHD 35 kullanılmış olup, izolatorün teknik çizimleri Şekil 4.3 'de, boyutları ise Tablo 4.3 'de verilmektedir.



Şekil 4.3: Sis tipi VHD-35 izolatöre ait teknik çizim [28].

Tablo 4.3: Sis tipi VHD-35 izolatöre ait ölçüler [28].

Boyut	H	H	D	D1	R	r
(mm)	295	175	230	130	16	14

Dağıtım sistemlerinde enerji akışını sağlamak için kullanılan alüminyum iletken, Şekil-4.3 'de gösterilen izolatörün r yarıçapı ile boyutlandırılan kısmına yerleştirilirken, akım taşıyan iletkenin izolatörle bağlantısı R yarıçapı ile boyutlandırılan daha küçük kesitli alüminyum iletkenin sarmalanması ile yapılmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: İletkenin sis tipi VHD-35 izolatöre sıkıbağ ile montajı.

Sıkıbağ olarak isimlendirilen bu durum montaj esnasında kolaylık sağladığından dağıtım sistemleri tarafından tercih edilmektedir. Bu bağlantı nedeniyle sadece akım taşıyan iletkende değil sıkıbağ kısmında da işletme gerilimi mevcut olacaktır. Direk üzerine yerleştirilen pim demiri, izolatörün alt kısmına monte edilerek bir mesnet oluşturmaktadır.

4.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi Matematiksel Modeli

Sınırlı koşullarda yapılan elektrik alanlarının hesaplanması aşağıda denklem (1) ve (2) 'de verilen Laplace denkleminin çözümünü gerektirmektedir. Laplace denkleminin çözümü analitik veya sayısal yöntemlerle yapılabilir.

$$\nabla^2 \varphi = -\rho/\epsilon_0 \quad (1)$$

$$\nabla^2 \varphi = 0 \quad (2)$$

Matematiksel denklemlerdeki ∇^2 ifadesi Laplace dönüşümüdür ve aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\nabla \cdot \nabla = \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (3)$$

Denklem (1) ve/veya (2) 'nin genel çözümü aşağıda denklem (4) 'de verildiği gibidir [41];

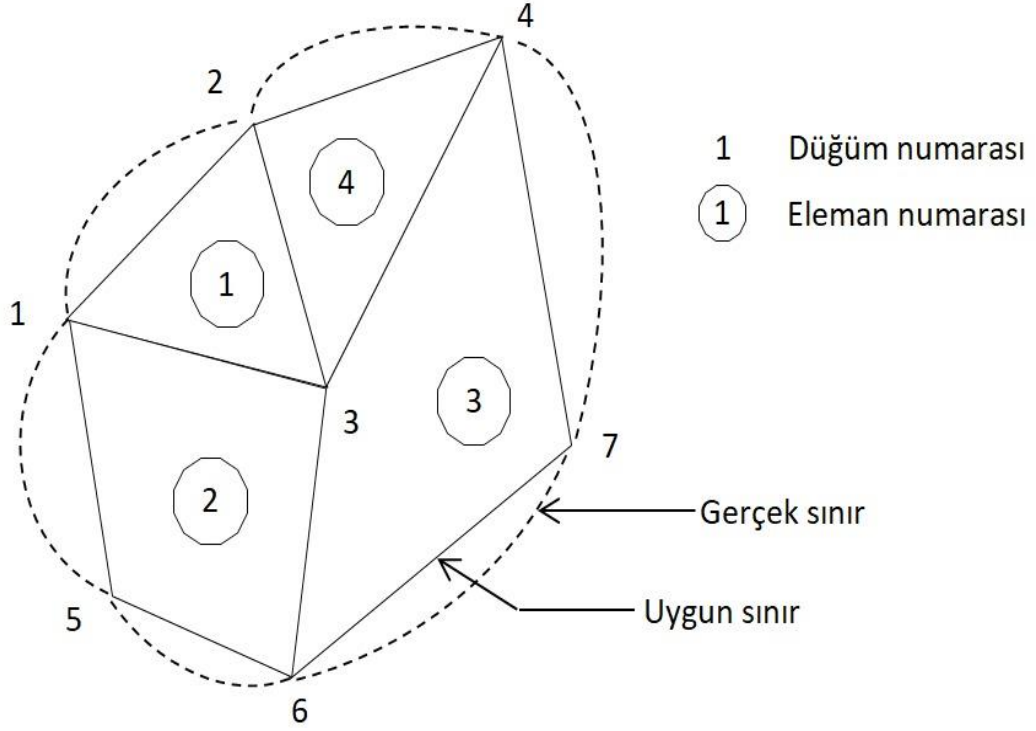
$$V(x,y) = \sum_{e=1}^N V_e(x,y) \quad (4)$$

Buradaki N değeri, çözümün hesaplandığı yapının bölündüğü bölge sayısıdır, ya da diğer bir ifadeyle çözümdeki düğüm (mesh) sayısıdır. Şekil 4.5 'de üçgen yapıda düğümlerle yakınsanmış bir yapının çizimsel gösterimi verilmektedir. Bu durumlar için en yaygın yaklaşım biçimi, bir eleman içindeki V_e 'nin aşağıda verildiği formatta polinom olarak ifade edilmesidir [41].

$$V_e(x, y) = a + bx + cy \quad (5)$$

Düğümlerin üçgen yada dört kenarlı eleman olduğu durumlarda yukarıdaki denklem (5) aşağıda verilen denklem (6) şeklinde ifade edilebilir [41];

$$V_e(x, y) = a + bx + cy + dxy \quad (6)$$



Şekil 4.5: Tipik üçgen eleman [41].

Şekil 4.5’de ki gibi düğümlere bölünmüş bir yapı içerisinde her bir düğümdeki potansiyel aşağıda denklem (7) ’de verildiği gibi ifade edilebilir [41];

$$\begin{bmatrix} Ve1 \\ Ve2 \\ Ve3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x1 & y1 \\ 1 & x2 & y2 \\ 1 & x3 & y3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (7)$$

Buradan da a, b ve c katsayıları şu şekilde belirlenir:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \frac{1}{\begin{bmatrix} 1 & x1 & y1 \\ 1 & x2 & y2 \\ 1 & x3 & y3 \end{bmatrix}} \begin{bmatrix} Ve1 \\ Ve2 \\ Ve3 \end{bmatrix} \quad (8)$$

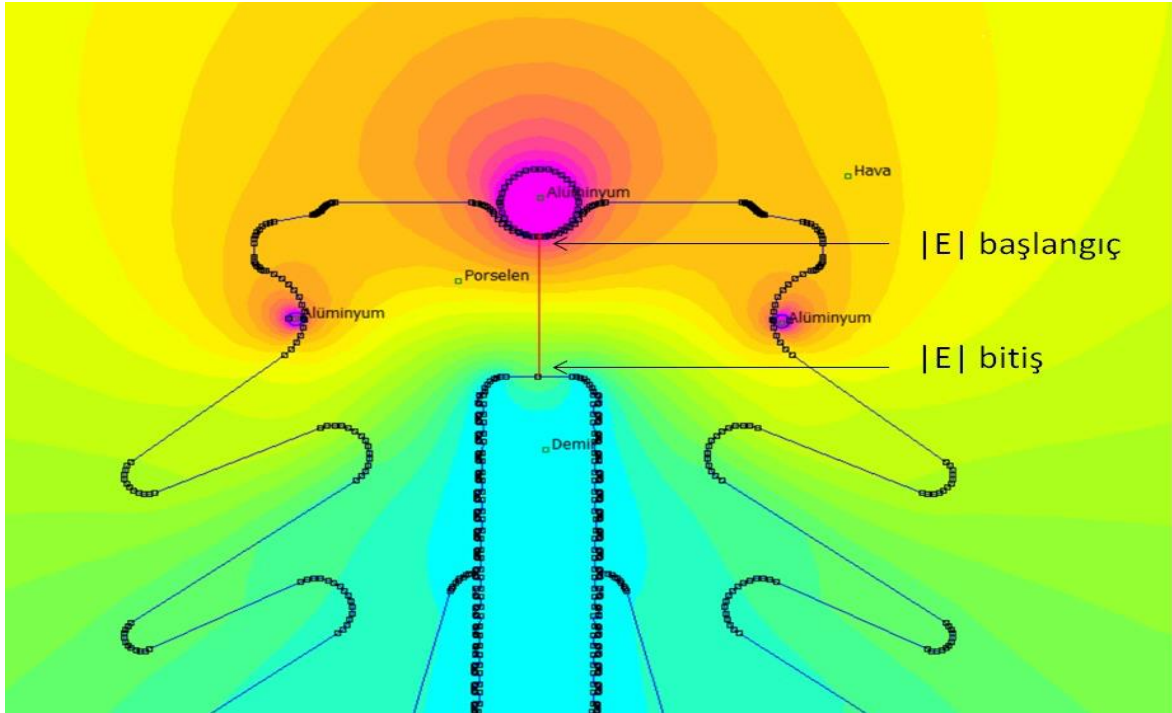
5. VHD-35 İZOLATÖRDE ELEKTRİK ALAN DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Yapılan analiz ve simülasyon çalışmalarında aşağıda listelenen çeşitli senaryolar belirlenmiş, bu farklı senaryolardaki potansiyel dağılımı ve elektrik alan değişimleri incelenmiştir.

- Hasarsız durumdaki (boşluksuz/çatlaksız) izolatör.
- Merkezleri aynı çapları farklı (R: 0,5 mm, R: 1,5 mm, R: 2,5 mm, R: 4 mm ve R: 6 mm) hava boşluklu izolatör.
- Merkezleri farklı çapları aynı (R: 6 mm.) hava boşluklu izolatör
- Çeşitli derinlikte ve genişlikte çatlaklı izolatör

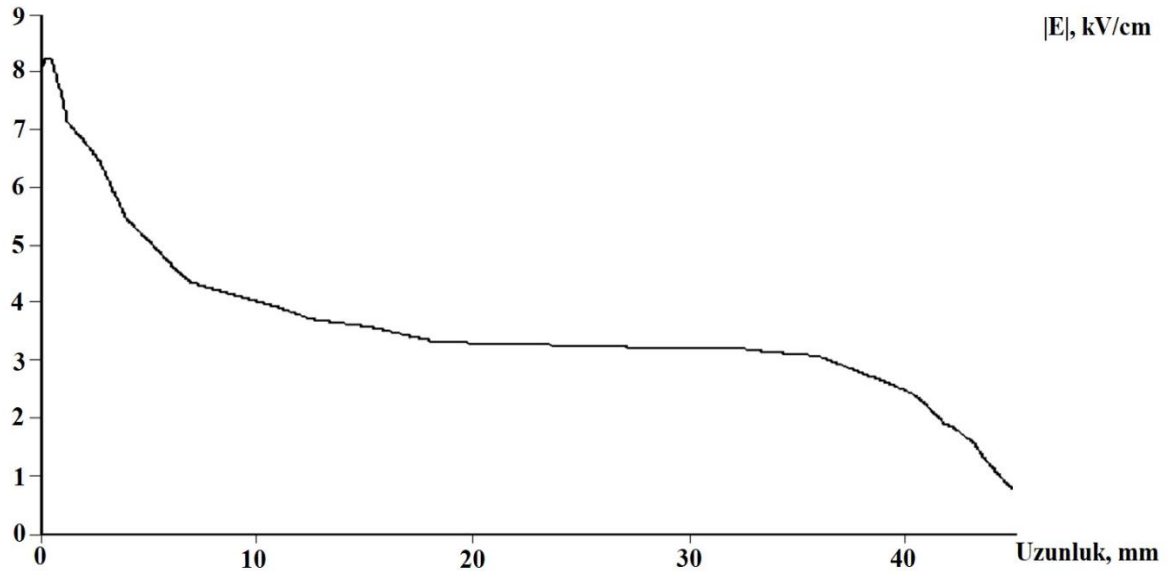
5.1 Hasarsız Durumdaki (Boşluksuz/Çatlaksız) İzolatör Elektrik Alan Dağılımının İncelenmesi

İlk simülasyon çalışmasında hasarsız bir imalata sahip izolatörün potansiyel dağılımı (Şekil 5.1) ve iletkenle pim demiri arasındaki 45 mm uzunluğunda bir hat boyunca elektrik alan değişimi (Şekil 5.2) incelenmiştir.

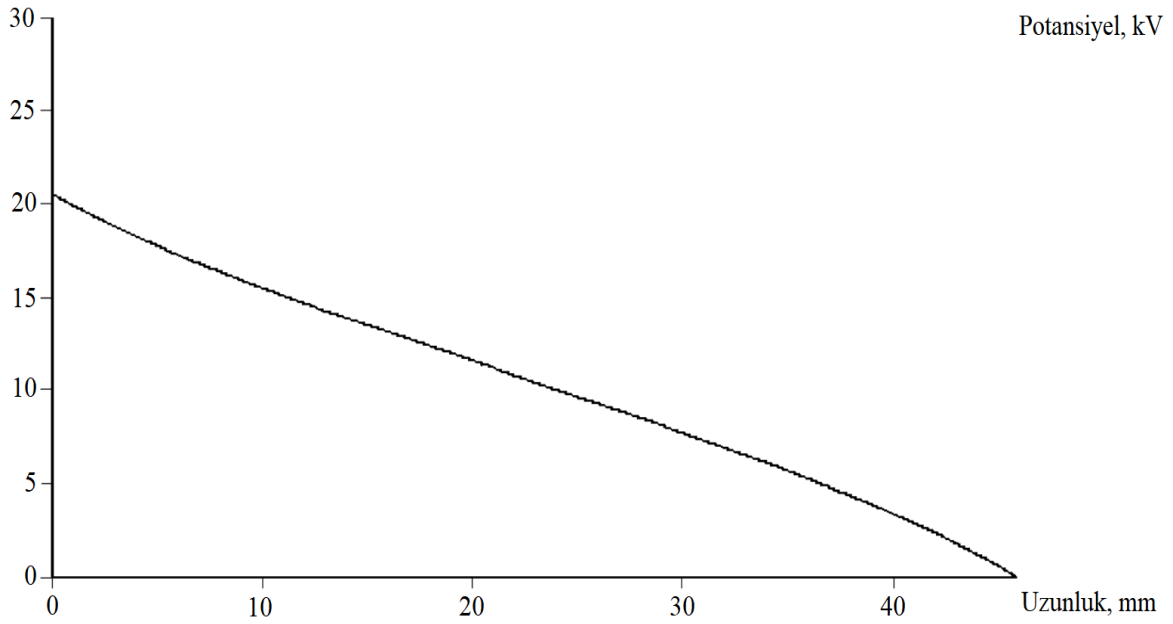


Şekil 5.1: Hasarsız durumda potansiyel dağılımı.

Elektrik alan değişiminin hesaplandığı bu doğrunun başlangıç ve bitiş noktaları Şekil 5.1 'de verilmektedir. Şekil 5.2 'de görüleceği üzere hasarsız durumda elektrik alan değişiminin maksimum değeri iletken civarında 8,1 kV/cm'dir. Gerilim değeri ise iletkende 20785 V değerlerinden başlayarak pimde 0 V değerine inmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.2: Şekil 5.1 'de gösterilen çizgi üzerindeki elektrik alan değişimi.



Şekil 5.3: Şekil 5.1 'de gösterilen çizgi üzerindeki potansiyel değişimi.

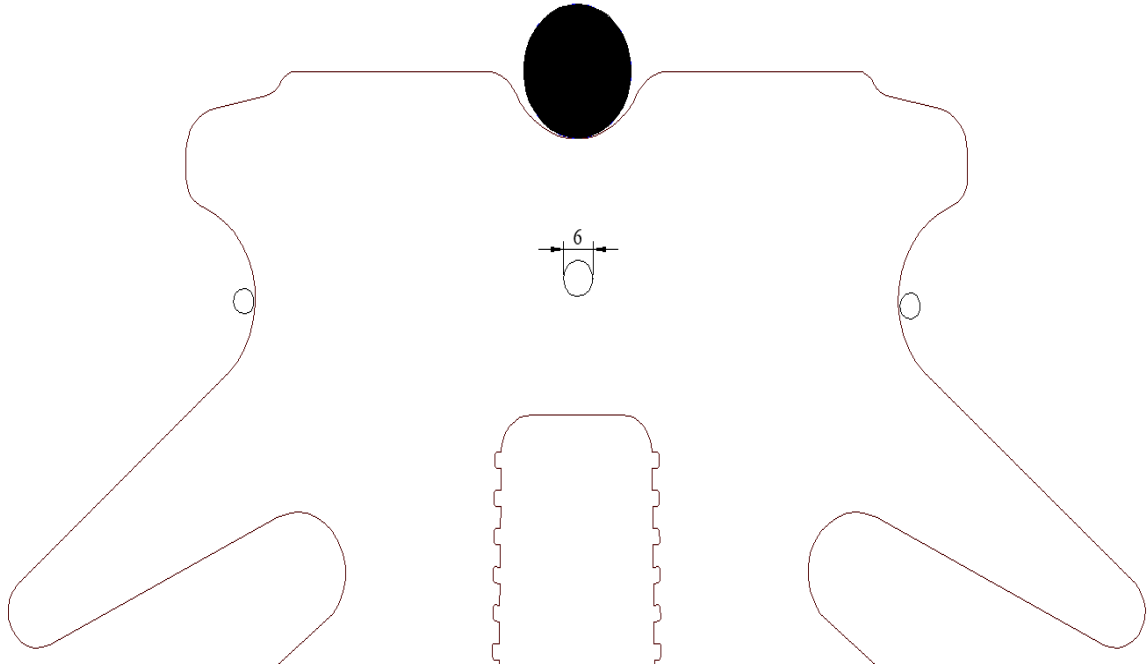
5.2 Boşluklu Yapılar İhtiva Eden İzolatörün İncelenmesi

Bu bölümde merkezleri aynı çapları farklı hava boşluklu izolatörler ile merkezleri farklı çapları aynı izolatörlerin simülasyonları yapılmış, çap ve merkez konum değişiminin izolatör üzerindeki potansiyel dağılımı ve elektrik alan değişimleri irdelenmiştir.

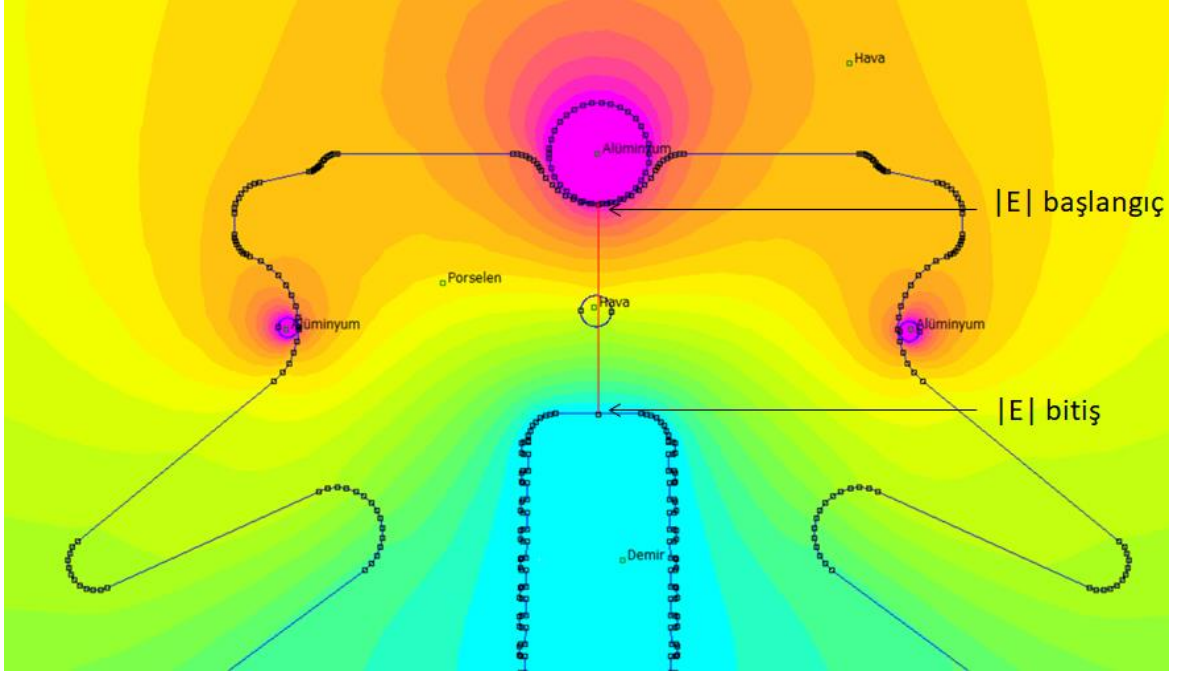
5.2.1 Boşluk çapı ve adedinin elektrik alan üzerine etkisi

İzolatör imalatı aşamasında istenmeyen hava boşluklarının oluşması üretim tekniklerindeki kaliteye bağlı olarak imkân dahilindedir. İlk incelemede akım taşıyan iletkenle pim demiri arası orta noktasında aynı merkezli farklı çaplarda hava boşluğunun mevcut olması durumları için elektrik alan dağılımları incelenmiştir.

İzolatör içinde aynı merkez için büyükçe 6 mm çaplı boşluk olması durumunda potansiyel dağılımı Şekil 5.5 'de verilmektedir. Aynı merkezli 0,5 mm, 1,5 mm, 2,5 mm, 4 mm ve 6 mm çaplarında 5 farklı hava boşluğunun olmasına ilişkin sabit bir çizgi üzerindeki elektrik alan değişimleri aynı grafik üzerinde Şekil 5.6 'da görülmektedir. Bu elektrik alan değişimlerinin hesaplandığı çizgi ve çizginin başlangıç bitiş noktaları Şekil 5.5 'de, hava boşluğunun çap değeri ve izolatör üzerindeki konumu da Şekil 5.4 'de gösterilmektedir.

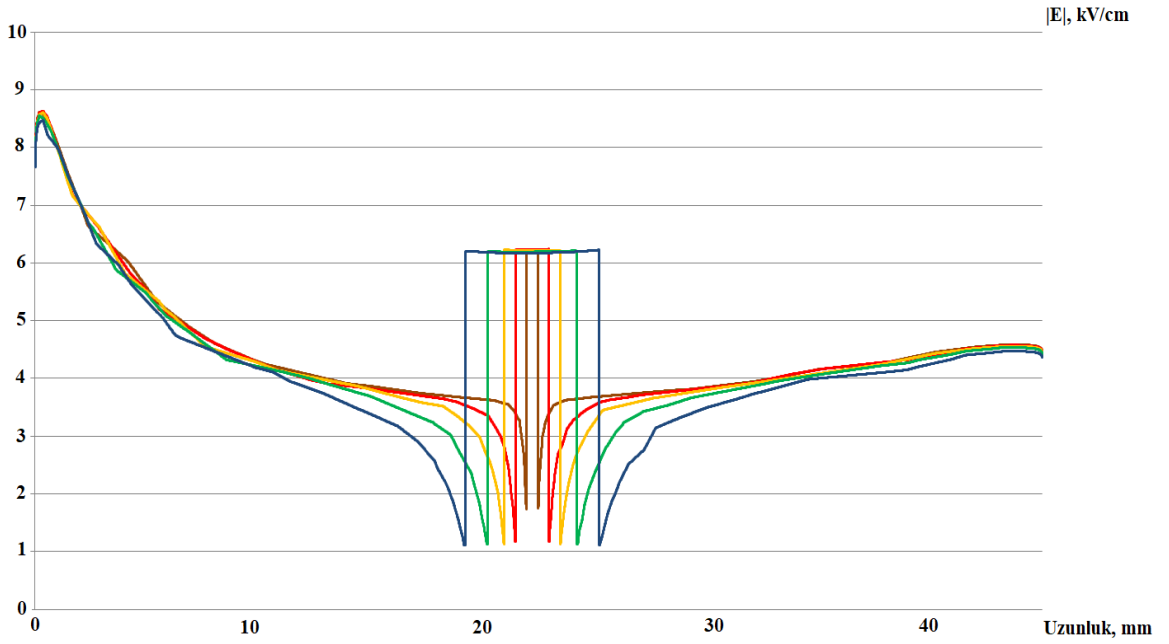


Şekil 5.4: İzolatör içinde 6 mm çaplı hava boşluk konumu ve çap ölçüsü.



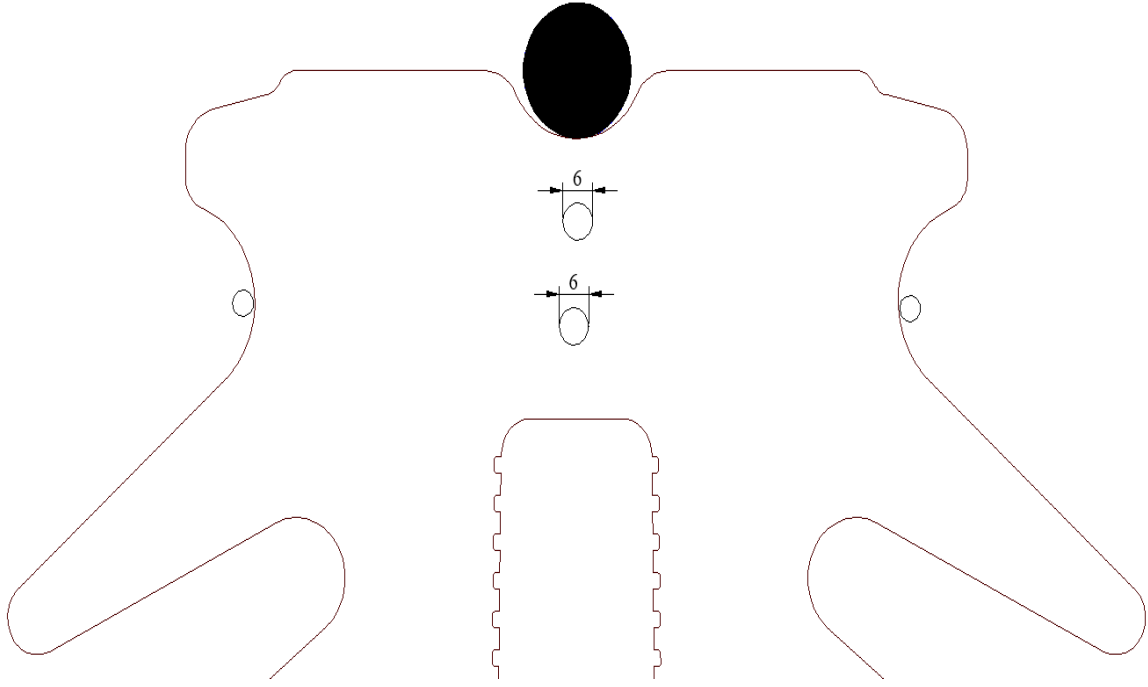
Şekil 5.5: İzolatör içinde 6 mm çaplı boşluk olması durumunda potansiyel dağılımı.

Şekil 5.6 'da görüldüğü üzere elektrik alan şiddeti, porselen ile boşluk kesişim noktalarında anlık düşüşler sergileyip, boşluk içinde tekrardan yükselmekte ve boşluk boyunca neredeyse sabit devam etmektedir. Ayrıca boşluk çap artışının boşluk içindeki elektrik alan şiddetinde kayda değer bir değişime sebebiyet vermediği görülmektedir.



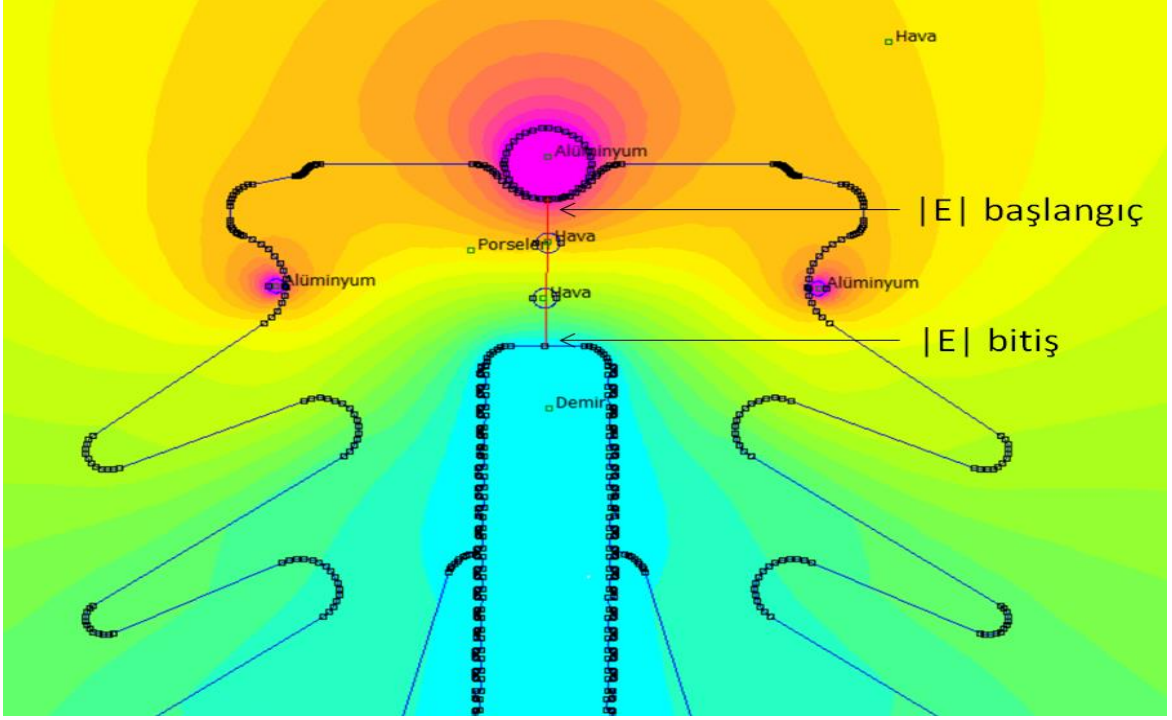
Şekil 5.6: Aynı merkezli 0,5 mm, 1,5 mm, 2,5 mm, 4 mm ve 6 mm çaplı hava boşluklarında elektrik alan değişimi.

Diğer bir incelemede, izolatör içinde 6 mm çaplı 2 farklı hava boşluğu olması durumunda elektrik alan ve potansiyel dağılımları incelenmiştir. Simülasyon sonucu elde edilen potansiyel dağılımı ve elektrik alan değişimi sırasıyla Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 'da verilmektedir. Ayrıcı çap değeri ve hava boşluklarının izolatör üzerindeki konumu da Şekil 5.7 'de gösterilmektedir.

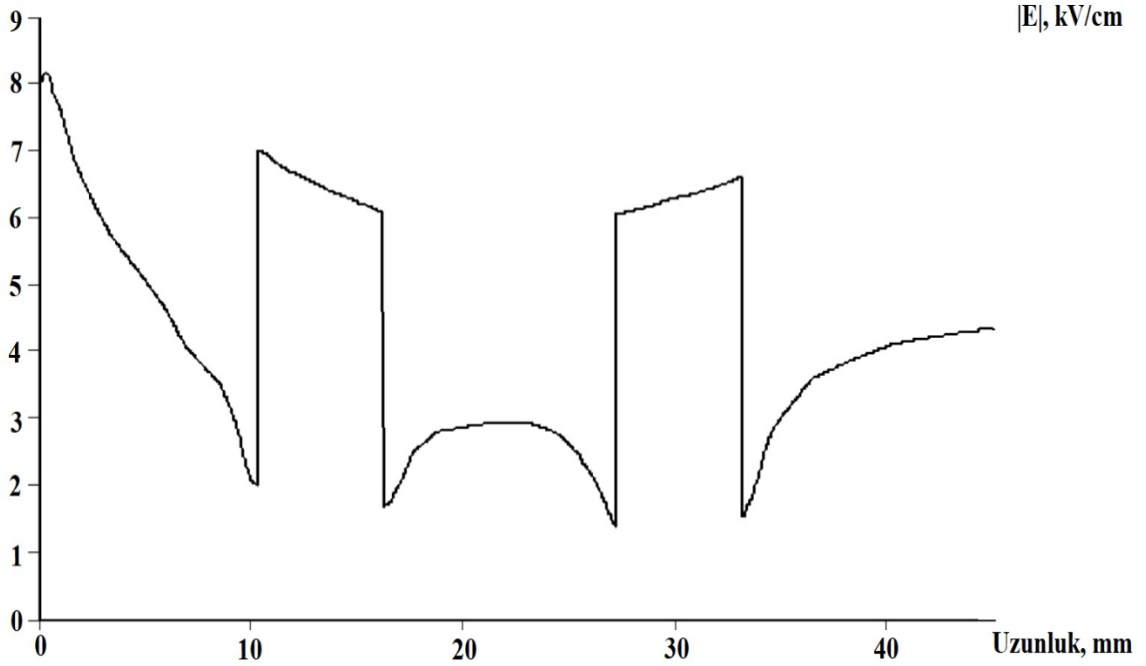


Şekil 5.7: İzolatör içinde 2 adet 6 mm çaplı hava boşluk konumları ve çap ölçüsü.

Şekil 5.9 'dan görüleceği üzere, elektrik alan iletkene yakın kısımda 8 kV/cm iken izolatörün içine doğru azalmakta, ilk ve ikinci boşlukta ani bir sıçrama göstererek takriben 6,5-7 kV/cm değerlerine ulaşmakta, ikinci boşluk ile pim demiri arasında maksimum 4 kV/cm civarında değer almaktadır.



Şekil 5.8: 6 mm çaplı 2 adet boşluk durumunda potansiyel dağılımı.



Şekil 5.9: Şekil 5.8 'de gösterilen çizgi üzerindeki elektrik alan değişimi.

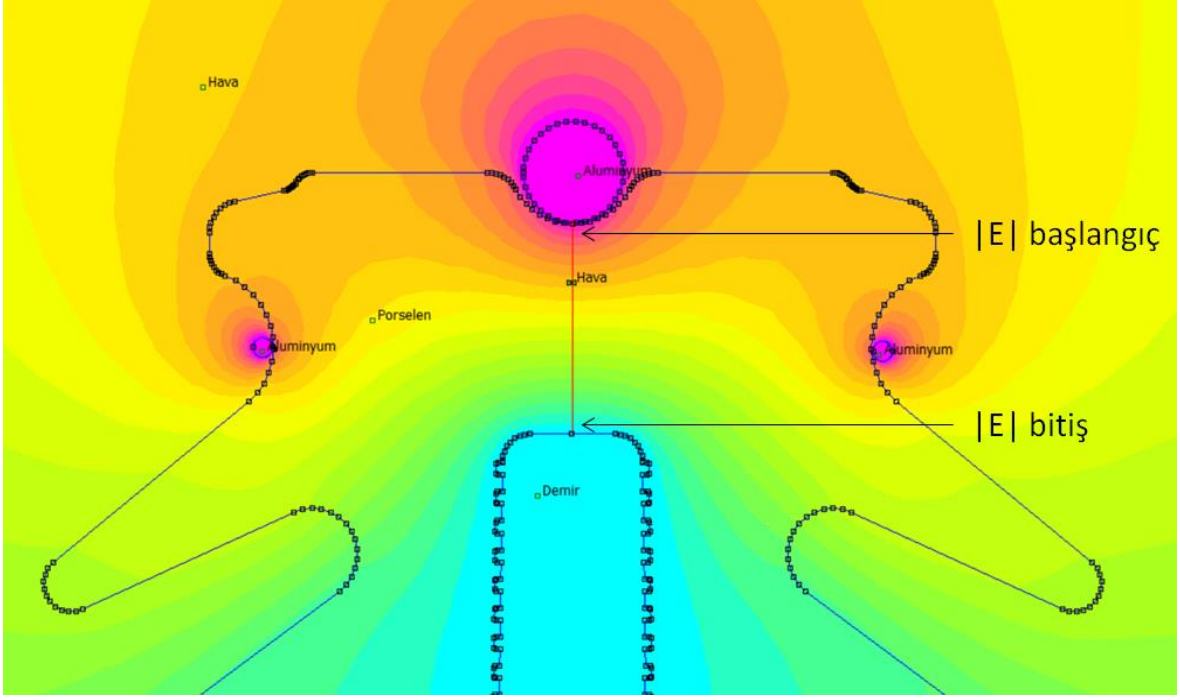
İmalat esnasındaki hatalardan kaynaklı hava boşluklarının mevcut olabileceği bu incelemelerden görüleceği gibi, aynı merkezdeki hava boşluğunun çapının değişimi boşluk

içindeki elektrik alan değerini çok fazla değiştirmemekte, birden fazla aynı çapta hava boşluğu mevcut olması durumunda ise iletkeneye yakın kısımdaki elektrik alan değerinin nispeten biraz daha fazla olduğu görülmektedir. Hava boşluğu çap ve yer değişimlerinin, havanın delinme dayanımı ortalama olarak 30 kV/cm [42] olduğu dikkate alındığında deşarj olayının yaşanmasına neden olmayacağı anlaşılmaktadır.

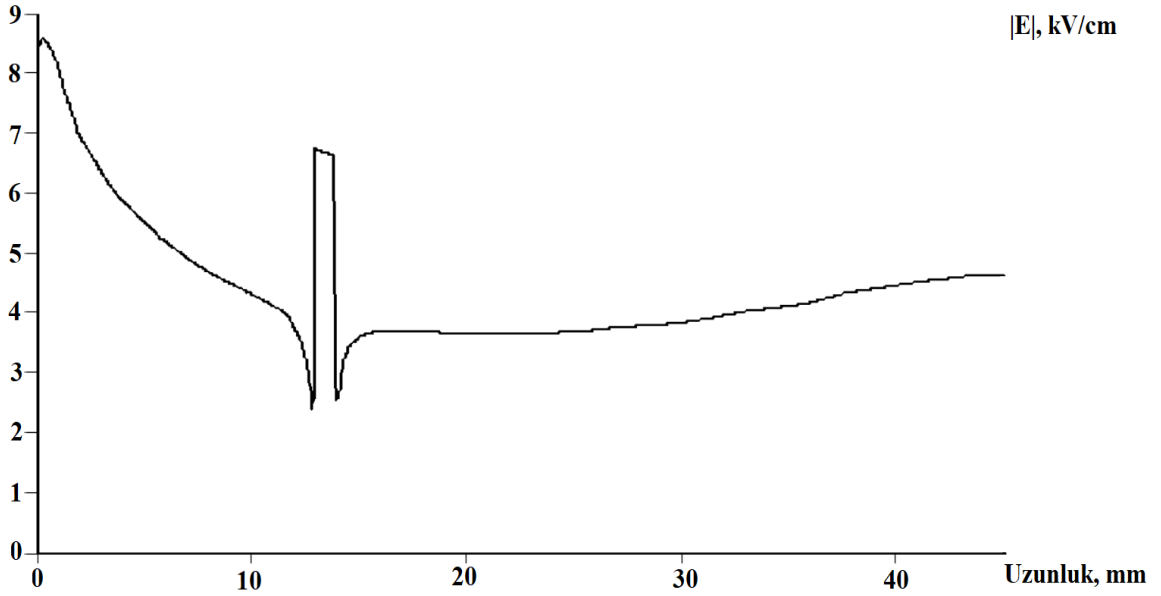
Kısmi deşarj oluşumu esnasında, kısmi deşarjin olduğu lokal bölgede ani şekilde yük akışı, diğer bir ifadeyle zamana göre hızlı şekilde artan bir akım oluşacağı için, elektrik alan şiddetinin düşmesi ve sonrasında boşluklu yapıdan çıkıldığı yerde de elektrik alan şiddetinin büyük bir oranda arttığı literatürde sunulmaktadır [32]. Hava boşluğu çapları simülasyonda mümkün olduğunca küçültülmesine veya büyültülmesine rağmen, sis tipi VHD-35 izolatör içinde mevcut olabilecek hava boşluklarının kısmi deşarja neden olabileceğine dair bir bulguya ulaşılamamıştır. İzolatör içinde hava boşlukları olmasının en büyük sorununun mekanik dayanımını azaltması olacağı dikkate alınmalıdır. Nitekim izolatör civarında ağaç teması ve kuş çarpması neticesinde oluşan ark, mekanik dayanımın zayıf olduğu kısımlarda izolatörün tahrip olmasına neden olabilecektir.

5.2.2 Boşluk yerinin elektrik alan üzerine etkisi

Çalışmanın bu kısmında sabit hava boşluğunun izolatördeki farklı konumlarının elektrik alan değişimleri üzerine etkisi incelenmektedir. Öncelikle akım taşıyan iletkenin 13 mm uzaklıkta 1 mm çapındaki hava boşluğunun potansiyel dağılımı (Şekil 5.10) ve elektrik alan değişimi (Şekil 5.11) elde edilmiştir.



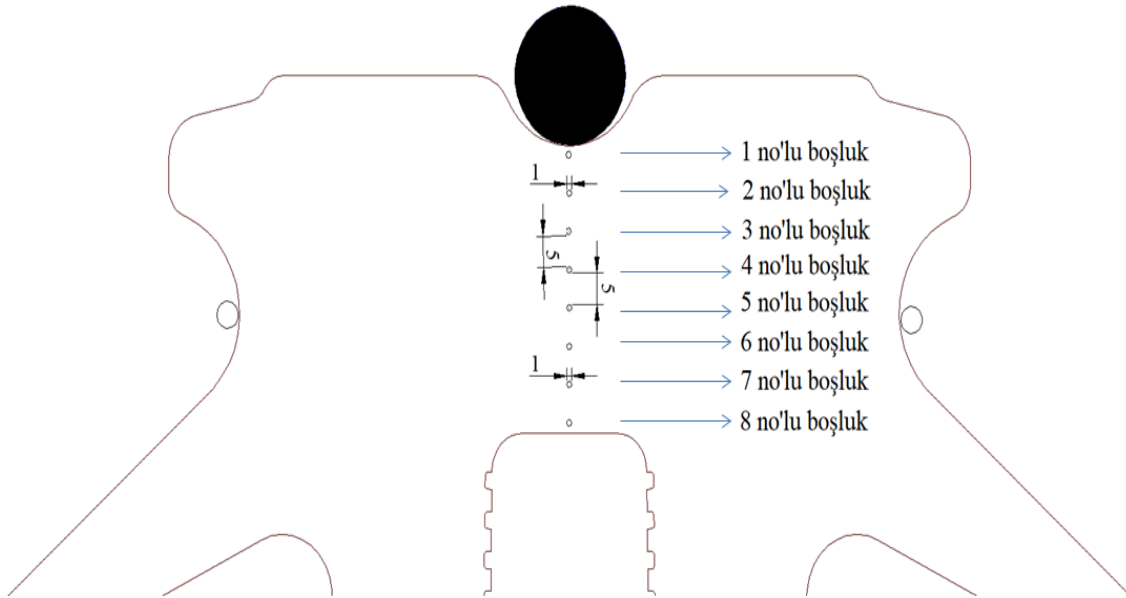
Şekil 5.10: İletkenden 13 mm uzaklıkta 1 mm çapında hava boşluğu durumunda potansiyel dağılımı.



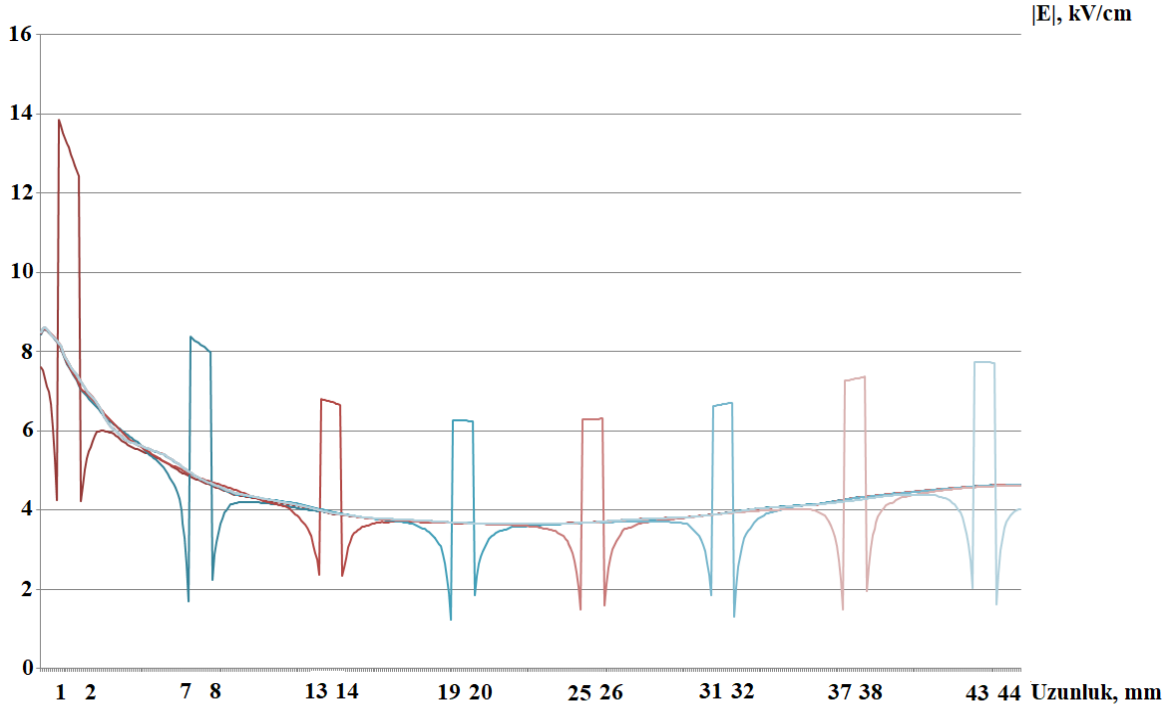
Şekil 5.11: İletkenden 13 mm uzaklıkta 1 mm çapında hava boşluğu durumunda elektrik alan değişimi.

Elektrik alan değeri hava boşluğu öncesinde 2,4 kV/cm değerine düşerken, boşluk içinde 6,8 kV/cm değerine ulaşmaktadır. Elektrik alan değerinin boşluk öncesindeki büyük düşüşü Kaynak-32 'de tanımlanan kısmi deşarj öncesi durumla aynıdır.

Akım taşıyan iletkenin 1 mm sonra, sabit 1 mm çaplı 8 adet boşluğun 5 mm aralıklarla sırasıyla mevcut olmasına ilişkin diziliş konumları Şekil 5.12'de görülmektedir. Çalışma hazırlanırken her 1 adet 1 mm boşluk farklı konumlarda izolatörde sadece 1 adet boşluk olacak şekilde simüle edilmiştir. Bu simülasyondan alınan toplu grafiklerden de (Şekil 5.13) görüleceği üzere sabit 1 mm çaplı hava boşluğu için boşluk öncesi ani elektrik alan şiddeti düşüşü mevcutken boşluk içinde hepsinde de ani bir yükseliş mevcuttur.

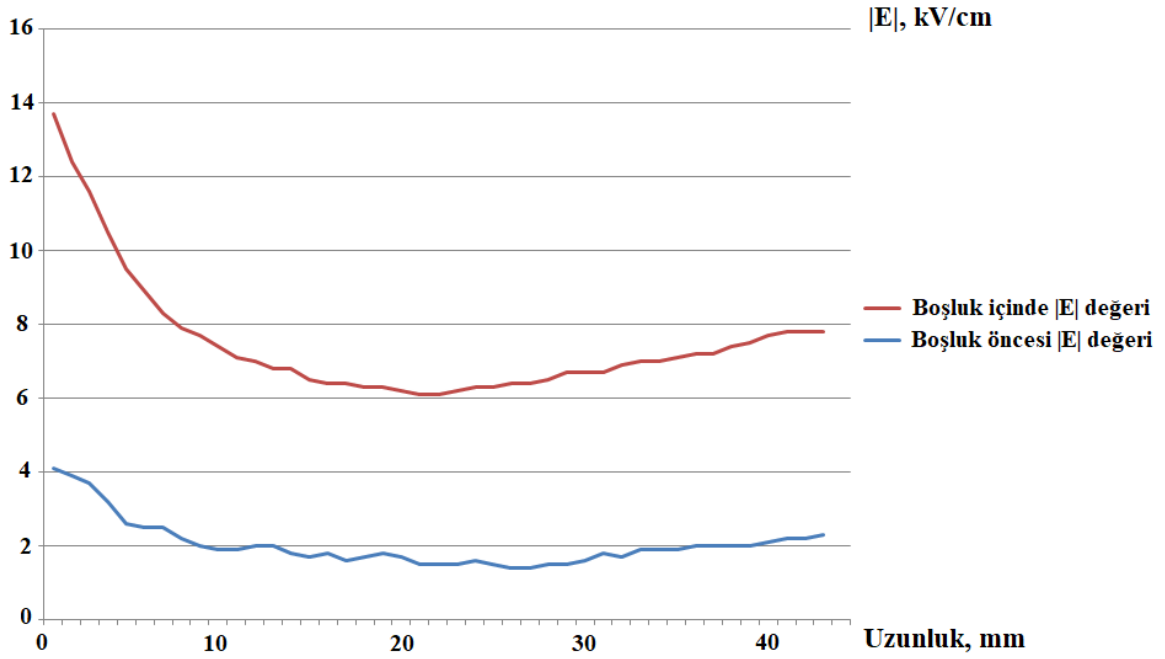


Şekil 5.12: 8 adet 1 mm çaplı hava boşluklarının iletkenin pim demirine doğru 5 mm aralıklarla kaydırılması durumundaki hava boşluk konumları ve çap ölçüsü.



Şekil 5.13: 1 mm çaplı hava boşlukların iletken den pim demirine doğru 5 mm aralıklarla kaydırılması durumları için elektrik alan şiddeti değişimleri.

Akım taşıyan iletken den 1 mm sonra 1 mm çaplı boşluğun 1 mm aralıklarla sırasıyla mevcut olmasına ilişkin hava boşluğu içinde ve öncesindeki değişimleri Şekil 5.14 'de verilmektedir. Bu değişimlerden görüleceği üzere iletkene yakın kısımda boşluk içindeki elektrik alan değeri en yüksek iken orta kısımlara doğru azalmakta pim demirine doğru ise tekrar artmaktadır.



Şekil 5.14: 1 mm çaplı hava boşlukların iletken pime doğru 1 mm aralıklarla kaydırılması durumlarında boşluk öncesi ve boşluk içinde elektrik alan şiddeti değişimleri.

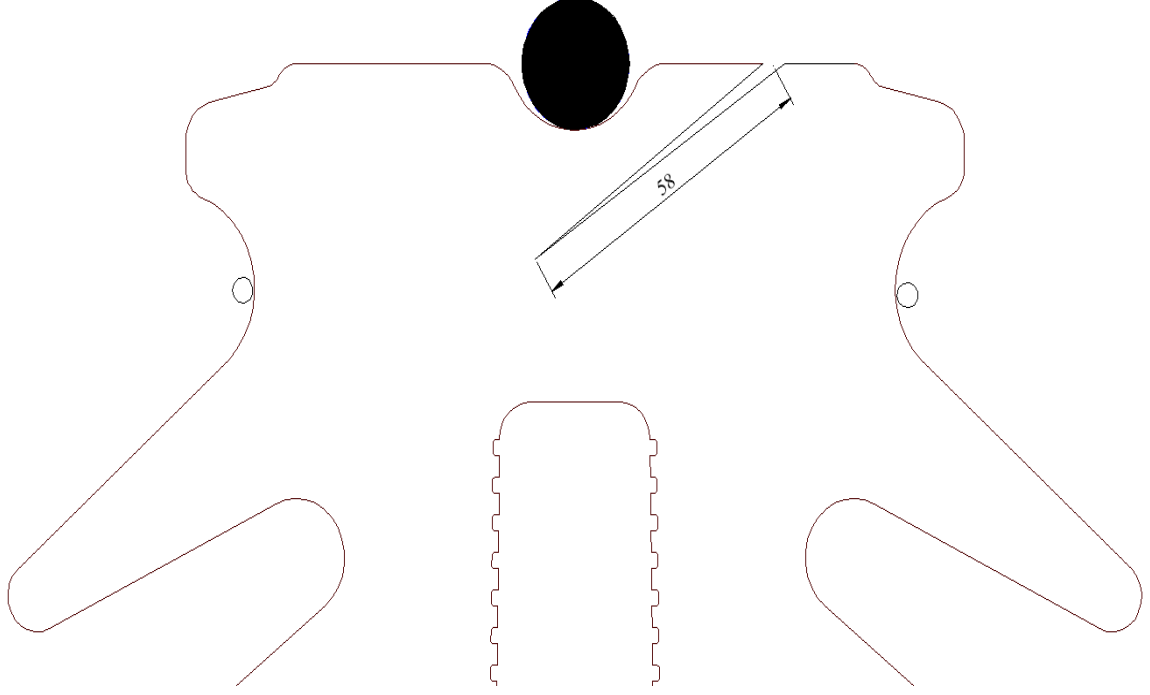
Bu değişimlerden anlaşılacağı üzere, boşluk yeri değişiminin elektrik alan şiddeti genliklerini etkilediği, özellikle iletkene yakın kısımlardaki hava boşluğunun izolatörü daha fazla zorladığı, orta kısımlarda zorlamanın azaldığı, pim demirine doğru ise kısmen arttığı görülmektedir.

5.3 Çatlaklı İzolatör Elektrik Alan Dağılımının İncelenmesi

Şekil 3.6, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 'da sahada gözlemlenen çeşitli izolatör arızalarının fotoğrafları verilmişti. İzolatörlere olan fiziksel temaslar (kuş vs.) veya yıldırım sonucu oluşan arkın izolatörlerde bu tahribatlara neden olabileceği düşünülmektedir. Bu tahribatlar sonrasında izolatör içlerinde çeşitli çatlaklar oluşması muhtemeldir.

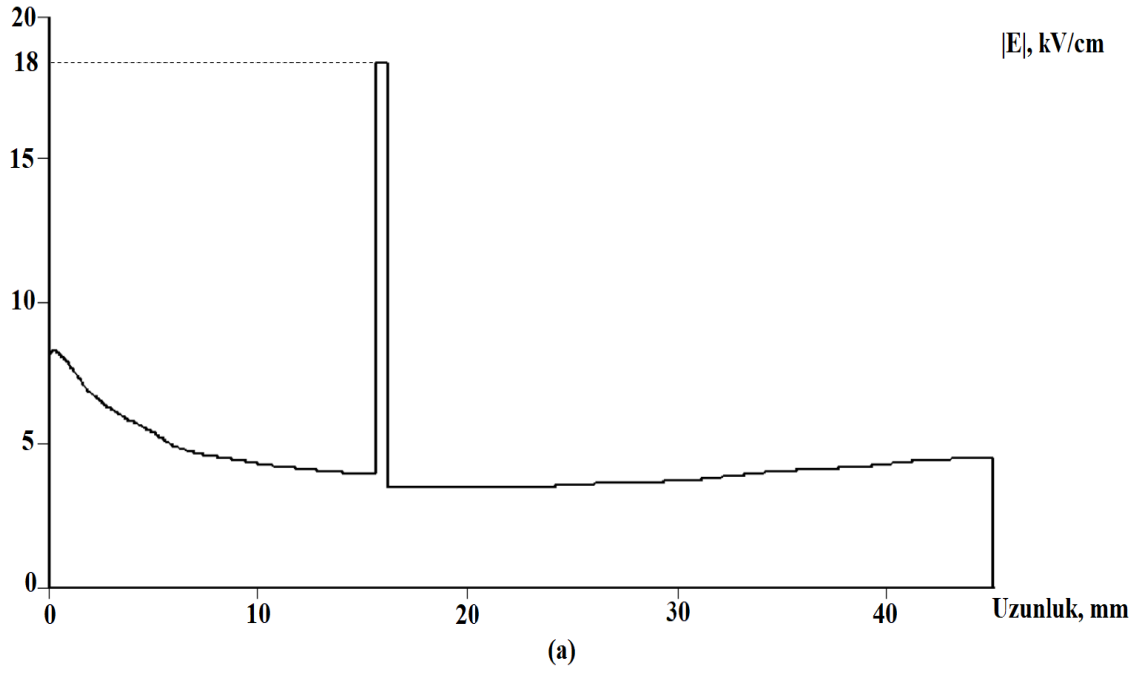
Oluşan bu çatlaklara havadaki tozların dolması, yağmur esnasında su dolması ve yağmur suyunun çatlak içinde tozu çamur kıvamına getirmesi mümkündür. Çalışmanın bu kısmında izolatör içinde çeşitli çatlak yapıları oluşturularak bu çatlak içinde hava, toz, su ve çamur olması durumları için potansiyel dağılımları ve elektrik alan değişimleri incelenmiştir. Dielektrik katsayıları toz için 4, su için 80 ve çamur için 23 alınmıştır [43].

İlk örneklemede, akım taşıyan iletkenin sağ tarafından pim demirine doğru 58 mm uzunluğunda bir çatlağın mevcut olması durumu incelenmiştir (Şekil 5.15).

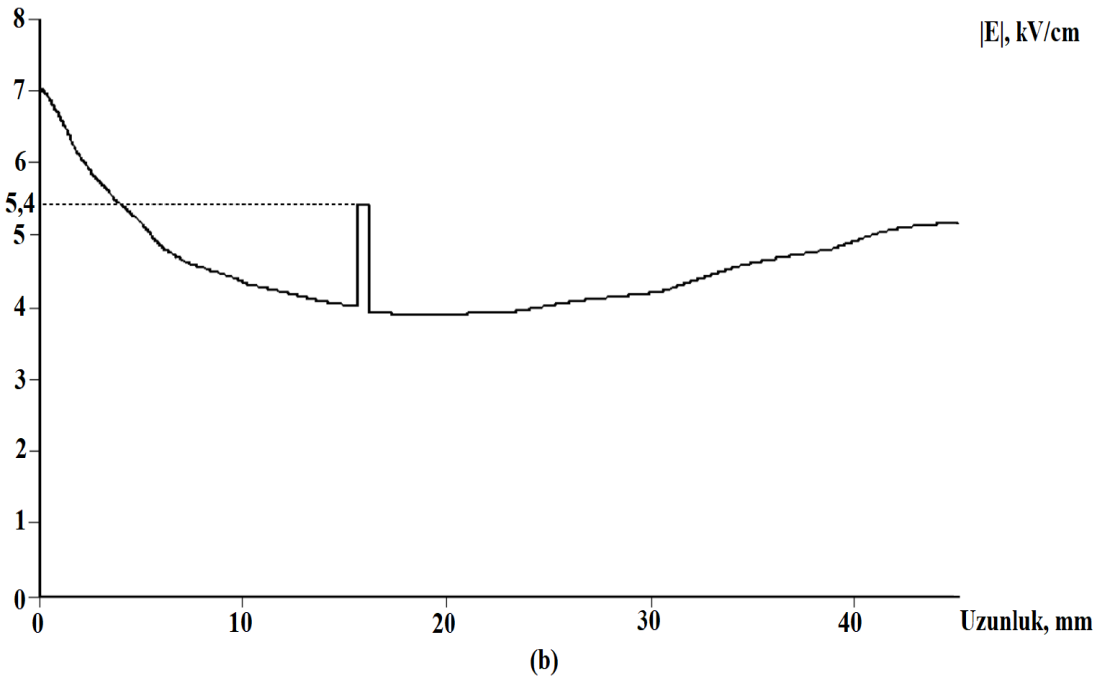


Şekil 5.15: İçinde toz olan 58 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde çatlak konumu ve derinlik ölçüsü.

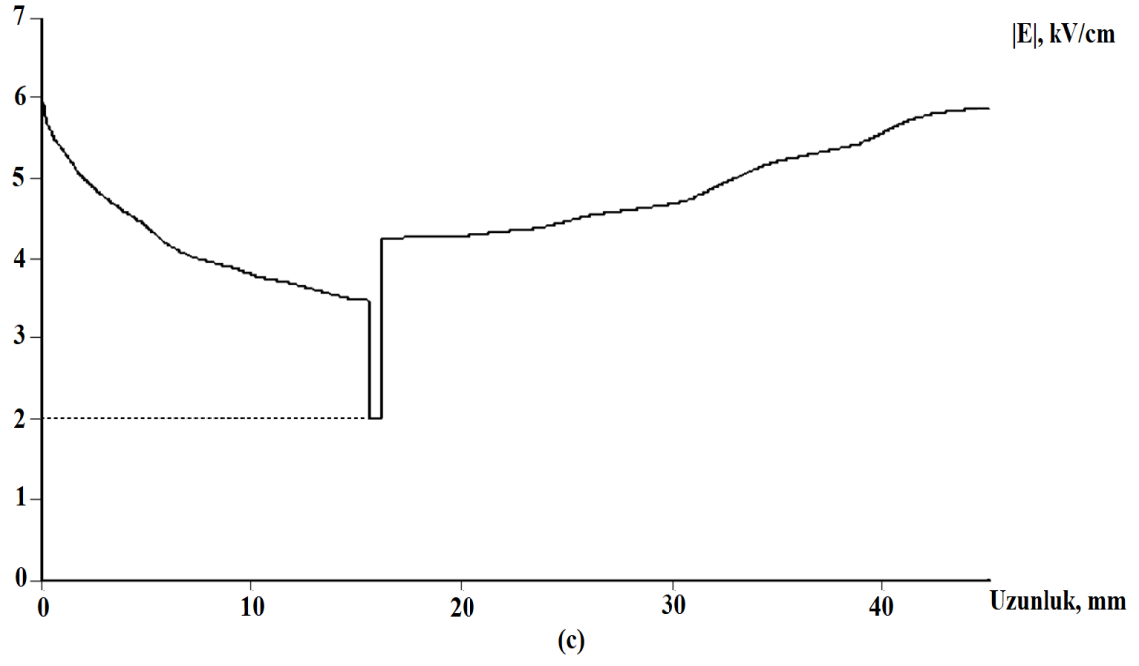
Çatlak içinde toz olması durumunda potansiyel dağılımı Şekil 5.16 'da verilmektedir. Bu simülasyonda izolatör üzerinde coğrafi veya dışsal neden kaynaklı olabilecek darbeler sonrasında çatlaklık durumu göz önüne alınmıştır. Çatlaklık içinde ise hava, toz, su ve çamur gibi dış etkenler eklenerek potansiyel dağılımı ve elektrik alan değişimi gözlemlenmiştir.



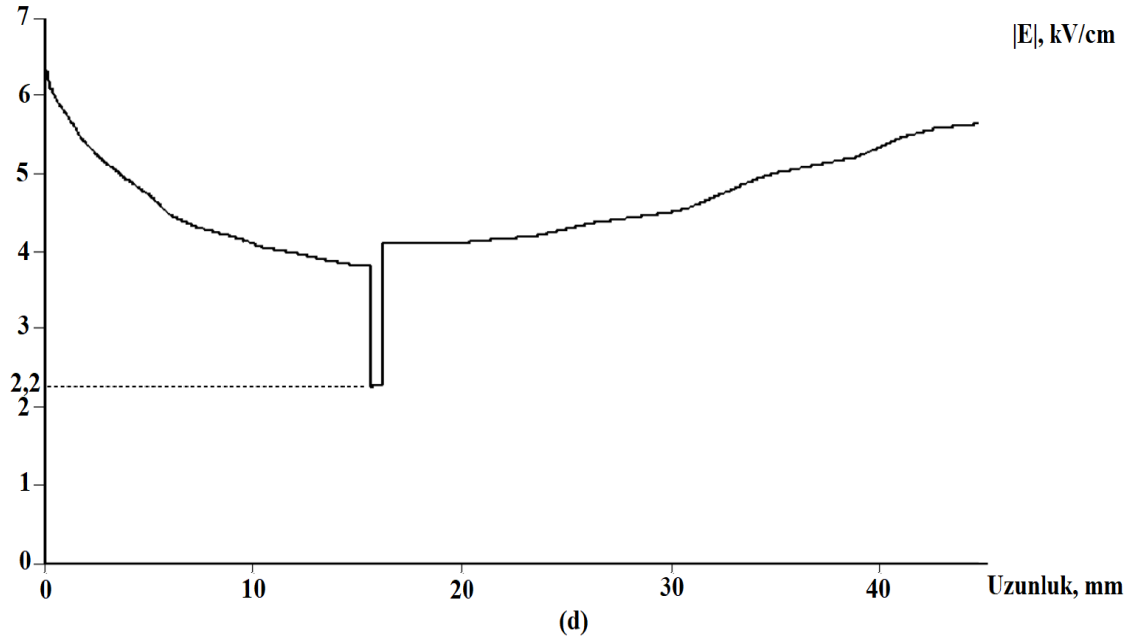
Şekil 5.17: 58 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (hava).



Şekil 5.18: 58 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (toz).



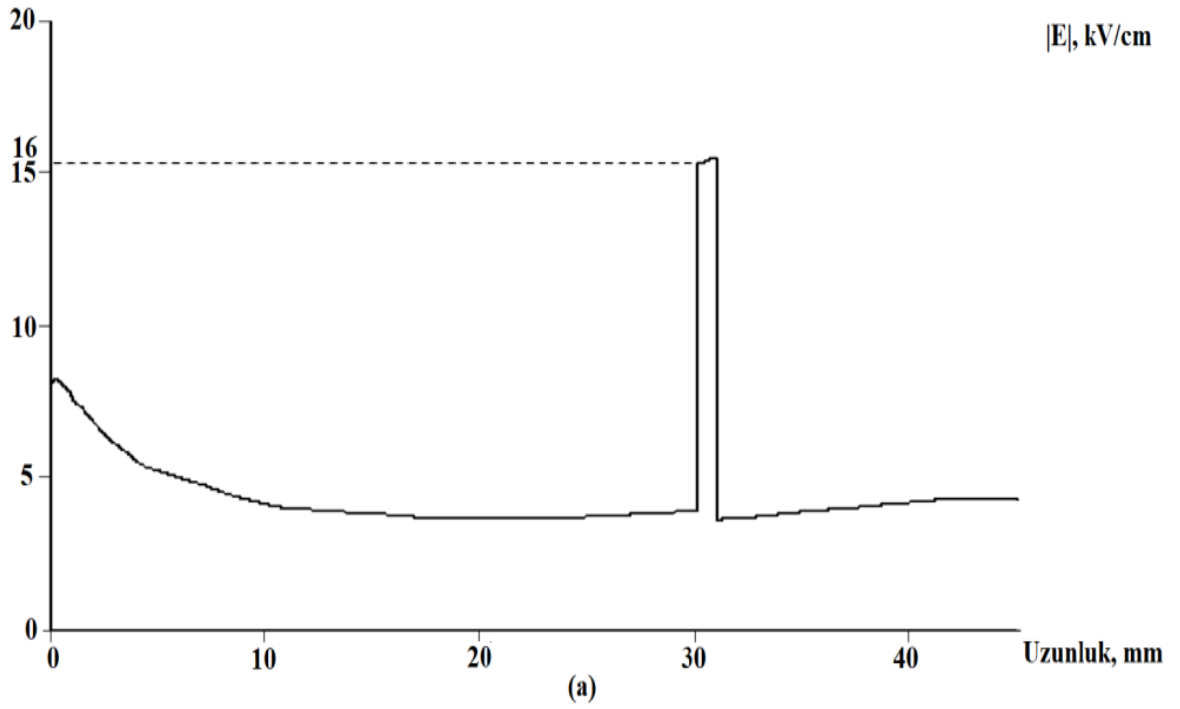
Şekil 5.19: 58 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (su).



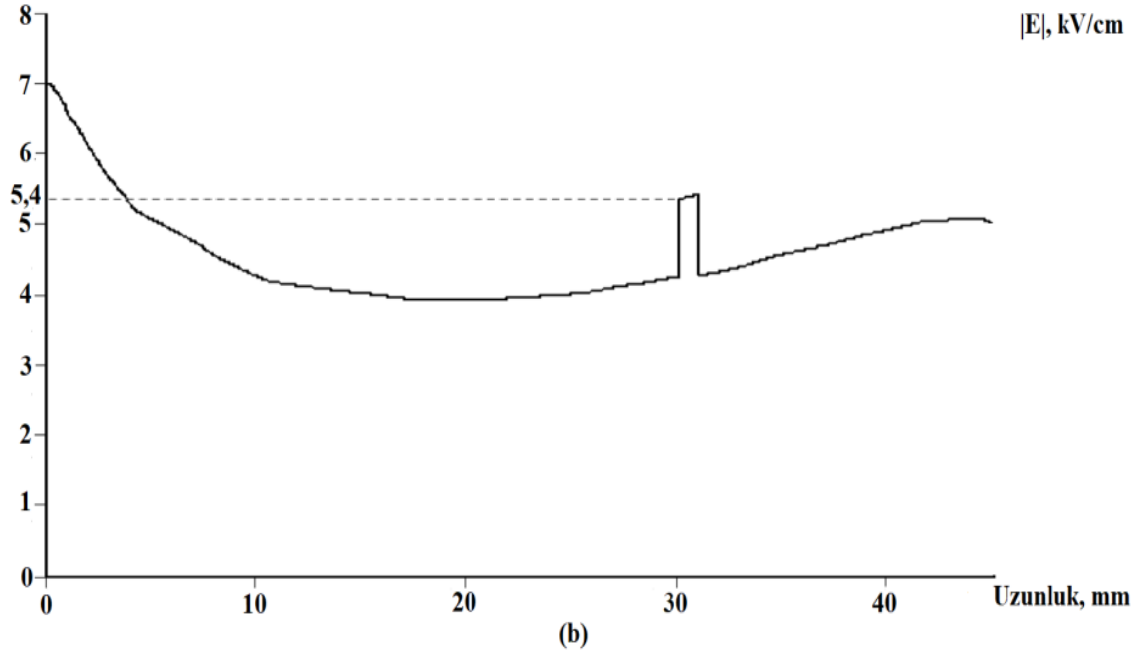
Şekil 5.20: 58 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (çamur).

İzolatör üzerindeki çatlakta hava olması durumu Şekil 5.23’de, toz olması durumu Şekil 5.24 ’de, su olması durumu Şekil 5.25 ’de ve çamur olması durumuna ait elektrik alan değişimi ise Şekil 5.26 ’da görülmektedir.

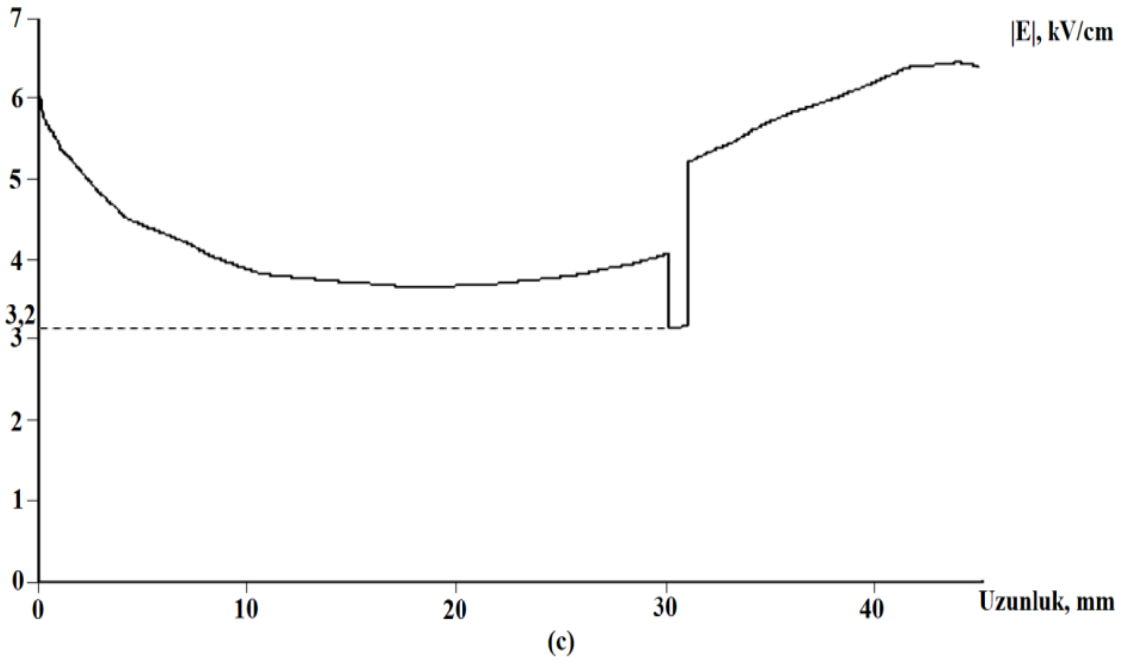
Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26 ’dan görüleceği üzere çatlaktaki elektrik alan şiddeti hava için 16 kV/cm, toz için ise 5,4 kV/cm değerine çıkmasına rağmen, su için 3,2 kV/cm, çamur için ise 3,3 kV/cm değerine düşmektedir. Bu durumda da çatlak içinde su veya çamur bulunması durumunda izolatörde kısmi deşarj oluşacağı anlaşılmaktadır.



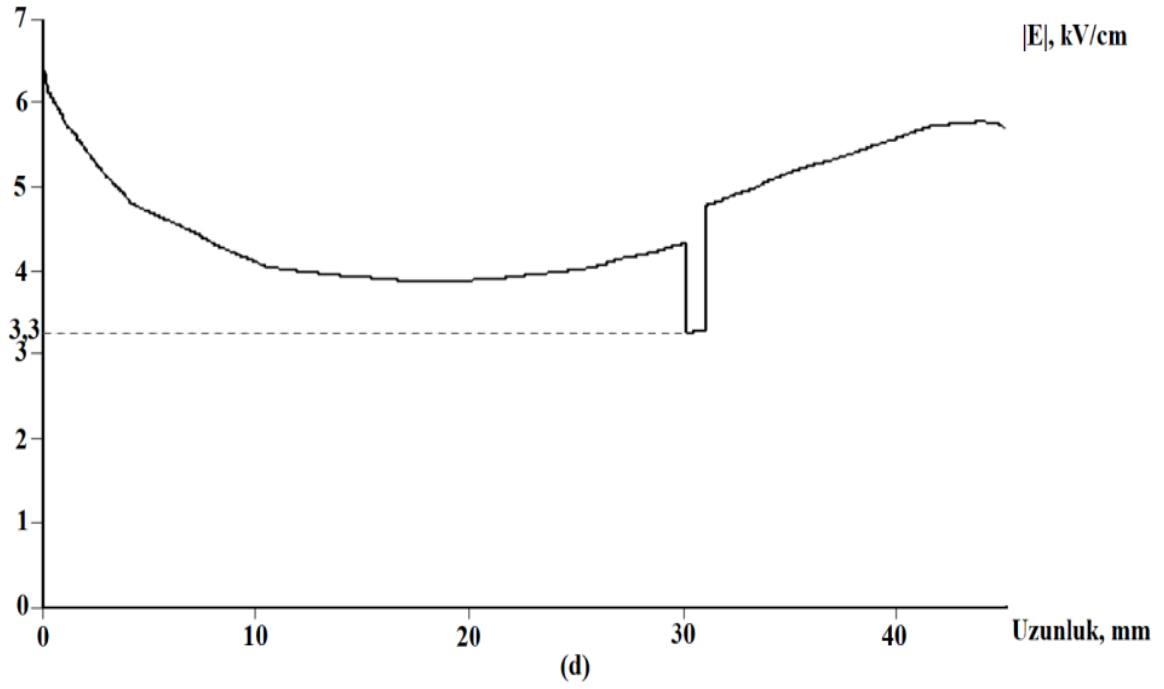
Şekil 5.23: 72 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (hava).



Şekil 5.24: 72 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (toz).



Şekil 5.25: 72 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (su).



Şekil 5.26: 72 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri (çamur).

Bu incelemelerden görüleceği üzere, çatlağın uzunluğundan daha çok, iletkene mi yoksa yalıtkana mı daha yakın olduğu çatlak içindeki elektrik alan şiddeti değerini etkilemektedir. İletkene yakın kısımlarda potansiyel değerleri daha yüksek olduğundan çatlak içindeki elektrik alan şiddeti değerlerindeki sıçramalar daha yüksek genlikli olmaktadır. Boşluk içinde, hava veya toz bulunması durumunda kısmi deşarj oluşmazken, su veya çamur bulunması durumunda ise kısmi deşarj oluşacağı görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sis tipi VHD-35 izolatörde potansiyel dağılımı ve elektrik alan değişimlerinin FEMM programı kullanılarak incelendiği bu tez çalışmasında kısmi deşarj oluşma şartları belirlenmeye çalışılmıştır. İzolatörün hasarsız durumundaki elektrik alan değişiminin incelemesi yanında, izolatör içinde farklı çaplarda hava boşluğu mevcut olmasının, hava boşluğu adedinin birden fazla olmasının ve hava boşluğunun konumunun değişiminin etkisi de incelemiştir. İzolatörde oluşan tahribat neticesinde oluşan çatlak içinde hava, toz, su ve çamur mevcut olması durumunda da kısmi deşarj oluşup oluşmadığı analiz edilmiştir.

İzolator içinde farklı çaplarda boşluk olması durumunda, hava boşluğu içinde maksimum elektrik alan değerinin çapa bağımlı olarak çok fazla değişmemesine rağmen, boşluk çapının çok fazla küçülmesi durumunda boşluk öncesi ve sonrası elektrik alan değerinde nispeten azalma olduğu görülmektedir. Birden fazla aynı çapta hava boşluğu olması durumunda ise iletkene yakın kısımdaki boşluk içindeki elektrik alan değerinin nispeten daha fazla olduğu görülmektedir. Aynı çaplı hava boşluğu yeri değişimi durumlarında, iletkene yakın kısımda hava boşluğu içinde elektrik alan değeri büyük olmasına rağmen orta kısımlarda azaldığı, pim demirine doğru ise nispeten arttığı görülmektedir. Boşluk çaplarının mümkün olduğunca büyütülmesi veya küçültülmesine rağmen izolator içindeki hava boşluğunun kısmi deşarja neden olduğuna dair bir bulguya ulaşılamamıştır.

İmalat sürecinde büyük boyutlarda hava boşlukların izolator içinde oluşması mümkün olmamasına rağmen mekanik dayanım açısından izolatorün homojen yapıda olmasının tahribatlara karşı dayanımını artıracığı açıktır. İzolatörlerde tahribat olması istenen bir durum olmamasına rağmen, fiziksel temaslar veya yıldırım esnasında oluşan ark, yüksek gerilim altında uzun süre çalışan ekipmanlarda yaşlanma kaynaklı oluşan deformasyonlar, hatalı üretim veya montaj sırasında yapılan hatalı çalışmalardan kaynaklı olarak izolatorlerin yapısında bozulmalar oluşabilmektedir. İzolatör yapısındaki bu bozulmaların kirlilik durumlarıyla beraber kısmi deşarjlara neden olması deformasyonları daha da artıracak ve yağışlı havalarda tam deşarj durumlarının oluşmasına yol açabilecektir.

Herhangi bir tahribat nedeniyle izolatorde oluşabilecek çatlak içerisine hava, toz ve su girebileceği ve sonrasında çamur formunun bu çatlak içinde yer alabileceği dikkate

alınarak yapılan simülasyon çalışmalarında ise çatlak içindeki hava ve tozun kısmi deşarja neden olmadığı ancak su (yağmur) ve çamurun kısmi deşarj neden olduğu görülmektedir. İzolatördeki deformasyonların tespit edilebilmesi için özellikle yağışlı havalarda sonrasında sahada kısmi deşarj test cihazı ile denetim yapılmasının, işletme şartlarının devamlılığı açısından önemli olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca, kuru band sonucu oluşan yüzeysel deşarjların en aza indirgenebilmesi ve bu nedenle izolatörde deformasyonlar yaşanmaması için kuru band oluşumunun yaşandığı bölgelerde izolatör temizleme çalışmalarının uygun periyotlarla devam ettirilmesinin önemli olduğu düşünülmektedir.

VHD-35 izolatörde kısmi deşarj analizi konulu yaptığımız literatür araştırmalarında, izolatörlerde boşluk ve çatlaklı yapılar için kısmi deşarj analizlerinin örneğine diğer çalışmalarda rastlanmamıştır. Bu yönüyle de tezin özgün değeri güçlenmektedir.

7. KAYNAKLAR

- [1] J.S.T. Looms , *Insulators for high voltages*, IET Power and Energy Series 7, London, 2006.
- [2] C.L. Wadhwa, *Electrical power systems*, New Age International Publishers, United Kingdom, 2006.
- [3] R. Arora and W. Mosch, *Classification of solid insulating metarials*, Wiley Publication, Canada, 2011.
- [4] M. Farzaneh and W. Chisholm, *Insulators for electric power system*, insulators for icing and polluted environments, Wiley Publication, Canada, 2009.
- [5] Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. “Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. faaliyet raporu 2018”. [Online] Erişim adresi: <https://www.uedas.com.tr/UserFiles/File/File/2018-faaliyet-raporu.pdf>. Erişim tarihi: 01.05.2020.
- [6] Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. “Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. hizmet kalitesi göstergeleri 2018”. [Online] Erişim adresi: <http://www.uedas.com.tr/sayfa.asp?mdl=sayfalar&id=123>. Erişim tarihi: 16.04.2020.
- [7] Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği. (21 Aralık 2012). *Resmi Gazete* (Sayı: 28504). [Online] Erişim adresi: <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-6740/elektrik-dagitimi-ve-perakende-satisina-iliskin-hizmet-kalitesi-yonetmeli>.
- [8] C. Beiu, C. Toader, N. Golovanov and G. Buica, “Determination of the electric field on high voltage rubber insulator using the finite element method”, *International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE)*, Craiova, Romania, pp. 1-3, 2016.
- [9] V. T. Kontargyri, I. F. Gonos and I. A. Stathopoulos, Measurement and simulation of the electric field of high voltage suspension insulators, *ETEP*, vol. 19, no:3, pp. 509-517, 2009.
- [10] B. Reddy, N. A. Sultan, P. M. Monika and B. Pooja, “ Simulation of potential and electric field for high voltage ceramic disc insulators”, *International on Industrial and Information Systems (ICIIS)*, Mangalore, India, pp. 526-531, 2010.
- [11] J. Hrastnik and J. Pihler, “Designing a new post insulator using 3-D electric-field analysis”, *IEEE TDEI*, vol. 24, no:3, pp. 1377-1381, 2009.

- [12] M. Liangi and K. L. Wong, "Study of electric field distribution on 22 kV insulator under three phase energisation", *International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM)*, Niigata, Japan, pp. 140-143, 2014.
- [13] O. Akalp, İ. Kaya ve S. B. Efe, "Yüksek gerilim teçhizatlarında dış etken kaynaklı arızaların analizi ve azaltılması", *DUMF*, cilt 7, no:1, s. 51-62, 2016.
- [14] N. A. Othman, M. A. Piah, Z. Adzis, H. Ahmad and N. A. Ahmad, "Simulation of voltage and electric-field distribution for contaminated glass insulator", *IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED)*, Putrajaya, Malaysia, pp. 116-120, 2013.
- [15] S. Chakravorti and H. Steinbigler, "Boundary element studies on insulator shape and electric field around HV insulators with or without pollution", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 7, no:2, pp. 169-176, 2000.
- [16] E. Dokur, N. F. Köse, M. Kurban ve A. Özdemir, "Hava hattı mesnet izolatörü için benzetim tabanlı elektrik alan dağılımı incelemesi", *Elektrik Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı (ELECO)*, Bursa, 2012.
- [17] D. Fahmi, L. A. Novario, Y. Negara and R. Wahyudi, "Comparative analysis of electric field distribution on glass and ceramic insulator using finite element method", *International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, Lombok, Indonesia, pp. 515-520, 2016.
- [18] M. T. Gençoğlu, "Kirlenmiş yüksek gerilim izolatörlerinin doğru akım atlama gerilimlerinin hesaplanması", *Doğu Anadolu Bölge Araştırmaları-4*, cilt 2, s. 25-31, 2003.
- [19] X. Changfu, H. Chengbo, L. Yunpeng, Z. Kaiyuan and P. Shaotong, "Influence of deteriorated porcelain insulator on electric field and potential distribution of insulators strings in 110 kV transmission lines", *IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*, Singapore, pp. 162-166, 2017.
- [20] Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. "Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. enerji nakil hatları mesnet izolatör envanteri", 2018.
- [21] C. Kocatepe, O. Arıkan, C. F. Arıkan ve O. D. Orhan "Yüksek gerilim kablolarındaki izolasyon problemlerinin elektrik alan dağılımına etkisi", *Elektrik Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı (ELECO)*, Bursa, 2012.
- [22] C. Gökçe, E. Kervan ve B. Alboyacı. "400 kV silikon izolatörler için elektrik alan dağılımlarının incelenmesi", *Güç Sistemleri Konferansı (CİGRE)*, Ankara, 2018.

- [23] G Stone, “Partial discharges in electrical insulation”, *IEEE TDEI*, [Online] Available: <http://site.ieee.org/sas-pesias/files/2016/06/Partial-Discharges-in-Electrical-Insulation.pdf>. Erişim tarihi: 01.05.2020.
- [24] J James, S.V. Kulkarni and B.R. Parekh, “Partial discharge in High Voltage Equipments- HV Cable”, *IEEE*, Harbin, China, pp. 445-448, 2009.
- [25] M. Cebeci, “Zincir İzolatörlerde Elektrik Alan Dağılımının İncelenmesi”, 1991.
- [26] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. “İzolatörler”. [Online] Erişim adresi: http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/%C4%B0zolat%C3%B6rler.pdf. Erişim tarihi: 01.05.2020.
- [27] Fırat Üniversitesi. “İzolatörler”. [Online] Erişim adresi: http://ee.tek.firat.edu.tr/sites/ee.tek.firat.edu.tr/files/Enerji%20Sistemleri_4.pdf. Erişim tarihi: 01.05.2020.
- [28] Ankara Seramik. “Ankara seramik 36 kV pin tipi izolatör VHD-35 SII (900 mm)”. [Online] Erişim adresi: <http://ankaseramik.com/1/catalogs/Pin%20Type%20Insulators.pdf>. Erişim tarihi: 01.05.2020.
- [29] J. Kuffel, E. Kuffel and W. S. Zaengl, “Kısmi deşarj ölçümleri, yüksek gerilim mühendisliği temelleri”, *TMMOB*, Ankara, 2008.
- [30] *Kablolar-yüksek gerilim deney teknikleri-kısmi deşarj ölçmeleri*, TS 2051 EN 60270, 2003.
- [31] R.E. James and Q. Su, *Condition assessment of high voltage insulation in power system equipment*, *IET Power and Energy Series*, London, 2008.
- [32] H. Illias, G. Chen and P. L. Lewin, “Modeling of partial discharge activity in spherical cavities within a dielectric material”, *IEEE Electr Insul M*, vol. 27, pp. 38-45, 2011.
- [33] M. İlkahraman, C. Özdemir, M. Yıldız ve Ö. Ünlü, “Yüksek gerilim şalt teçhizatları üzerinde meydana gelen kısmi deşarjların Ultrasonik/TEV yöntemi ile tespiti ve saha uygulamaları”, *TEİAŞ*, 2017.
- [34] Prysmian Group. “Elektriksel kısmi deşarj olayı”. [Online] Erişim adresi: <https://tr.prysmiangroup.com/tr/elektriksel-kismi-desarj-olayi>. Erişim tarihi: 01.05.2020.
- [35] İ. Kahraman, “Kısmi boşalma kalibratör yapımı”, Tübitak, 2015. [Online] Erişim adresi: http://www.ume.tubitak.gov.tr/sites/images/ume/sunu-07-pd_sunum_karaman.pdf. Erişim tarihi: 01.05.2020.

- [36] Fırat Üniversitesi, “*Mühendislik Fakültesi Yüksek Gerilim ve İzolatörlerde Kaçak Akımların Ölçülmesi Deneyi*”, 2013.
- [37] A. Rumeli, “İzolatörlerde kirlenme ve atlama problemleri”, *EMO*, cilt 156, s. 7-16, 1969.
- [38] P. Taklaja, I. Kiitam, J. Niitsoo, J. Klüss and P. Hyvönen, “Electric field distribution in glass and porcelain pin insulators”, *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Rome, Italy, pp. 267-271, 2015.
- [39] P. Unahalekhaka and K. Sirichunchuen, “ Influence of electric field distribution along the line post and pin post insulator due to lightning strike”, *GMSARN International Journal*, vol. 11, no:1, pp. 23-27, 2017.
- [40] Öznur Kablo, “Örgülü Alüminyum Çelik Özlü İletkenler”, [Online] Erişim adresi: <https://www.oznurkablo.com.tr/urunler/aluminyum-havai-hat-iletkenleri/orgulu-aluminyum-celik-ozlu-iletkenler-acsr>. Erişim tarihi: 01.05.2020.
- [41] S. Mohyuddin, “Simulation and analysis of electric-field distribution on porcelain disc insulators under dry and clean conditions using finite element method”, *IJSTE*, vol. 3, pp. 541-546, 2016.
- [42] L. G. Britton, *Avoiding static ignition hazards in chemical operations: a CCPS concept book*, vol. 20, John Wiley and Sons, pp. 37, 2010.
- [43] M. Mukhlisin, A. Saputra, A. El-Shafie and M. R. Taha, “Measurement of dynamic soil water content based on electrochemical capacitance tomography”, *INT J ELECTROCHEM SC*, vol. 7, pp. 5457-5466, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : YASİN ASLAN

Doğum tarihi ve yeri : 08.05.1985 BERLİN

e-posta : yaslan@uedas.com.tr

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Atılım Üniversitesi/İşletme Yönetimi	2014
Lisans	Başkent Üniversitesi/Elektrik Elektronik Mühendisliği	2009
Lise	İzmir Türk Koleji	2004