



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Dağıtım sistemlerinde kullanılan sis tipi VHD-35 pin izolatörün sonlu elemanlar yöntemi temelli kısmi deşarj analizi

Finite elements method based partial discharge analysis of fog type VHD-35 pin insulator used at distribution systems

Yazar(lar) (Author(s)): Yasin ASLAN¹, Seyit Ahmet SİS², Mehmet Kubilay EKER³

*ORCID*¹: 0000-0003-1872-2282

*ORCID*²: 0000-0002-3740-2391

*ORCID*³: 0000-0002-0001-7131

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Aslan Y., Sis S. A. ve Eker M. K., “Dağıtım sistemlerinde kullanılan sis tipi VHD-35 pin izolatörün sonlu elemanlar yöntemi temelli kısmi deşarj analizi”, *Politeknik Dergisi*, 24(4):1499-1510,(2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.724202

Dağıtım Sistemlerinde Kullanılan Sis Tipi VHD-35 Pin İzolatörün Sonlu Elemanlar Yöntemi Temelli Kısmi Deşarj Analizi

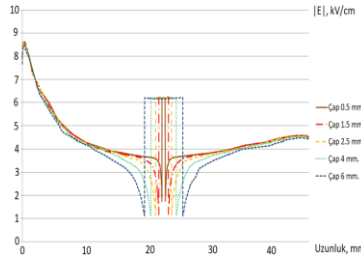
Finite Elements Method Based Partial Discharge Analysis of Fog Type VHD-35 Pin Insulator Used at Distribution Systems

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ VHD-35 izolatör saha arıza örnekleri(TR) /Failure examples of VHD-35 insulator in the field(EN)
- ❖ VHD-35 izolatörde hava boşlukların kısmi deşarj oluşumuna etkisi(TR) /Effect of air cavities on partial discharge at VHD-35 insulator(EN)
- ❖ VHD-35 izolatörde çatlak içinde materyallerin kısmi deşarj oluşumuna etkisi(TR) / Effect of materials in the crack on partial discharge at VHD-35 insulator(EN)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Sonlu elemanlar yöntemi temelli yazılım kullanılarak, simülasyonlarla VHD-35 sis tipi izolatörler için elektrik alan değişimleri elde edilerek kısmi deşarj analizleri gerçekleştirilmiştir.(TR) / Partial discharge analysis were carried out by obtaining electric field changes for VHD-35 fog type insulators by using software based finite element method.(EN)



Şekil. Aynı merkezli farklı çaplı hava boşluklarında elektrik alan değişimi / **Figure.** Electric field change in different diameter air spaces at the same center

Amaç (Aim)

Bu çalışmada, hangi durumlarda izolatörde kısmi deşarj oluşup oluşmadığının anlaşılması amaçlanmaktadır. / The goal of this work is to understand under which conditions partial discharge occurs at insulator.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Ücretsiz elektrik alan sayısal çözümleme programı FEMM kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. / A free numeric electric field solver, FEMM, is utilized in simulations.

Özgünlük (Originality)

İzolatörlerde boşluk ve çatlaklı yapılar için kısmi deşarj analizlerinin örneğine diğer çalışmalarda rastlanmamıştır. / The examples of partial discharge analysis for the gap and cracked structure in insulators have not been found in other studies.

Bulgular (Findings)

VHD-35 izolatörde imalat esnasında oluşabilecek hava boşlukları kısmi deşarj oluşumuna neden olmamaktadır. İzolatörde çatlaklar oluşması durumunda, çatlak içindeki sıvı maddeler kısmi deşarja neden olmaktadır. İzolatör içindeki boşluk çapının büyüklüğü elektrik alan değerini etkilememektedir. / The air gaps that may occur during manufacturing in the VHD-35 insulator do not cause partial discharge formation. In case of cracks in the insulator, liquid materials cause partial discharge inside the crack. The size of the gap diameter in the insulator does not change the electric field.

Sonuç (Conclusion)

İzolatörlerde kısmi deşarja neden olabilecek durumların, imalat hatalarından daha çok sahada karşılaşılan problemler sonucu oluşması muhtemeldir. / It is possible that the situations that may cause partial discharge in the insulators are the result of problems encountered in the field rather than manufacturing errors.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Dağıtım Sistemlerinde Kullanılan Sis Tipi VHD-35 Pin İzolatörün Sonlu Elemanlar Yöntemi Temelli Kısmi Deşarj Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Yasin ASLAN^{1*}, Seyit Ahmet SİS², Mehmet Kubilay EKER²

¹UEDAŞ Bandırma İşletme Müdürlüğü, Balıkesir, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 24.04.2020 ; Kabul/Accepted : 10.07.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 16.07.2020)

ÖZ

Bu çalışmada, ülkemizde dağıtım sistemlerinde sıklıkla kullanılan VHD-35 pin tipi izolatörler için sahada kısmi deşarj oluşumları tespit edildikten sonra, sis tipi VHD-35 izolatörün elektrik alan değişimleri dikkate alınarak kısmi deşarj oluşumları analiz edilmiştir. FEMM (Sonlu Elemanlar Yöntemi) 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 olmayacağına 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 Kelimeler: Kısmi deşarj, izolatörde elektriksel alan değişimi, izolatörlerde kirlilik.

Finite Elements Method Based Partial Discharge Analysis of Fog Type VHD-35 Pin Insulator Used at Distribution Systems

ABSTRACT

In this work, partial discharge occurrence 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 (Finite Element Method Magnetics). 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 simulations results show that water and mug filled cracks cause a partial discharge in the insulator.

Keywords: Partial discharge, electric field at insulators, contamination on insulators.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Havai hatlar üzerinden enerjinin taşındığı iletim ve dağıtım sistemlerinde en önemli sorun, iletkenlerin kısa devreye maruz kalmasıdır. Enerji nakil direklerinde iletkenlerin taşınması ve yalıtım izolatörler aracılığıyla yapılmaktadır. 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. (UEDAŞ) 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

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : yaslan@uedas.com.tr

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 çalışması 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 eşpotansiyel 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 yüksek gerilim 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 yalıtımlı izolatörün yüzeysel deşarjlar açısından daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır [16]. Cam ve seramik izolatördeki elektrik alan dağılımları, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak normal koşullar, kirlilik durumu ve çatlaklı durum için benzetimi sonlu elemanlar yöntemiyle incelenen çalışmada, seramik izolatörde elektrik alan dağılımının cam izolatöre göre daha yüksek olduğu, kirlilik ve çatlakın 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, sis tipi VHD-35 izolatördeki boşluk ve çatlak durumlarında elektrik alan dağılımları incelenmekte ve kısmi deşarj analizi yapılmaktadır.

2. KISMİ DEŞARJ OLUŞUMU, TESPİT YÖNTEMLERİ VE SAHA ÖRNEKLERİ (PARTIAL DISCHARGE FORMATION, DETECTION METHODS AND FIELD EXAMPLES)

2.1. Kısmi Deşarj Oluşumu ve Tespit Yöntemleri (Partial Discharge Formation and Detection Methods in Insulators)

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 [21]. 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 etkisiyle beraber olduğu bilinmektedir [22]. 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 [23].

Yapılan bir çalışmada, silindirik yapıda homojen dağılımlı epoksi reçinenin orta kısmına küresel yapıyla 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 [24].

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 [25]. Dağıtım şirketleri tarafından ses ve termal analiz yöntemleri kullanılarak izolatörlerde kısmi deşarj tespitleri yapılabilmektedir. Ses analizi yapan kısmi deşarj tespit cihazı sıklıkla kullanılmakta olup, bu yöntemle birçok arızanın nedeni

belirlenebilmekte ve kesinti süreleri en aza indirgenebilmektedir.

2.2. Sahada Meydana Gelen İzolator Tespitli Kısmi Deşarjlar (Partial Discharges Occuring from Insulator at Fields)

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 çözüme noktasında saha çalışmalarında bulunmaktadır. Sahada karşılaşılan izolatörlerde kısmi deşarj oluşumlarına ilişkin 4 farklı tespit aşağıda verilmektedir.

2.2.1. Musakça Enerji Nakil Hattında Tespit Edilen Yüzeysel Kısmi Deşarj (Surface Partial Discharge Detected at Musakça Distribution System)

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 direkt görsel temas ile tespit edilen bir halkası tahribata uğramış izolatörün (Şekil 1) değişimi yapılarak sorun kalıcı olarak çözümlenmiştir. 2015 yılında yapılan Bezirci Kök-Musakça Enerji Nakil Hattındaki (ENH) proje ve etüt çalışmalarında özellikle bu iklimsel özellikler dikkate alınarak izolatör seçimlerinin sis tipi olmasına özen gösterilmiştir. İzolator tipinin sis tipi olması bu gibi hasarların oluşması sonrasında atlama mesafesinin uzaması nedeniyle kesinti sıklığını en aza düşürmektedir. İzolatordeki bu tahribatın şiddetli hava şartlarında tam deşarja neden olmasına rağmen, yağmur, nem ve sisin büyük oranda yüzeysel kısmi deşarja neden olduğu söylenebilir.



Şekil 1. Musakça enerji nakil hattında yüzeysel kısmi deşarja neden olan izolatör (Insulator causing surface partial discharge at Musakça distribution system)



Şekil 2. Çınarlı enerji nakil hattında kısmi deşarja neden olan izolatör (Insulator causing partial discharge at Çınarlı distribution system)

2.2.2. Çınarlı Enerji Nakil Hattında Tespit Edilen Kısmi Deşarj (Partial Discharge Detected at Çınarlı Distribution System)

2019 yılı Haziran ayından Balıkesir ili, Marmara İlçesi, Çınarlı Mahallesi'nde sıklıkla yaşanan enerji kesintisi şikayeti üzerine, saha görsel olarak incelenmiş ancak herhangi bir sorun tespit edilememiştir. Mahalleyi besleyen Çınarlı ENH çıkışı kesici üzerinden beslenmiş ancak hat belirli bir zaman sonra tekrar açmıştır. Röle üzerinden yapılan tespitlerde sistemin faz-toprak kısa devre arızası sebebiyle açtığı belirlenmiştir. Yapılan denemelerde, enerji nakil hattı belirli periyotlarda tekrar açma yaptığı ve kesicinin beslenmesi ile hattın enerjili hale geldiği görülmüştür.

1980'li yıllarda yapılmış olan Marmara DM-Çınarlı ENH, kısmi deşarj tespit cihazı kullanılarak tekrar incelenmiş, Çınarlı Mahallesi'ne yakın bir noktada bulunan taşıyıcı mesnet tertipli direk üzerinde orta faza ait VHD-35 izolatörde kısmi deşarj cihazı uyarı vermiştir. Yapılan müdahale esnasında sıkıbağ sökülmüş akabinde izolatör üst parçasının kırıldığı ve izolatör üzerinde derin kılcal çatlak olduğu görülmüştür (Şekil 2). Bölgenin denizlerle çevrili olması nedeniyle oluşan yüksek nem ve tuzlanmanın kısmi deşarja neden olduğu değerlendirilmiştir. 1980'li yıllarda işletmeye alınan ve ekonomik ömrünü tamamlamış olan izolatörlerin yerine sis tipi izolatörler monte edilerek bölgedeki enerji kesintileri en aza indirgenmiştir.

2.2.3. Saraylar Enerji Nakil Hattında Kuru Band Kaynaklı Kısmi Deşarj Tespiti (Partial Discharge Detection Due to Dry Band at Saraylar Distribution System)

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 oluştuğu (Şekil 3), 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. Saraylar enerji nakil hattında kuru band yüzünden kısmi deşarja neden olan izolatör (Insulator causing partial discharge as a result of a dry band at Saraylar distribution system)

2.2.4. Gündoğdu Enerji Nakil Hattında Kısmi Deşarja Neden Olan İzolatör (Insulator Causing Partial Discharge at Gündoğdu Distribution System)

Marmara İlçesi, Gündoğdu Mahallesinde 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 4). İzolatörün sis tipi VHD-35 ile değişimi sonrasında enerji nakil hattı beslenmiş ve akabinde de herhangi bir enerji kesintisi şikayeti alınmamıştır.

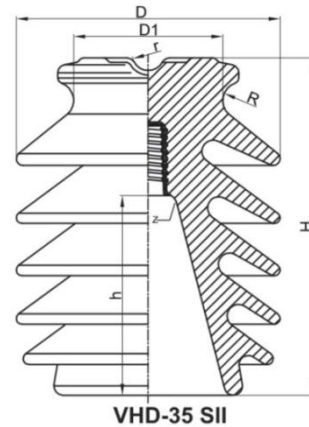


Şekil 4. Gündoğdu enerji nakil hattında kısmi deşarja neden olan izolatör (Insulator causing partial discharge at Gündoğdu distribution system)

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 karşılaşmaktadır. 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.

3. VHD-35 İZOLATÖRDE ELEKTRİK ALAN DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ (INVESTIGATION OF ELECTRIC FIELD IN THE VHD 35 INSULATOR)

Kısmi deşarj incelemesi için yüzeysel deşarjların en az olduğu sis tipi VHD-35 izolatörü seçilmiş olup, simülasyon çalışmaları FEMM 4.2 programı kullanılarak potansiyel dağılımı ve elektrik alan değişimleri elde edilerek yapılmıştır. Sis tipi VHD-35 izolatörün teknik çizimleri Şekil 5'de, boyutları ise Çizelge 1'de verilmektedir.



Şekil 5. Sis tipi VHD-35 izolatöre ait teknik çizim (VHD-35 insulator technical drawing) [26]

Çizelge 1. Sis tipi VHD-35 izolatöre ait ölçüler (VHD-35 insulator measurements data) [26]

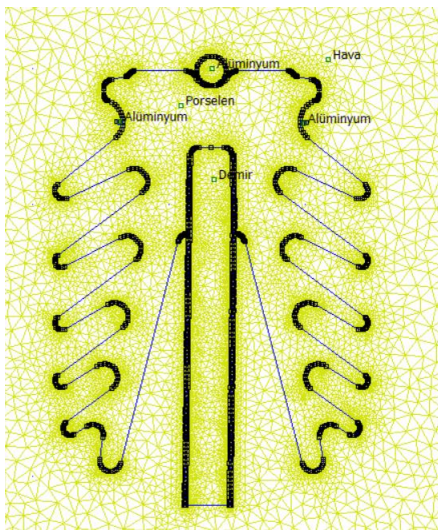
Boyut	H	h	D	D1	R	r
(mm)	295	175	230	130	16	14

Dağıtım sistemlerinde enerji akışını sağlamak için kullanılan alüminyum iletken, Şekil-5'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 6). Sıkıbağ olarak isimlendirilen bu durum montaj esnasında kolaylık sağladığından dağıtım sistemleri tarafından tercih edilmektedir. Bu bağlantı nedeniyle sadece akım taşıyan iletken değil sıkıbağ kısmında da işletme gerilimi mevcut olacaktır.



Şekil 6. İletkenin sis tipi VHD-35 izolatöre sıkıbağ ile montajı (Mounting of the conductor to the fog type VHD-35 insulator)

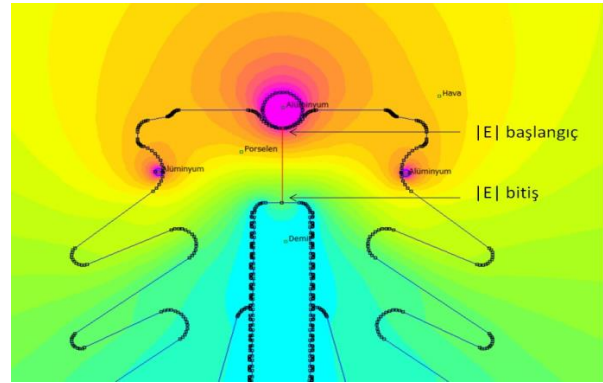
Direk üzerine yerleştirilen pim demiri, izolatörün alt kısmına monte edilerek bir mesnet oluşturmaktadır. Bağlantı elemanları da dikkate alındığında, VHD-35 izolatör modellemesinde kullanılan malzemelerin bağıl dielektrik sabiti; porselen için 6 [27], alüminyum sıkıbağ ve akım taşıyan 477 MCM kesitli çelik özlü alüminyum iletken (HAWK) iletken için 1 [28], pim demiri için 1 [28] ve dış ortam olan hava için 1 [27] 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 7) FEMM programına 2-boyutlu kesit şeklinde aktarılarak potansiyel dağılımları ve elektrik alan değişimleri elde edilmiştir.



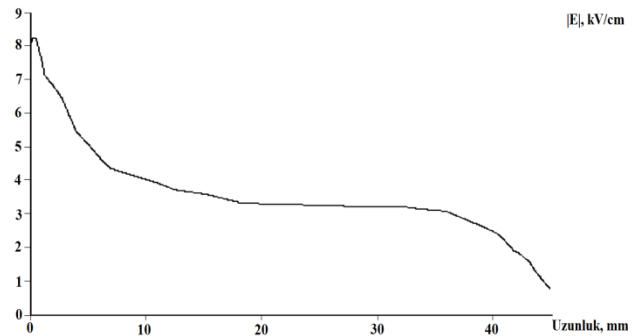
Şekil 7. Sis tipi VHD-35 izolatörün FEMM programına aktarılan kesiti (Crossection of the fog type VHD-35 insulator simulated in FEMM solver)

İletken ile pim demiri arasındaki en kısa mesafe olan hat boyunca elektrik alan değişimleri simülasyonlar da incelenerek ve izolatörün elektrik alan değeri dikkate alınarak, deşarj açısından en fazla zorlanmaya maruz kalacağı durumlar için analiz çalışmaları yapılmıştır.

İlk simülasyon çalışmasında hasarsız bir imalata sahip izolatörün potansiyel dağılımı (Şekil 8) ve iletkenle pim demiri arasındaki 45 mm uzunluğunda bir hat boyunca elektrik alan değişimi (Şekil 9) incelenmiştir. Elektrik alan değişiminin hesaplandığı bu doğrunun başlangıç ve bitiş noktaları Şekil 8'de verilmektedir. Şekil 9'da görüleceği üzere hasarsız durumda elektrik alan değişiminin maksimum değeri iletken civarında 8,1 kV/cm'dir.



Şekil 8. Hasarsız durumda potansiyel dağılımı (Potential distribution with no damage)



Şekil 9. Şekil-8'de gösterilen çizgi üzerindeki elektrik alan değişimi (Electric field variation over the line shown in figure-8)

Potansiyel dağılım grafiklerindeki renk kodlarına ait gerilim seviyeleri Çizelge 2'de görülmektedir. Yüksek gerilim uygulanan HAWK iletkeninde (20750 V) renk kodlarının koyu, pim demirine (0 V) doğru gidildikçe de renklerin açıldığı görülmektedir.

Çizelge 2. Gerilim seviyesi renk kodları (Voltage level color codes)

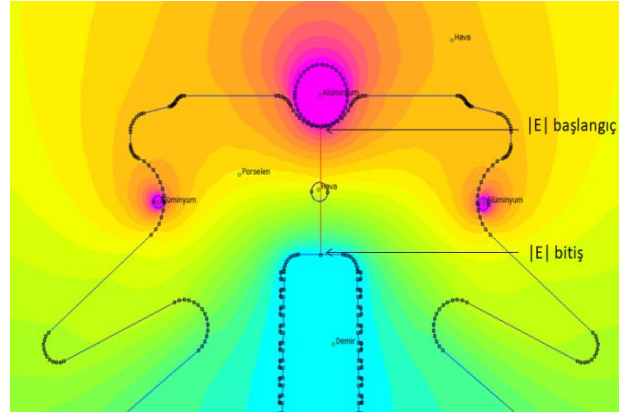
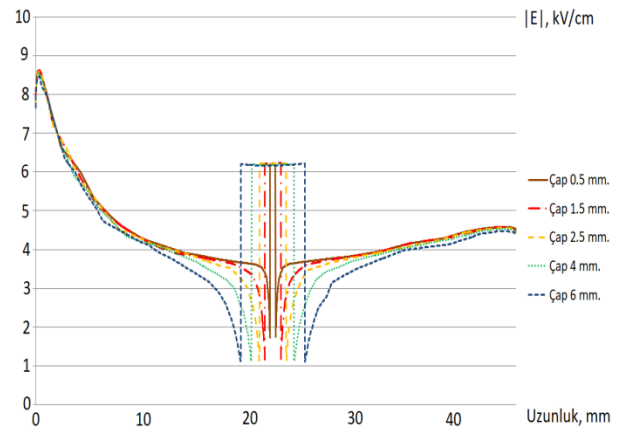
GERİLİM (V)	
19750-20750	
18710-19750	
17670-18710	
16630-17670	
15590-16630	
14550-15590	
13510-14550	
12470-13510	
11430-12470	
10390-11430	
9353-10390	
8314-9353	
7275-8314	
6236-7275	
5196-6236	
4157-5196	
3118-4157	
2079-3118	
1039-2079	
0-1039	

3.1. Boşuklu Yapılar İhtiva Eden İzolatör'ün İncelenmesi (Investigation of Insulator Containing Cavity Structures)

İzolatör imalatı aşamasında istenmeyen hava boşluklarının oluşması üretim tekniklerindeki kaliteye bağlı olarak imkân dâhilindedir. Bu çalışmada, boşluk çapının, adedinin ve yerinin elektrik alanı üzerindeki etkileri incelenerek kısmi deşarj oluşumu durumlarının simülasyon çalışmaları ile ortaya koyulabilmesi amaçlanmıştır. Yapılan bütün simülasyon çalışmalarında iletken ile pim demiri arasındaki en kısa mesafe üzerinde boşlukların mevcut olması durumları irdelenebilecek kapsamına alınmıştır. Belirlenen bu hat boyunca elektrik alan değeri en yüksek değerleri alacağından kısmi deşarj oluşma potansiyeli en yüksek kısmın burası olacağı değerlendirilmiştir.

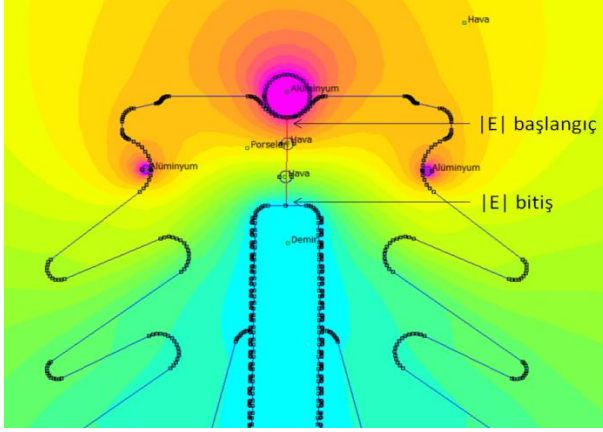
3.1.1. Boşluk Çapı ve Adedinin Elektrik Alan Üzerine Etkisi (Investigation of Cavity Diameter on Electric Field)

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 10'da verilmektedir. Aynı merkezli 0,5 mm, 1,5 mm, 2,5 mm, 4 mm ve 6 mm çaplarında 4 farklı hava boşluğunun olmasına ilişkin sabit bir çizgi üzerindeki elektrik alan değişimleri aynı grafik üzerinde Şekil 11'de görülmektedir. Bu elektrik alan değişimlerinin hesaplandığı çizgi ve çizginin başlangıç bitiş noktaları da Şekil-10'da gösterilmektedir. Şekil 11'de 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.

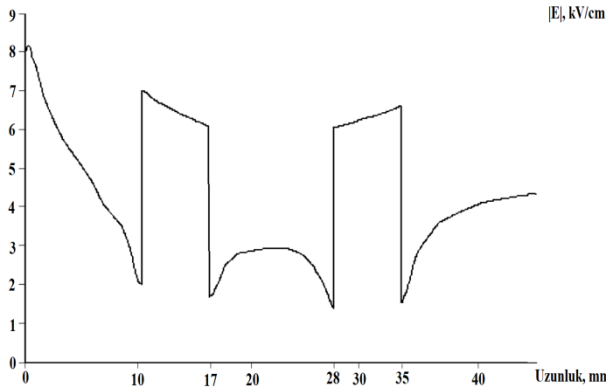
**Şekil 10.** İzolatör içinde 6 mm çaplı boşluk olması durumunda potansiyel dağılımı (Potential distribution with 6 mm diameter cavity case)**Şekil 11.** Aynı merkezli 0,5 mm, 1,5 mm, 2,5 mm, 4 mm ve 6 mm çaplı hava boşluklarında elektrik alan değişimi (Electric field over the line shown in figure-10 for cavity diameters of 0,5 mm, 1,5 mm, 2,5 mm, 4 mm and 6 mm)

0,5 mm, 1,5 mm, 2,5 mm, 4 mm ve 6 mm çaplı boşlukla için potansiyel dağılımı simülasyon çalışmaları ile elde edilmesine rağmen, potansiyel dağılımı her boşluk çapı için değişiklik göstereceğinden ve tek grafik üzerinde gösterimi mümkün olmadığından, simülasyonlarda incelenen 6 farklı boşluk için de potansiyel dağılımı grafiği makale içinde verilmesine tercih edilmemiş, en büyük boşluk çapı olan 6 mm büyüklük için dağılımı için grafik verilmesi önemsenmiştir. Deşarj analizinde elektrik alan değişimleri etkili olduğundan ve farklı çaplar için elektrik alan değişimlerinin tek bir grafik üzerinde gösterimi mümkün olduğundan, iletken ile pim demiri arasındaki en kısa mesafe olan aynı hat boyunca, aynı merkezli olmak kaydıyla boşluk çapları 0,5 mm, 1,5 mm, 2,5 mm, 4 mm ve 6 mm alınarak, farklı simülasyon çalışmaları ile elde edilen elektrik alan değişimlerinin aynı grafik üzerinde gösterimi sağlanmıştır. Şekil 11'in analiz açısından faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Böylelikle aynı merkezli boşluk çapları değişiminin elektrik alan değişimi üzerindeki etkisinin irdelenebilmesi amaçlanmıştır.

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 12 ve Şekil 13'de verilmektedir. Şekil 13'den görüleceği üzere, elektrik alan iletkenine 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 12. Boşluklar arası 9 mm olan ve 6 mm çaplı 2 adet boşluk durumunda potansiyel dağılımı (Potential distribution with two cavities, each having 6 mm diameter and a separation of 9 mm)



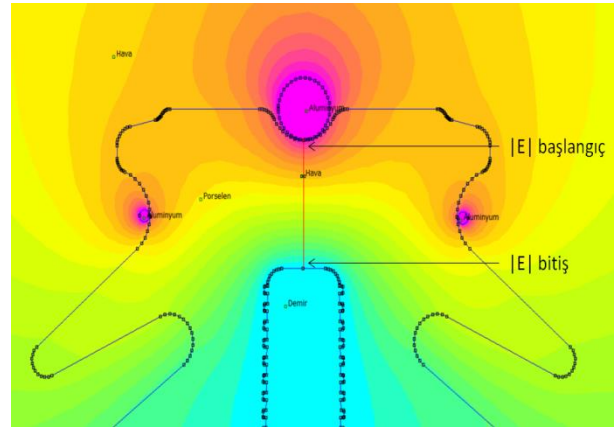
Şekil 13. Şekil 12'de gösterilen çizgi üzerindeki elektrik alan değişimi (Electric field over the line shown in figure 12)

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 iletkenine yakın kısımdaki elektrik alan değerinin nispeten biraz daha

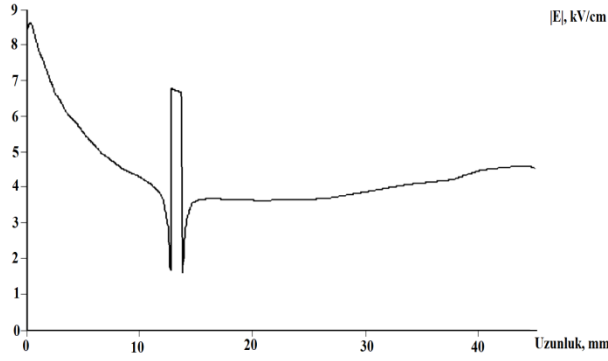
fazla olduğu görülmektedir. Hava boşluğu çap ve yer değişimlerinin, havanın delinme dayanımı ortalama olarak 30 kV/cm [29] olduğu dikkate alındığında deşarj olayının yaşanmamasına neden olmayacağı anlaşılmaktadır. Kısmi deşarj oluşumu esnasında, kısmi deşarjın olduğu lokal bölgede ani şekilde yük akışı, 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 [24]. Hava boşluğu çapları simülasyonda mümkün olduğunca küçültülmesine veya büyütülmesine 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.

3.1.2. Boşluk Yerinin Elektrik Alan Üzerine Etkisi (Investigation of Cavity Location on Electric Field)

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 14) ve elektrik alan değişimi (Şekil 15) elde edilmiştir. 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-24 'de tanımlanan kısmi deşarj öncesi durumla aynıdır.

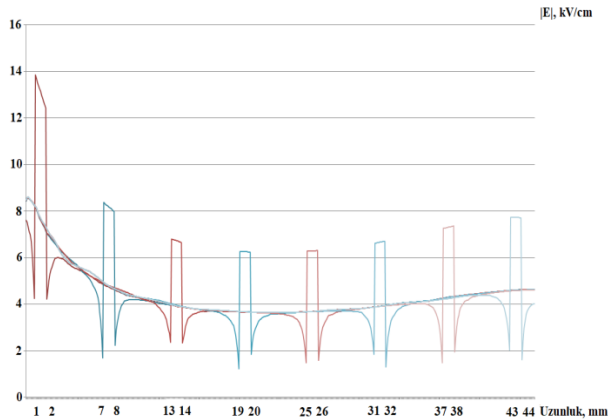


Şekil 14. İletkenin 13 mm uzaklıkta 1 mm çapında hava boşluğu durumunda potansiyel dağılımı (Potential distribution when a cavity with 1 mm diameter is placed 13 mm away from the conductor)



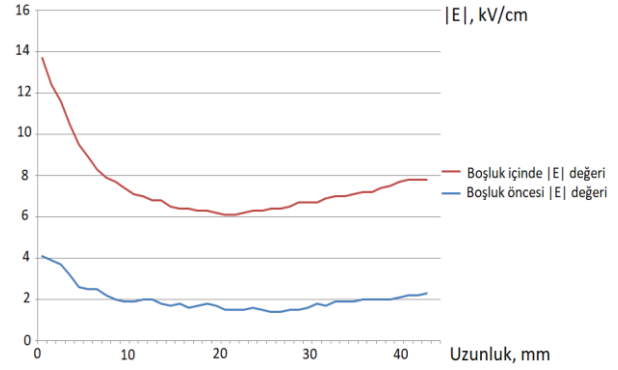
Şekil 15. İletkenden 13 mm uzaklıkta 1 mm çapında hava boşluğu durumunda elektrik alan değişimi (Electric field when a cavity with 1 mm diameter is placed 13 mm away from the conductor)

Akım taşıyan iletkenin 1 mm sonra, sabit 1 mm çaplı boşluğun 5 mm aralıklarla sırasıyla mevcut olmasına ilişkin grafikler topluca Şekil 16'da görülmektedir. Bu grafiklerden 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 16. 1 mm çaplı hava boşluklarının iletkenin pim demirine doğru 5 mm aralıklarla kaydırılması durumları için elektrik alan şiddeti değişimleri (Electric field variation when a cavity with 1 mm diameter is placed at 8 different locations, separately, on a line between the conductor and the pin. Cavity location is shifted with 5 mm steps)

Akım taşıyan iletkenin 1 mm sonra, 1 mm çaplı boşluğun, 1 mm aralıklarla sırasıyla mevcut olmasına ilişkin hava boşluğu içinde ve öncesindeki değişimleri Şekil 17'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 17. 1 mm çaplı hava boşluklarının iletkenin pim demirine doğru 1 mm aralıklarla kaydırılması durumlarında boşluk öncesi ve boşluk içinde elektrik alan şiddeti değişimleri (Maximum electric field values inside the cavity (red line) and minimum electric field values just before the cavity (blue line) as a function of cavity location from the conductor with 1 mm steps)

Boşluk yerinin değişiminin, elektrik alan değişimi üzerine etkisinin anlaşılabilmesi için yapılan simülasyon çalışmalarında, iletken ile pim demiri için en kısa mesafe olan aynı hat boyunca elektrik alan değişimleri farklı simülasyonlarla elde edilmiştir. Boşluk yeri değişiminin net biçimde görülebilmesi için 1 mm çaplı boşluğun yeterli olduğu düşünülmüş, iletken demirinden itibaren 5 mm aralıklarla boşluk yeri değiştirilmiş, her simülasyonda sadece bir boşluk olduğu durumlar için elde edilen 8 adet elektrik alan grafiği aynı grafiğe aktarılarak Şekil 16 elde edilmiştir. İletkenden 13 mm uzaklıkta olan Şekil 15'de verilen grafik üstteki 8 adet grafik örneğinde tek başına gösterimin okuyucu tarafından dikkate alınabilmesi için sunulmuştur.

Potansiyel dağılımlarının 8 adet grafik için tek grafikte gösterimi mümkün olmadığından 13 mm uzaklıkta boşluk olması durumuna ilişkin potansiyel dağılımının okuyucuya fikir vermesi açısından yeterli olacağı değerlendirilmiştir. Deşarj analizinde elektrik alan grafikleri değişimleri önemli olduğundan, 1 mm adet çaplı aynı hat üzerinde 43 adet örnek alınarak yapılan simülasyon çalışmasındaki elektrik alan değişimlerinin verildiği Şekil 17'nin önemli olduğu düşünülmüştür. 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.

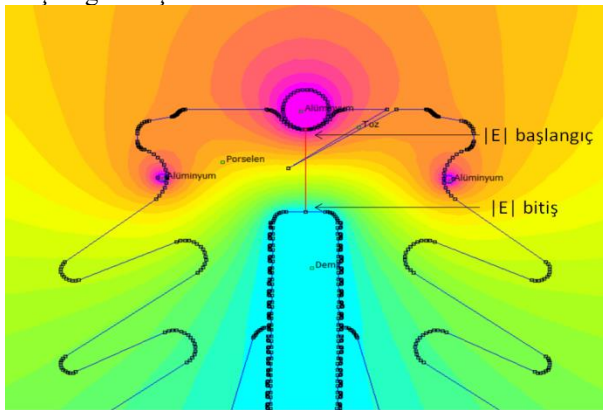
3.2. Çatlaklı Yapılar İhtiva Eden İzolatör'ün İncelenmesi (Investigation of Insulator Containing Cracked Structure)

Şekil 1 ve Şekil 4'de 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 [30].

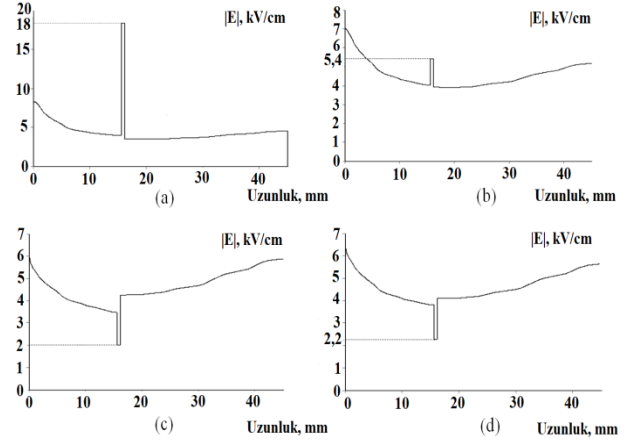
Çalışmanın bu kısmında, birisi iletkeneye yakın 58 mm'lik çatlakın diğeri ise pim demirine yakın 72 mm'lik çatlakın mevcut olması durumunda iki farklı inceleme yapılmış, çatlakların içine yerleşen materyalin etkisi elektrik alan değişimi açısından irdelenmiştir.

3.2.1. 58 mm Çatlaklı Yapıdaki İzolatörün İncelenmesi (Investigation of Insulator Containing 58 mm Cracked Structure)

İlk örneklemede, akım taşıyan iletkenin sağ tarafından pim demirine doğru 58 mm uzunluğunda bir çatlakın mevcut olması durumu incelenmiştir. Çatlak içinde hava olması durumunda potansiyel dağılımı Şekil 18'de, hava, toz, su ve çamur olması durumuna ilişkin elektrik alan değişimi ise Şekil 19'da görülmektedir. Şekil 19'dan görüleceği üzere çatlaktaki elektrik alan şiddeti hava için 18 kV/cm, toz için ise 5,4 kV/cm değerine çıkmasına rağmen, su için 2 kV/cm, çamur için ise 2,2 kV/cm değerine düşmektedir. Bu durumda çatlak içinde su veya çamur bulunması durumunda izolatörde kısmi deşarj oluşacağı anlaşılmaktadır.



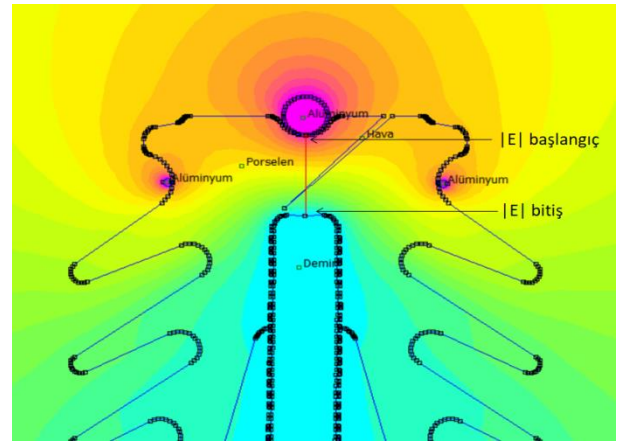
Şekil 18. İçinde toz olan 58 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde potansiyel dağılımı (Potential distribution when a 58 mm long dust-filled crack is inside the insulator)



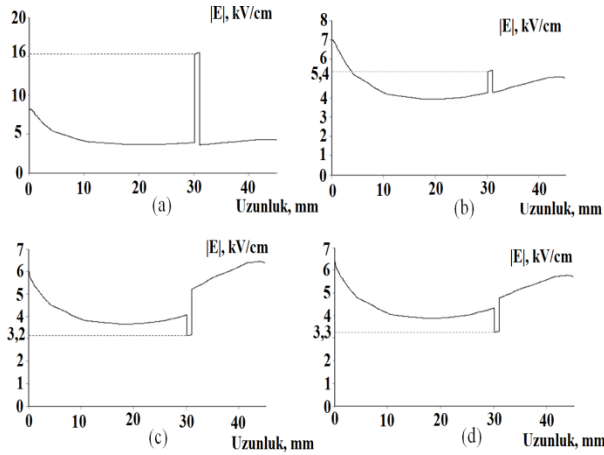
Şekil 19. 58 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri a) hava b) toz c) su d) çamur (Electric field variations over the line shown in figure-18 when the crack is filled with a) air b) dust c) water and d) mud respectively)

3.2.2. 72 mm Çatlaklı Yapıdaki İzolatörün İncelenmesi (Investigation of Insulator Containing 72 mm Cracked Structure)

İkinci örneklemede, akım taşıyan iletkenin yine sağ tarafından pim demirine doğru 72 mm uzunluğunda bir çatlakın mevcut olması durumu incelenmiştir. Çatlak içinde toz olması durumunda potansiyel dağılımı Şekil 20'de, hava, toz, su ve çamur olması durumuna ilişkin elektrik alan değişimi ise Şekil 21'de görülmektedir. Şekil 21'de 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 20. İçinde hava olan 72 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde potansiyel dağılımı (Potential distribution when a 72 mm long air-filled crack is inside the insulator)



Şekil 21: 72 mm uzunluğunda çatlaklı izolatörde elektrik alan değişimleri a) hava b) toz c) su d) çamur (Electric field variations over the line shown in figure-20 when the crack is filled with a) air b) dust c) water and d) mud, respectively)

Bu incelemelerden görüleceği üzere, çatlağın uzunluğundan daha çok, iletkene mi yoksa yalıtkanaya 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.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Sis tipi VHD-35 izolatörde potansiyel dağılımı ve elektrik alan değişimlerinin FEMM programı kullanılarak incelendiği bu çalışmada 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 incelenmiştir. İzolatörde oluşan tahribat neticesinde oluşan çatlak içinde hava, toz, su ve çamur mevcut olması durumunda da kısmi deşarj oluşup oluşmadığı analiz edilmiştir.

İzolatör 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 izolatör içindeki hava boşluğunun kısmi deşarja neden olduğuna dair bir bulguya ulaşılamamıştır.

İmalat sürecinde büyük boyutlarda hava boşlukların izolatör içinde oluşması mümkün olmamasına rağmen mekanik dayanım açısından izolatörün homojen yapıda olmasının tahribatlara karşı dayanımını artıracak 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 izolatörlerin 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 izolatörde 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.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Mehmet Kubilay EKER: Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

Seyit Ahmet SİS: Sonuçlarını analiz etmiştir.

Yasin ASLAN: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Looms J.S.T., “*Insulators for high voltages*”, IET Power and Energy Series 7, London, (2006).
- [2] Wadhwa C. L., “*Electrical power systems*”, New Age International Publishers, United Kingdom, (2006).
- [3] Arora R., Mosch W., “*Classification of solid insulating materials*”, High Voltage and Electrical Insulation Engineering, Wiley Publication, Canada, (2011).
- [4] Farzaneh M., Chisholm W. A., “*Insulators for electric power systems, insulators for icing and polluted environments*”, Wiley Publication, Canada, (2009).
- [5] “Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. faaliyet raporu 2018”, <https://www.uedas.com.tr/UserFiles/File/File/2018-faaliyet-raporu.pdf>, 16.04.2020.
- [6] “Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. hizmet kalitesi göstergeleri 2018”, UEDAS, (2018), <http://www.uedas.com.tr/sayfa.asp?mdl=sayfalar&id=123>, 16.04.2020
- [7] “Elektrik dağıtım ve perakende satışına ilişkin hizmet kalitesi yönetmeliği”, EPDK, (2012). <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-6740/elektrik-dagitimi-ve-perakende-satisina-iliskin-hizmet-kalitesi-yonetmeliği>
- [8] Beiu C., Toader C., Golovanov N., Buica G., “Determination of the electric field on high voltage rubber insulators using the finite element method”, *International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE)*, Craiova, Romania, s.1-3, (2016).
- [9] Kontargyri V. T., Gonos I. F., Stathopoulos I. A., “Measurement and simulation of the electric field of high voltage suspension insulators”, *European Transactions on Electrical Power*, 19(3): 509-517, (2009).
- [10] Reddy, B. S., Sultan, N. A., Monika, P. M., Pooja, B., “Simulation of potential and electric field for high voltage ceramic disc insulators”, *International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*, Mangalore, India, 526-531, (2010).
- [11] Hrastnik J., Pihler J., “Designing a new post insulator using 3-D electric-field analysis”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 24(3): 1377-1381, (2009).
- [12] Liangi M., Wong K. L., “Study of electric field distribution on 22 kV insulator under three phase energisation”, *International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM)*, Niigata, Japan, s.140-143, (2014).
- [13] Akalp O., Kaya İ., Efe S. B., “Yüksek gerilim teçhizatlarında dış etken kaynaklı arızaların analizi ve azaltılması”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(1): 51-62, (2016).
- [14] Othman N. A., Piah M. A. M., Adzis Z., Ahmad H., Ahmad N. A., “Simulation of voltage and electric-field distribution for contaminated glass insulator”, *IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED)*, Putrajaya, Malaysia, 116-120, (2013).
- [15] Chakravorti S., Steinbigler H., “Boundary element studies on insulator shape and electric field around HV insulators with or without pollution”, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 7(2): 169-176, (2000).
- [16] Dokur E., Köse N. F., Kurban M., Özdemir A., “Hava hattı mesnet izolatörü için benzetim tabanlı elektrik alan dağılımı incelemesi”, *Elektrik Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı (ELECO)*, Bursa, (2012).
- [17] Fahmi D., Novario L. A., Negara Y., Wahyudi R., “Comparative analysis of electric field distribution on glass and ceramic insulator using finite element method”, *International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications*, Lombok, Indonesia, 515-520, (2016).
- [18] Gençoğlu M. T., “Kirlenmiş yüksek gerilim izolatörlerinin doğru akım atlama gerilimlerinin hesaplanması”, *Doğu Anadolu Bölge Araştırmaları-4*, 2: 25-31, (2003).
- [19] Changfu X., Chengbo H., Yunpeng L., Kaiyuan Z., Shaotong P., “Influence of deteriorated porcelain insulator on electric field and potential distribution of insulators strings in 110kV transmission lines”, *IEEE, International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*, Singapore, 162-166, (2017).
- [20] “Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. enerji nakil hatları mesnet izolatör envanteri”, UEDAŞ, (2018).
- [21] Kuffel J., Kuffel E., Zaengl W. S., “Kısmi deşarj ölçümleri, yüksek gerilim mühendisliği temelleri”, *TMMOB*, Ankara (2008).
- [22] *TS 2051 EN 60270*, “Kablolar-yüksek gerilim deney teknikleri-kısmi deşarj ölçmeleri”, (2003).
- [23] James R.E., Su Q., “*Condition assessment of high voltage insulation in power system equipment*”, *IET Power and Energy Series*, London, (2008).
- [24] Illias H., Chen G., Lewin P. L., “Modeling of partial discharge activity in spherical cavities within a dielectric material”, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 27: 38-45, (2011)..
- [25] İlkahraman M., Özdemir C., Yıldız M., Ünlü Ö., “Yüksek gerilim şalt teçhizatları üzerinde meydana gelen kısmi deşarjların Ultrasonik/TEV yöntemi ile tespiti ve saha uygulamaları”, *TEİAŞ*, (2017).
- [26] “36 kV pin tipi izolatör VHD-35 SII (900 mm)”, *Ankara Seramik*, <http://ankaraseramik.com/1/catalogs/Pin%20Type%20In%20sulators.pdf>
- [27] Taklaja, P., Kiitam, I., Niitsoo, J., Klüss, J., Hyvönen P., “Electric field distribution in glass and porcelain pin insulators”, *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Rome, Italy, 267-271, (2015).
- [28] Unahalekhaka P. and Sirichunchuen K., “Influence of electric field distribution along the line post and pin post insulator due to lightning strike”, *GMSARN International Journal*, 11(1): .23 – 27, (2017).
- [29] Britton, L. G. “*Avoiding static ignition hazards in chemical operations: a CCPS concept book*”, 20(3): 37, John Wiley & Sons, (2010).
- [30] Mukhlisin, M., Saputra, A., El-Shafie, A., Taha M. R., “Measurement of dynamic soil water content based on electrochemical capacitance tomography”, *International Journal of Electrochemical Science*, 7: 5457-5466, (2012).