

Hava Hattı Mesnet İzolatörü İçin Benzetim Tabanlı Elektrik Alan Dağılımı İncelemesi

Simulation Based Analysis of Electric Field Distribution For Line Post Insulator

Emrah DOKUR¹, Necip Fazıl KÖSE², Mehmet KURBAN³, Aydoğın ÖZDEMİR³

^{1,2,3}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi

emrah.dokur@bilecik.edu.tr, necipfazilkose@hotmail.com, mehmet.kurban@bilecik.edu.tr

³ Elektrik Mühendisliği Bölümü,
İstanbul Teknik Üniversitesi

ozdemiraydo@itu.edu.tr

Özet

İletim kayıpları ve arızalar enerji iletim hattının güvenilirliği açısından önemli bir yer teşkil etmektedir. İzolatörlerde meydana gelen arızalar gerek dolaylı olarak gerekse direkt olarak enerji iletim hattında ciddi kayıplara ve hatalara sebep olabilmektedir. Bu çalışma iki farklı yalıtkan malzemeden yapılmış 36 kV hava hattı mesnet tipi izolatörler için elektrik alan dağılımı sınır elemanları yöntemini temel alan benzetim sonuçları ile incelemiştir. Benzetim sonuçları, porselen izolatöre göre silikon izolatörlerin yüzeyindeki elektrik alan şiddetlerinin daha düşük fakat izolatör iç kısımlarındaki elektrik alan şiddeti genişliğinin daha büyük olduğunu göstermiştir. Bu da yüzeyde meydana gelebilecek elektriksel boşalmalara karşı silikondan yapılmış bir hava hattı mesnet izolatörünün enerji iletim hattı için, yüzey boşalmaları açısından daha uygun olabileceği sonucunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: İzolatör, Sınır Elemanları Yöntemi, Korona, Elektrik Alan Şiddeti

Abstract

Transmission losses and faults constitutes an important part in terms of safety of power transmission line. Faults occurring in insulators could cause serious losses and errors on power transmission line either indirectly or directly. In this paper, simulation of the electrical field distributions of two different dielectric material is analyzed for 36 kV line post insulators. Simulation results show that silicon insulator's electrical field intensity on the surface is less than porcelain insulator's electric field intensity but the amplitude of the inner part electric field intensity is greater. These results also show that silicon line post insulators more appropriate for power transmission line, for electrical discharges that might occur on the surface.

Key Words: Insulators, Boundary Element Method, corona, Electrical Field Intensity.

1. Giriş

Yüksek gerilim tekniği, elektrik enerjisinin uzun mesafelere iletimi gereksiniminden doğmuş ve çabuk gelişmiş bir bilim dalıdır. Bilindiği üzere, çok büyük güçte elektrik enerjisinin çok uzun mesafelere iletimi teknolojik ve ekonomik bakımdan ancak yüksek gerilimle mümkün olabilmektedir [1].

Yüksek gerilimde, gerilimin yüksek olması, atmosferik koşullar, ortam koşulları vs. gibi nedenlerden dolayı çeşitli sorunlar yaşanmaktadır. En önemli sorun gerilimin ulaştığı yüksek değerlerden dolayı hatlarda meydana gelen yüksek elektrik alanına bağlı olarak oluşan yalıtım sorunlarıdır. Günümüzde yalıtım sorunlarını minimize etmek için çeşitli çalışmalar yapılmakta ve buna bağlı olarak bazı önlemler alınmaktadır. Yalıtımda kullanılan izolatörlerin boyutları, şekilleri, elektrik, mekanik ve ısı performansları bu kapsamda belirlenmektedir.

İzolatörler için elektrik alan şiddeti dağılımının ve özellikle de en yüksek olduğu yer/yerlerdeki değerinin bilinmesi gerekir. Enerji iletim sistem gerilimleri, yük durumları, gelişmeler vb nedenlerle yükseldiğinden, yalıtımın daha büyük elektriksel zorlanmalar altında çalışması gerekmektedir.

Bunun için daha büyük boyutlu yalıtım malzemesi kullanmak cihazı ağırlaştırmakta ve termik empedansı da büyüteğinden iyi sonuç vermemektedir. Herhangi bir durumda elektrik alan dağılımına etki eden en önemli faktör, yalıtımın ve elektrot sisteminin profilidir [2]. Yalıtımın farklı bölgelerinde atlama, yüzey atlama ve delinme gibi elektriksel boşalmalara yol açacak elektriksel alan şiddeti dağılımlarının incelenmesi gerekir.

Literatürde yapılan çalışmalar da bu yalıtım sorunlarını en aza indirmek yönünde yapılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde Mr.Salam ve arkadaşları hava hattı mesnet izolatörlerinin farklı

kirlenme koşullarına göre çalışma performanslarını sonlu elemanlar yöntemini kullanarak incelemiştir.[3] Yine M. Cebeci'nin doktora tez çalışmasında, izolatör zinciri üzerinde elektrik alan dağılımı farklı yöntemler ve deneysel çalışmalar ile incelemiştir.[4] Elektrik alan hesaplamalarında kullanılan yöntemlerin kıyaslanması açısından S.Yıldırım ve M. Uyar'ın yapmış olduğu çalışmalarda ise, sınır elemanları yönteminin analitik çözüme en yakın sonuçları verdiği belirtilmiştir.[5]

Bu çalışma ile sınır elemanları yöntemini kullanarak yüksek gerilim enerji iletim hatlarında kullanılan porselen ve silikon kauçuk hava hattı mesnet izolatörleri için farklı durumlarda izolatör yüzeyinde ve izolatör iç kısmında elektrik alan dağılımları incelenerek, elektriksel boşalmalara yol açabilecek kısımlar belirlenmiş ve her iki farklı malzeme karşılaştırılmıştır.

2. Yüksek Gerilim İzolatörleri

Yüksek gerilim izolatörleri, elektrik tesislerinde farklı potansiyeldeki kısımların elektriksel bakımdan yalıtımın sağladığı gibi, mekanik bakımdan da bağlantıların yapılması amacıyla kullanılırlar. Dolayısıyla izolatörlerin şekli ve boyutları, hem elektrik, hem de mekanik açıdan zorlanmaları dikkate alarak belirlenir.

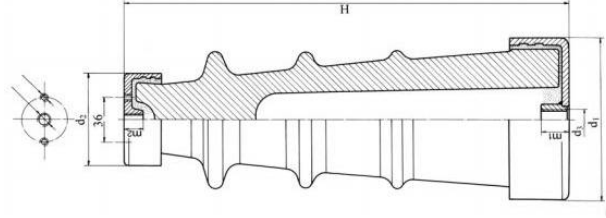
Kullanma amacı ve yapı bakımından üç tip izolatör vardır. Hava hattı izolatörleri, geçit izolatörleri ve mesnet izolatörleri. Geçit izolatörleri gerilimin işletme araçlarına uygulanmasına yarar. Bunlar aynı zamanda gerilimin binalardan çıkışı da sağlar. Mesnet izolatörleri ayırıcı (seksiyoner) ve kesicilerde (disjunktör) ve bara istasyonlarında yalıtkan mesnet olarak kullanılırlar. Bara istasyonlarında kullanılan geçit izolatörleri ve mesnet izolatörlerine istasyon izolatörleri, makina, transformator ve işletme araçlarında kullanılan izolatörlere de alet izolatörleri denir. Hava hattı izolatörleri yalnız açık havada, geçit izolatörleri ve mesnet izolatörleri ise hem açık havada, hem de kapalı yerlerde kullanılırlar. Bu bakımdan açık havada kullanılan izolatörler yağmur ve sise karşı şemsiye şeklinde etekli yapılırlar.

Hava hattı izolatörleri, geçit izolatörleri ve mesnet izolatörleri 66 kV'a kadar olan gerilimler için bir parçalı olarak imal edilirler. 110 kV'tan yukarı gerilimlerde hava hattı ve mesnet izolatörleri daha alçak gerilimler için imal edilen izolatörlerin birleştirilmesi ile de oluşturulabilirler. [6]

2.1. Mesnet İzolatörleri

Mesnet izolatörleri topraktan veya gerilim altında bulunan başka bir bölümden yalıtılmış olan gerilimli bir bölümün rijid olarak tesbit edilmesini sağlayan izolatörler olup, alet ve bara tipi olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Uçlarına (başlık ve kaide) metal armatürler yerleştirilmiş, içi dolu veya boş, dış yüzeyi çıkıntılı veya etekli silindirik şeklinde porselen, cam veya epoksi reçine gövdeden meydana gelirler. Son yıllarda silikon-kauçuk kompozit mesnet izolatörleri de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Mesnet izolatörleri 36 kV'a ve hatta bazı hallerde 110 kV'a kadar bir eleman halinde, daha büyük gerilimler için ise birkaç elemandan meydana gelecek şekilde imal edilirler. Dahili ve harici tipleri vardır.[6]

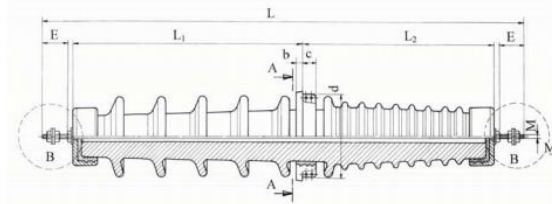


Şekil 1: Dahili tip mesnet izolatörü

2.2. Geçit İzolatörleri

Geçit izolatörleri genel olarak aygıt tipi ve istasyon tipi olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Aygıt tipi geçit izolatörleri, transformatörler, kesici, kondansatör vb çeşitli yüksek gerilim aygıtlarında, aygıt içi ve dış ortam arasında elektriksel iletimi sağlamak amacıyla kullanılırlar. İstasyon tipi geçit izolatörleri ise bağlama tesislerinde yüksek gerilimin duvardan veya bir engelden baralara bağlanabilmesi amacıyla kullanılırlar.

En basit geçit izolatörü, içinden bir iletken geçen yalıtkan bir borudur. Dış tarafta borunun orta kısmında bir madeni flans bulunur. Bu flans, yardımıyla boru aygıtta veya duvara tesbit edilir.[6]



Şekil 2 : Hariçten dahile duvar geçit izolatörü

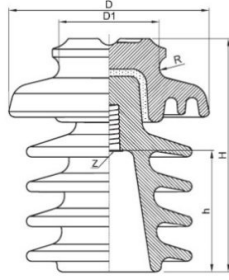
2.3.Hava Hattı İzolatörleri

Hava hattı izolatörleri mesnet (pim) tipi ve askı tipi olmak üzere iki gruba ayrılırlar.[6] Bu çalışmada hava hattı mesnet izolatörlerinde elektrik alan dağılımı ele alınacaktır. Bu tip izolatörler, yüksek gerilim enerji dağıtım hatlarında iletkenin direğe tespitinde kullanılır. Bu izolatörler IEC-383 de belirtilen A grubu yani delinmez nitelikte hava hattı mesnet izolatörleridir.[7]

35 kV'a kadar olan gerilimler için hava hattı mesnet izolatörleri normal tip (VHD tipi) ve sis tipi olmak üzere iki türde imal edilirler. Standard tipin VHD-10, 15 ve 20 kV için olanları ile sis tipinin MS-15-10 için olanı bir parçalı, diğerleri (VHD-35 ve MS-30-12) -iki parçalı imal edilirler.

İletken, izolatörün üst veya yan yuvasına yerleştirilir ve bir telle veya özel bir klemensle izolatörün boynuna tespit edilir, İzolatör direğe, çubuk veya deve boynu şeklindeki bir izolatör demiri ile tespit edilir. İzolatörlerin presle imal edilebilmeleri için etekleri aşağıya doğru yönelmiştir. Yağmurda bütün izolatör yüzeyinin ıslanmaması için eteklerin uygun şekilde yana doğru yönelmeleri gerekir.

VHD tipi izolatörlerde D/H oranı 1 civarında, sis tipi izolatörler için ise 0,9 civarındadır.(Şekil 3)



Şekil 3 : VHD tipi izolatör

20 kVa kadar olan bir parçalı izolatörlerde VHD tiplerinde 3 etek, sis tiplerinde 4 etek, 35 kV'luk olan iki parçalı izolatörlerde VHD tiplerin de 3 etek, sis tiplerinde de 4 etek mevcuttur. [6]

3. Uygulama

3.1. Sınır Elemanları Yöntemi

Sınır elemanları yöntemi, bilim ve teknolojinin çeşitli farklı alanlarında (elektrik, mekanik, ısıl vb) ortaya çıkan sınır değer problemlerinin çözümü için kullanılan bir sayısal diferansiyel denklem çözüm yöntemidir.[8]

Elektrik alan denklemlerinin çözümü için farklı bir yaklaşım kullanılır. Bu yöntemde, ilk önce problemi tanımlayan kısmi diferansiyel denklem bir sınır integral denklemine dönüştürülür

$$c_i u_i + \int u q^* dS = \int q u^* dS \quad (1)$$

Bu denklemde, sınır üzerindeki bir "i" düğümünde hesaplanacak potansiyel u_i ile gösterilir. u^* , iki boyutlu Laplace denkleminin temel çözümüdür:

$$u^* = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{1}{r} \quad (2)$$

Problem bölgesinin S sınırı sabit, doğrusal ve 2. derece (parabolik) olarak isimlendirilen sınır eleman tiplerinden biriyle N sayıda elemana ayrıştırıldıktan sonra, sınır integral denklemi sınır üzerindeki bir "i" düğümü için şu şekilde yazılabilir:

$$c_i u_i + \sum_{j=1}^N \int_{S_j} u q^* dS = \sum_{j=1}^N \int_{S_j} q u^* dS \quad (3)$$

S_j sınır elemanı üzerindeki integraller, sayısal integrasyon yöntemleri kullanılarak hesaplandıktan sonra aşağıdaki denklem sistemi elde edilir:

$$Hu = Gq \quad (4)$$

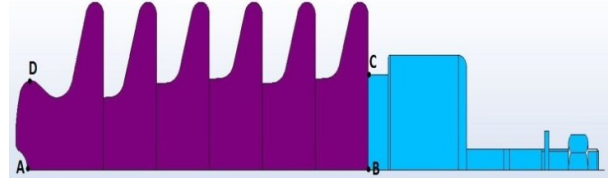
Bu denkleme sınır koşulu uygulandıktan sonra,

$$[A] [x] = [y] \quad (5)$$

şeklinde doğrusal cebirsel denklem takımı elde edilir.[5] Bu denklem takımı da çözümlenerek gerilimler belirlenir.

3.2. İzolatör Geometrisi

2D ELECTRO programında yapılacak analizler için X eksenini simetri eksenini olacak şekilde Şekil 4 de gösterildiği gibi analiz için uygun yerleşim yapılmıştır. Bu verilen şekle göre, hava hattı mesnet izolatörünün ölçüleri bire bir olarak ele alınmış ve izolatörde kullanılan malzemeler programda seçilerek analize hazırlanmıştır.



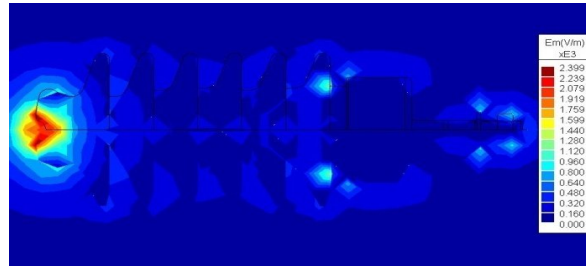
Şekil 4: İzolatör Geometrisi

Çalışmamızda porselen ve silikondan yapılmış 36 kV da kullanılan iki farklı hava hattı mesnet izolatörü için analizler yapıldı ve bu analizler sonucunda elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

Analizleri yorumlarken, kolaylık sağlanmasından ötürü izolatörün iç kısmı ve yüzeyi üzerindeki bazı kritik bölgeler/noktalar harflendirilmiştir.

3.3. Porselen İzolatör İçin Elektrik Alan Dağılımları

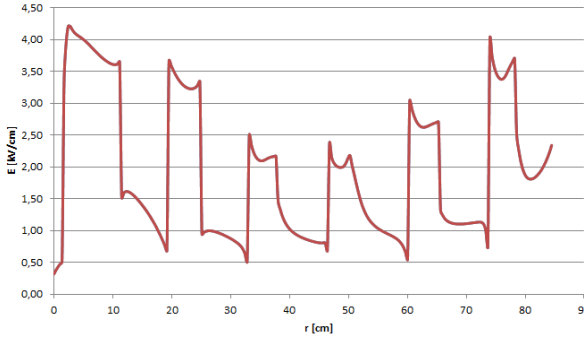
Hava hattı mesnet izolatörünün yalıtkan malzemesi olarak porselen seçilmiş bir hava hattı mesnet izolatörü için hem yüzeyde hem de izolatör iç kısmında oluşan elektrik alan şiddetinin eksenel bileşeni (yüzeysel boşalmalara yol açan teğetsel bileşen) ve genlik değişimi incelenmiştir. En genel formda benzetim üzerinde elektrik alan dağılımında elde edilen sonuçlar görsel olarak Şekil 5 de ki gibidir. Burada açık mavi ve mavi renkler düşük elektrik alan şiddeti değerlerini, kırmızı ve kahverengi renkler yüksek elektrik alan şiddetini göstermektedir.



Şekil 5: Porselen Yalıtımlı 36 kV Hava Hattı Mesnet İzolatöründe Elektrik Alan Dağılımının Renksel Değişimi

36 kV uygulanan bir hava hattı izolatöründe Şekil 5'de görüldüğü üzere iletkenin yerleştirildiği kısma (yüksek gerilim tarafı) yakın olan bölgedeki elektrik alan dağılımı kırmızı renkte olup, buradaki elektrik alan şiddetinin yüksek olduğunu göstermektedir. İzolatörün monte edilen kısmına (toprak tarafı) doğru gidildikçe bu değer mavi renge doğru değiştiği yani azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda x eksenine göre simetrik olan izolatörünün, alt ve üst bölümündeki alan dağılımları birbirinin aynı olmaktadır.

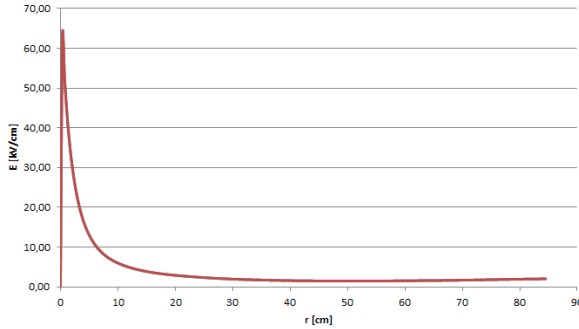
Renklerle ifade edilen alan şiddeti dağılımının sayısal değerlerine bakacak olursak, izolatör yüzeyi boyunca D ve C noktaları arasındaki elektrik alan şiddetinin eksenel (teğetsel) bileşeni *Şekil 6* da gösterilmiştir.



Şekil 6: Porselen Yalıtkanlı 36 kV Hava Hattı Mesnet İzolatörünün Yüzeyi Boyunca Eksenel Elektrik Alan Şiddet Değerleri

Şekil 6'dan da görüldüğü üzere maksimum 4,34 kV/cm mertebelerinde bir elektrik alan şiddeti bulunmuştur. Bu değer, elektrik alan dağılım profilinden de görüldüğü üzere, izolatörün iletken (Yüksek Gerilim kısmına) en yakın noktalarında gözlemlenmiştir.

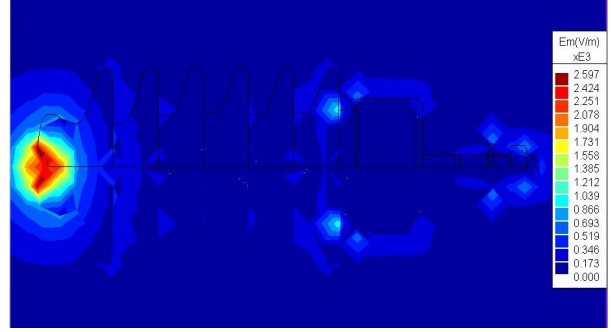
Şekil 7'de ise izolatör iç kısımda, A ve B noktaları arasındaki elektrik alanın genliğinin değişimi gösterilmiştir. Bu değişimde de A noktasında 63 kV/cm den başlayan elektriksel alan şiddeti genliği, B noktasına doğru gidildikçe azalma göstermiştir.



Şekil 7: Porselen izolatör için A-B noktaları arasındaki elektrik alan değişimi

3.4. Silikon İzolatör İçin Elektrik Alan Dağılımları

Bu bölümde silikon-kauçuk yalıtkanlı 36 kV'luk bir hava hattı mesnet izolatörü için hem yüzeyde hem de izolatör iç kısmında oluşan elektrik alanının eksenel bileşeni ve genlik değişimi incelenmiştir. En genel formda benzetimlerden elde edilen elektrik alanın renksel dağılımı görsel olarak *Şekil 8* de gösterilmiştir.

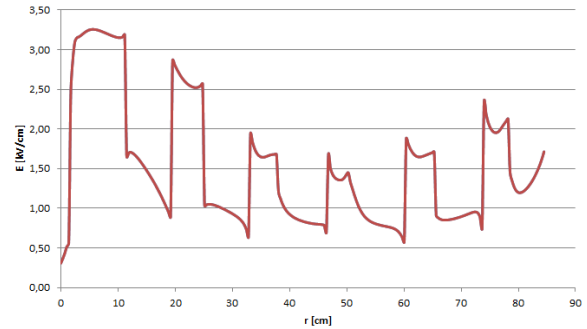


Şekil 8: Silikon Yalıtkanlı 36 kV Hava Hattı Mesnet İzolatörde Elektrik Alan Dağılımının Renksel Değişimi

Silikon yalıtkanlı 36 kV hava hattı izolatörün renksel dağılımı, porselen izolatöre benzer. Fakat izolatör yüzeyindeki ve içindeki eksenel elektrik alan şiddeti değeri ve elektrik alan şiddet genliği farklıdır.

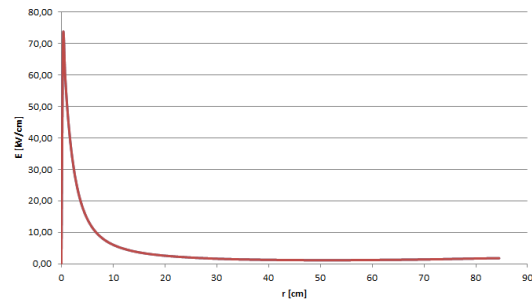
Şimdi bu değerlere sayısal olarak bakacak olursak izolatör yüzeyi boyunca elektrik alan şiddetinin eksenel bileşen dağılımı *Şekil 9* gösterilmiştir.

Şekil 9'dan da görüldüğü üzere maksimum 3,25 kV/cm mertebelerinde elektrik alan şiddeti bulunmuştur. Bu değer en genel elektrik alan dağılım profilinden de görüldüğü üzere, yine izolatörün iletken en yakın noktalarında gözlemlenmiştir.



Şekil 9: Silikon izolatör yüzeyi üzerindeki elektrik alan dağılımı

Şekil 10'da ise izolatör elektrik alanın genliğinin iç kısımdaki (A-B noktaları arası) değişimi gösterilmiştir. Bu değişimde de 75 kV/cm den başlayan elektriksel alan şiddetinin genliği B noktasına doğru gidildikçe azalma göstermiştir.



Şekil 10: Silikon İzolatör için A-B noktaları arasındaki elektrik alan şiddeti genlik değişimi

4.Sonuçlar

Bu çalışmada 36 kV enerji dağıtım hatlarında kullanılan porselen yalıtkanlı ve silikon-kauçuk yalıtkanlı hava hattı mesnet tipi izolatörleri yüzeyinde ve iç kısmındaki elektrik alan dağılımları, sınır eleman tabanlı bir yazılım kullanılarak belirlenmiştir.

Her iki izolatör tipi için yapılan benzetimlerde elde edilen sayılsa değerler, silikon yalıtkanlı hava hattı mesnet izolatörlerde, izolatör yüzeyindeki elektrik alan şiddetinin daha düşük ve fakat izolatör iç kısmındaki elektrik alan şiddetinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu tip izolatörler, izolatör içinde delinme olasılığının çok küçük olduğu A tipi izolatörler olduğu için, izolatör yüzeyinde oluşabilecek yüzeysel boşalmalar açısından daha kritik yalıtım sergilerler. Bu açıdan değerlendirildiğinde, benzetim sonuçları bize silikon-kauçuk hava hattı izolatörlerinin yüzeysel boşalmalar (atlamalar) açısından daha uygun olduğunu göstermektedir.

Bir sonraki çalışmalarda yapılan analizlerin sadece elektrik alan dağılımı ile değil de bunun yanında maliyet hesaplarını da ele alarak izolatörün üretim aşamasındaki verimliliğini daha ön plana çıkaracağı düşüncesindeyiz.

5.Kaynaklar

- [1] Muzaffer ÖZKAYA “Yüksek Gerilim Tekniği” Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 1996
- [2] H. Hüsnü DENGİZ “Enerji Hatları Mühendisliği”, 2. Baskı, Kardeş Kitabevi, Ankara, 1991
- [3] M. A. Salam, Hj Morsidi bin Hj Kassim IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08), December 1-3, 2008, Johor Baharu, Malaysia
- [4] Cebeci, M., Zincir İzolatörlerde Elektrik Alan Dağılımının İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 123 s., 1991
- [5] Yıldırım, S., Elektrik Alan Hesaplamalarında Kullanılan Sayısal Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Fırat Üniversitesi Elektrik Eğitimi Bölümü, Elazığ
- [6] Muzaffer ÖZKAYA “Yüksek Gerilim Tekniği” Cilt 2, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye, 2005
- [7] Kaleseramik Çanakkalekalebodur Seramik Sanayi A.Ş. İzolatör Ürün Kataloğu,2011
- [8] Uyar, M., Elektrostatik Alan Problemleri İçin Sınır Elemanları Yöntemi, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Elazığ