

XLPE İzoleli Tek Damarlı Orta Gerilim Kablolarında Elektrik Alanının Sulu Ağaçlanmaya Etkisinin İncelenmesi

Analysis of Effect of Electric Field on Water Treeing in XLPE Insulated Single-Core Medium Voltage Cables

Mustafa Karhan^{1,2}, Mukden Uğur²

¹Elektronik ve Otomasyon Bölümü
Çankırı Karatekin Üniversitesi
mustafakarhan@gmail.com

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
İstanbul Üniversitesi
mukdenuu@gmail.com

Özet

Orta ve yüksek gerilim iletim ve dağıtım kablolarında, çapraz bağlı polietilen (XLPE) önemli bir yer tutmaktadır. Su ağacı olayı da XLPE malzemenin servis süresinde önemli bir faktördür. Bu çalışma kapsamında, XLPE izoleli tek damarlı orta gerilim kablolarının XLPE kısmından 800µm-1000µm'lik numuneler alınmıştır. Alınan bu numuneler farklı büyüklükteki elektrik alanı altında yaşlandırılmıştır. Laboratuvar ortamında sulu ağaçlanmayı etkileyebilecek diğer tüm faktörler (deney süresi, uygulanan frekans, sıcaklık, elektrot ve solüsyon cinsi, iletkenliği, vs..) kontrollü deney yapabilmek adına aynı tutulmuştur. Su iğnesi ile alüminyum elektrot arasındaki mesafe değiştirilerek farklı büyüklükteki elektrik alanı altında oluşan su ağaçlarının uzunluk ve genişlikleri analiz edilmiştir.

Abstract

Cross-linked polyethylene (XLPE) has an important role in medium and high voltage transmission and distribution cables. Water treeing is an important factor affecting the service time of XLPE material. In this study, 800µm-1000µm thick XLPE samples were taken from XLPE insulated single core medium voltage cables. All samples were aged under different electric field intensity. All factors, that may affect the water treeing phenomenon (test duration, applied voltage and frequency, temperature, electrode material, solution type and conductivity, etc..) were kept constant to perform a controlled experiment in the laboratory. For each ageing experiment distance between the tip of the needle and the aluminium plane electrode was changed in order to generate electric field with different intensities. Finally water tree length and width were analyzed.

1. Giriş

Elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımında kullanılan yalıtkan malzemelerin iyileştirilmesi ve üretim teknolojilerinin gelişmesinden dolayı ihtiyaç duyulan gerilim seviyelerini iletebilecek polimerik yalıtkanlara bağlı olarak yüksek gerilim kablo teknolojisi de geçen yıllar içinde gelişmiş ve önem kazanmıştır. Yüksek miktardaki enerjinin uzak ve geniş mesafelere iletilmesi ve dağıtılmasıyla iletim hatlarındaki hat kayıpları nedeniyle güvenilirlik, deformasyon bölgeleri ve deformasyon bölgelerinin tanımlanması gibi faktörler önem kazanmıştır.

En yaygın olarak kullanılan polimerik kablo izolasyon malzemeleri, polietilen (PE) ve etilen propilen kauçuk (EPR) 'dir. Polietilen malzemeler arasında ise çapraz bağlı polietilen (XLPE) önemli bir yer tutmaktadır. Polietilen kablolar 1945'te, XLPE kablolar ise 1960'ların başlarında piyasaya sunulmuştur [1]. Günümüzde orta ve yüksek gerilim kablolarında, iyi derecede kimyasal, fiziksel ve dielektrik özelliklere sahip olan XLPE tipi malzemeler kullanılmaktadır. Ancak XLPE tipi yalıtkanlar, iyi seviyede dielektrik özelliklere sahip olmasına rağmen, uzun bir servis süresi sonrasında malzemenin yaşlanması kaçınılmazdır. XLPE malzemenin yaşlanmasını hızlandıran olayların arasında su ağacı olayı, aynı zamanda kablo izolasyonlarının bozulmasında da aktif rol oynamaktadır [2, 3].

Sulu ağaçlanma, kablo dielektrik arızası ile ilişkili bir ön bozulma olayıdır. Su ağaçları, görünümü itibari ile dağınık ve yaygın bir yapıya sahiptir. Bunlar tipik olarak 0.1 ila 1 mm aralığındaki boyutlarda olabilirler [4-5]. Su ağacı olayı ilk olarak 1969 yılında Miyashita tarafından tespit edilmiştir [6].

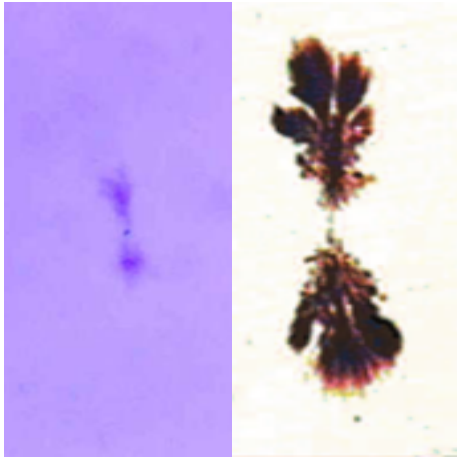
2. Sulu Ağaçlanma

Su ağacı olayı, yer altı XLPE dağıtım kablolarında erken ortaya çıkan arızalarda baskın bir olaydır. Su ağaçları, kalıcı lokalize olmuş hasarlar ve bozulmalara neden olabilirler. Boyutları birkaç mikrondan 1mm'ye kadar değişebilen bu iletken kanallar, hidrofilik yaygın dallanmış bir yapıya sahiptirler. Sulu ağaçlanma ancak yüksek bir elektrik alan altında oluşabilmekle birlikte [7], zamanla bu iletken kanallar elektrik ağaçlanmalarına ve yalıtkan bozulmalarına dönüşebilmektedir, dolayısıyla özellikle büyük su ağaçları potansiyel tehlike kabul edilebilir [8].

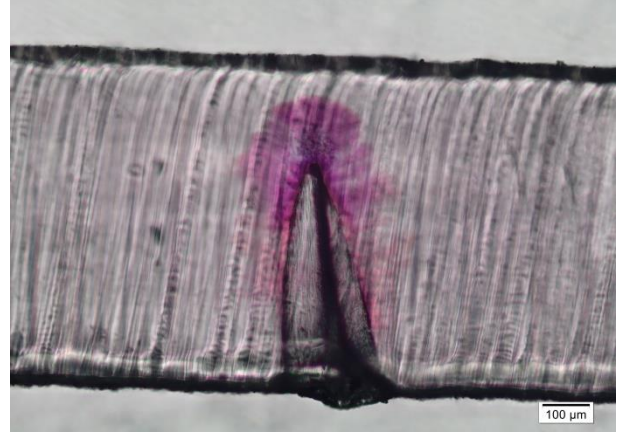
Genellikle yalıtkanın içinde oluşan papyon tipi su ağacı (bow-tie water tree) ile kablonun iç ve/veya dış iletken ekranlarında ortaya çıkan ve iletkene doğru yayılan yelpaze tipi su ağacı (vented water tree) olmak üzere başlıca iki çeşit sulu ağaçlanma mevcuttur [2]. Bu çalışmada laboratuvar ortamında yelpaze tipi su ağacı oluşturulup, incelenmiş, her iki türe ait görüntüler ise sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

2.1. Sulu Ağaçlanmayı Etkileyen Faktörler

Sulu ağaçlanmanın oluşumu ve büyümesine etki eden faktörler arasında gerilimin uygulama süresi, elektrik alan, frekans, uygulanan gerilim, sıcaklık, bağıl nem, iyonik içerik, solüsyon konsantrasyonu polimer morfolojisi, mekanik baskı, katkı maddeleri, kirletici maddeler, ağaçlanmayı geciktirici maddeler ile elektrot malzemesinin cinsi gibi etkenler sıralanabilir [7-10].



Şekil 1. Papyon tipi su ağacı görüntüleri [11-12]



Şekil 2. Yelpaze tipi su ağacı görüntüsü

2.2. Sulu Ağaçlanmada Elektrik Alanının Etkisi

Sulu ağaçlanmanın oluşumu ve büyümesinde elektrik alanın büyüklüğü en önemli etkenlerden biridir. Elektrik alanının büyüklüğünün artması ağaçlanmanın sayısını, su ağaçlarının uzunluğu ve genişliğini de arttıracaktır [7,10,13].

Filippini and Meyer, sulu ağaçlanmanın gelişimini aynı gerilim değerleri altında farklı eğrilik yarıçapları r için araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda eğrilik yarıçapının azalmasının, sulu ağaçlanmanın yayılmasında artış getirdiğini gözlemlemişlerdir [13]. Su iğnesinin ucu ile karşı düzlem elektrot arasındaki eksende oluşan elektrik alan denklem 1'de verilmiştir.

$$E = \frac{2U}{r \ln\left(1 + \frac{4d}{r}\right)} \quad (1)$$

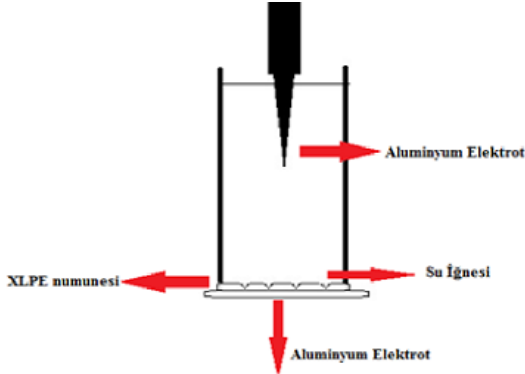
d : su iğnesinin ucu ile karşı düzlem elektrot arasındaki uzaklık
 r : su iğnesinin uç kısmındaki eğrilik yarıçapı
 U : uygulanan gerilim [13].

3. Deneysel

Sulu ağaçlanma deneyi gerçekleştirilirken deney ortamında iyonik solüsyonun konulduğu polyamid kaplar, trafonun yüksek gerilim çıkış uçlarına bağlı alüminyum elektrotlar ve XLPE izoleli tek damarlı kablodan alınan yalıtkan numuneleri bulunmaktadır. Genel olarak su ağacı oluşturmak için hazırlanan deney düzenekleri benzerlik göstermektedirler. Sulu ağaçlanma ile ilgili çalışmalarda (su ağacı oluşturmak için hazırlanan deney düzeneklerinde); iğne uzunlukları, iğne sayıları, elektrot malzeme türleri (Al, Pt, Cu, Fe ve Pb) ile iyonik solüsyon türleri (CuSO₄, FeSO₄, K₂SO₄, KBr, CuSO₄, Cu(NO₃)₂, CuCl₂, AgNO₃, Na₂SO₄, vb.) farklılık gösterebilmekte ve bu durumun neticesinde su ağaçlarının uzunluk, genişlik ve sayıları da değişmektedir [2,7,10,14-16].

3.1. Sulu Ağaçlanma Deneyi

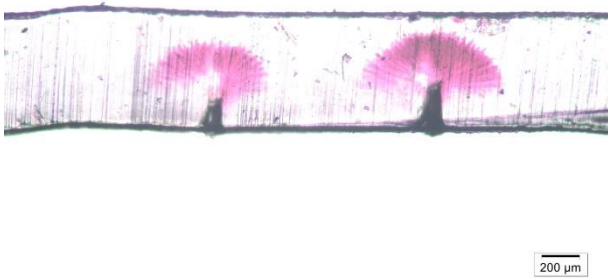
Bu çalışmada, laboratuvar ortamında hızlı bir şekilde sulu ağaçlanma oluşturmak için 1,4M NaCl solüsyonu kullanılmıştır. Bu solüsyonun pH'sı 6,54 ve iletkenliği 109,9mS/cm olarak ölçülmüştür. Solüsyona ait bu değerler SG78 – SevenGo Duo pro pH/Ion/Conductivity Meter yardımıyla alınmıştır. Laboratuvar ortamında kontrollü deneyler yapabilmek adına NaCl solüsyonda ultra saf su kullanılmıştır. Sulu ağaçlanma test düzeneği Şekil 3'de verilmiştir. Deney süresi 24 saat olup, uygulanan gerilim ve frekans değerleri 24kV/3kHz olacak şekilde seçilmiştir. Deney ortam sıcaklığı 23°C, deney ortam basıncı ise 930 hPa (0,91783 atm) olarak ölçülmüştür.



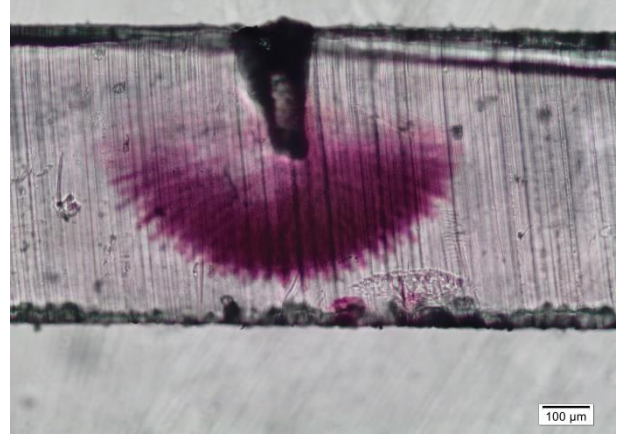
Şekil 3. Sulu ağaçlanmanın oluşturulduğu test düzeneği

3.2. Deney Sonuçları

24 saat süren deneyin sonunda, yaşlandırılan numunelerden dikey bir şekilde 100µm kalınlığında kesitler alınmış, bu aşamada gerekli hassasiyeti sağlayabilmek amacıyla microtome bıçağı kullanılmıştır. Alınan kesitler Siemens tarafından geliştirilen boyama tekniği yardımıyla Metilen mavisi ile boyanmıştır [5]. Boyanan numuneler üzerindeki boya kalıntılarını yok etmek ve temizlemek için sırasıyla ılık su ve etanol kullanılmıştır. Ağaçlanmanın kalıcı bir şekilde gözlemlenebilmesi için Metilen mavisi ile boyanan numunelerden Olympus CX41 ışık mikroskobu yardımı ile görüntüler alınmış ve Şekil 4 ile Şekil 5'te gösterilmiştir.

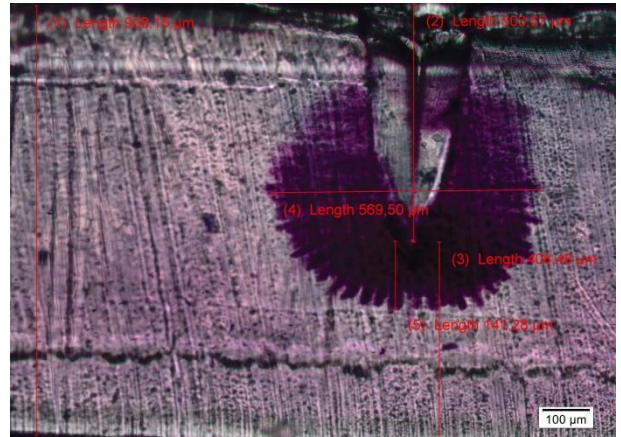


Şekil 4. Su ağacı mikroskop görüntüleri



Şekil 5. Su ağacı mikroskop görüntüleri

Şekil 6'da su ağacı uzunluk, su iğnesi uzunluk, XLPE numune uzunluk ile su iğnesi ve alüminyum düzlem elektrot arasındaki uzaklığa ait ölçüm görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6. Su ağacı ölçüm görüntüleri

4. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada, uygulanan gerilim değeri (24kV) sabit tutulup su iğnesi ile alüminyum düzlem elektrot arası uzaklıklar değiştirilerek elektrik alan büyüklüğü değiştirilmiştir. Sulu ağaçlanmayı etkileyebilecek diğer parametrelerde sabit tutularak su ağacını elektrik alan karşısındaki değişimi incelenmiştir. Elektrik alan su ağacı uzunluğu ve genişliği üzerinde önemli bir faktör olduğu görülmüştür. Elektrik alanın artmasıyla birlikte su ağacı uzunluğu ve genişliği de arttığı gözlemlenmiştir. Ancak bazı deneylerde ise su iğnesi ile alüminyum düzlem elektrot arası uzaklık azalmasına rağmen su ağacının uzunluğu ve genişliğinde artış gözlenmemiştir. Su iğnelerinin eğrilik yarıçapının buna sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı elektrik alanı büyüklükleri altında alınan su ağacı mikroskop görüntülerinin, görüntü işleme teknikleri yardımıyla analiz edilmesi düşünülmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışmaya “TÜBİTAK 2211-C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurtiçi Doktora Burs Programı” kapsamında desteklerinden dolayı TÜBİTAK’a teşekkür ederim.

6. Kaynaklar

- [1] Werelius, P., "Development and Application of High Voltage Dielectric Spectroscopy for Diagnosis of Medium Voltage XLPE Cables", *PhD. Thesis, Department of Electrical Engineering Division of Electrotechnical Design Royal Institute of Technology (KTH)*, Stockholm, Sweden, 2001.
- [2] Boonraksa, T., and Marungsri B., "Role of Ionic Solutions Affect Water Treeing Propagation in XLPE Insulation for High Voltage Cable", *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, 8.5:788-791, 2014.
- [3] Wang, J., Zheng, X., Li, Y., and Wu, J., "The influence of temperature on water treeing in polyethylene," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, Vol. 20, No. 2, pp. 544–551, 2013.
- [4] Nunes, S. L., and Shaw, M. T., "Water treeing in polyethylene-a review of mechanisms," *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 6:437-450, 1980.
- [5] Shaw, M. T., and Shaw, S. H. "Water treeing in solid dielectrics", *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 5:419-452, 1984.
- [6] Miyashita, T., "Deterioration of water-immersed polyethylene-coated wire by treeing", *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, 3:129-135, 1971.
- [7] Lanca, M.C., "Electrical Ageing Studies of Polymeric Insulation for Power Cables (Estudo Do Envelhecimento Electrico Do Isolante Polimerico De Cabos Electricos)", 2002.
- [8] Steennis, E. F., and Kreuger, F. H., "Water treeing in polyethylene cables", *IEEE Transactions on Electrical insulation*, 25.5: 989-1028, 1990.
- [9] Sanniyati, C. N., Arief, Y. Z., Adzis, Z., Muhamad, N. A., Ahmad, M. H., Sidika, M. A. B., & Lau, K. Y., "Water Tree in Polymeric Cables: A Review", *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 11(4), 2015.
- [10] Steennis, E. F. "Water treeing", *The behavior of water tress in extruded cable insulation. Delft: Delft University of Technology*, 1989.
- [11] Helleso, S., Benjaminsen, J. T., Selsjord, M., and Hvidsten, S., "Water tree initiation and growth in XLPE cables under static and dynamic mechanical stress," *2012 IEEE Int. Symp. Electr. Insul.*, 2012, pp. 623–627.
- [12] Ahmed, M., Al-Ohali, M., Garwan, M., Al-Hamouz, Z., & Al-Soufi, K., "Optical Microscopy of Water Trees in Underground High Voltage Cables", *Microscopy and Analysis*, 25-28, 2004.
- [13] Filippini J. C. and Meyer, C. T. "Water treeing using the water needle method: the influence of the magnitude of the electric field at the needle tip", *IEEE transactions on electrical insulation*, 23.2: 275-278, 1988.
- [14] Al-Arainy, A. A., Ahaideb, A. A., Qureshi, M. I., & Malik, N. H., "Statistical evaluation of water tree lengths in XLPE cables at different temperatures", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* 11.6: 995-1006, 2004
- [15] Koo, J. Y., and Filippini J. C., "Effect of physico-chemical factors on the propagation of water trees in polyethylene", *Proceedings of First International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics*, 1983, IEEE.
- [16] Malik, N. H., Qureshi, M. I., & Al-Arainy, A., "The Role of Cations in Water Tree Growth in Technical Grade XLPE Insulated Cables", *2006 IEEE 8th International Conference on Properties & Applications of Dielectric Materials*, 2006, (pp. 127-130), IEEE.