

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE POLİMERİK YALITKANLARDA HIZLANDIRILMIŞ YÜZEY BOZUNMA TESTLERİ İÇİN ELEKTRİK ALAN HESABI

Gürkan EROL¹

Aysel ERSOY²

Ayten KUNTMAN³

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Avcılar, 34320, İstanbul.

^{2,3}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi
Avcılar, 34320, İstanbul

e-posta¹: gerol@profilo-telra.com.tr

e-posta²: aersoy@istanbul.edu.tr

e-posta³: akuntman@istanbul.edu.tr

ABSTRACT

In this study, a two-dimensional finite –element model for potential and electrical-field calculation along an insulation is presented. To find the influence of the water on potential and electrical-field distribution polymeric samples according to the ASTM D2303 Inclined Plane Tracking Test Standard, which were processed before were used. Last part of this study was about computer simulation of surface tracking patterns with Finite Element Method and theoretically its electrical field values were taken.

Anahtar sözcükler: Polimerik Yalıtkanlar, Yüzey Bozunma Testleri, Sonlu Elemanlar Yöntemi

1. GİRİŞ

Katı yalıtkanlar kullanım süreleri boyunca ortamdaki nem, kirlilik ve diğer çevresel faktörler nedeniyle üretildikten bir süre sonra yalıtkan özellikleri kötüleşir. Polimerik yalıtkanlarda bu yaşlanma sürecini ve buna neden olan etkileri daha önceki çalışmalarımızda incelemiştik[1-3]. Yüzeyde iz oluşumu test yöntemi yalıtkanın yüzey özelliklerini belirlemede yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde yalıtkan yüzeyinden akıtılan sıvı ile yüzeyde deşarjların oluşması sağlanır. Böylece yalıtkanın kullanım ömrü sırasındaki davranışları benzetilmeye çalışılır. Yüzeyden akıtılan sıvı nedeni ile yalıtkan üzerindeki elektrik alan dağılımı değişir[4-5]. Bu sırada yalıtkan üzerindeki elektrik alan dağılımını bulmak istediğimizde çeşitli yöntemlerden yararlanılır.

Sonlu elemanlar yöntemi elektrik mühendisliğinden, tıp teknolojileri ve yer bilimlerine kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi hem bölgesel hem de sınır özelliklerin kullanılmasını sağlayarak oldukça iyi sonuçlar elde etmemize olanak vermektedir.

Bu çalışmada Eğik Düzlem Yüzeyde İz Oluşumu Test standardına (ASTM D2303) uygun olarak yapılan deneylerden elde edilen örnekler üzerindeki iz oluşumlarından yararlanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile üzerlerinde bozulma sırasında oluşan potansiyel fark ve elektrik alan dağılımları elde edilmeye çalışılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY)

Sonlu elemanlar yönteminde problem, çözümü daha kolay olan alt problemlere ayrılarak daha anlaşılır hale getirilmeye çalışılır. Herhangi bir problemin sonlu elemanlar yöntemi ile çözümü temel olarak dört adımda gerçekleşir: i) Çözüm bölgesinin sonlu elemanlara veya alt bölgelere ayrılması ii) Herbir eleman için temel denklemlerin yazılması iii) Çözüm bölgesindeki tüm elemanların birleştirilmesi iv) Elde edilen denklem sisteminin çözümü. Sonlu elemanlar yönteminde diferansiyel formdaki Maxwell denklemleri kullanılır.

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$\nabla \times D = \rho \quad (2.2)$$

$$\nabla \times B = 0 \quad (2.4)$$

Burada (2.1) eşitliği Maxwell –Amper yasasını, (2.2) eşitliği Faraday yasasını, (2.2) eşitliği Gauss yasasını (2.4) eşitliği ise Manyetik Gauss yasasını göstermektedir.

Diğer bir temel denklem ise süreklilik denklemidir ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\nabla \cdot J = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (2.5)$$

Bu denklemler yapısal bağıntılarla tanımlanır ve bu bağıntılar ortamın makroskopik özelliklerini belirlerler.

$$D = \epsilon_0 E + P \quad (2.6)$$

$$B = \mu_0 (H + M) \quad (2.7)$$

$$J = \sigma E \quad (2.8)$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{c_0^2 \mu_0} = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \quad (2.9)$$

Bu eşitliklerde;

E : Elektrik alan şiddeti (V/m)

H: Manyetik alan şiddeti (A/m)

D: Elektriksel akı yoğunluğu (C/m²)

B: Manyetik akı yoğunluğu (Wb/m²)

J: Dış akım yoğunluğu (A/m²)

t: Zaman (sn)

σ : Elektriksel iletkenlik (S/m veya 1/ Ω m)

ϵ : Dielektrik katsayısı (F/m)

ϵ_0 : Boşluğun dielektrik sabiti (F/m)

μ_0 : Boşluğun manyetik geçirgenliği (H/m)

Bir statik elektrik alanı içerisinde, iletkenliği ihmal edilebilen ve dielektrik katsayısı elektrik alanın yönüne bağlı olarak değişen (anizotrop, eşyönsüz) yalıtkan bir ortam göz önüne alınsın. Bu ortamda uzay yükünün olmadığı ($\rho=0$) veya birikmediği düşünülürse, alan çizgilerinin elektrotlardan başlayacağı ve elektrotların potansiyel kaynağı olacağı söylenebilir.

Fakat dielektrik malzemeler ideal yalıtkan değildirler. Bu nedenle dielektrik malzeme üzerindeki elektrik alan dağılımını bulmak istediğimizde statik alan dağılımı yerine yarı-statik elektrik alan dağılımından yararlanılır.

Yarı-statik alan yaklaşımında elektrik alan tarafından indüklenen manyetik alan ihmal edilir.

Bu durumda;

$$\nabla \times E = 0 \quad (2.10)$$

$$E = -\nabla V \quad (2.11)$$

$$\nabla \cdot J = \nabla \cdot (\sigma E + J^\ell) = -J\omega\rho \quad (2.12)$$

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (2.13)$$

$$-\nabla \cdot ((\sigma + j\omega\epsilon_0)\nabla V - (J^\ell + j\omega P)) = 0 \quad (2.14)$$

Bu eşitliklerden süreklilik denklemi şu şekilde yazılır:

$$\nabla \cdot J = \nabla \cdot (\sigma E + J^\ell) = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (2.15)$$

Son olarak aşağıdaki eşitliği elde ederiz.

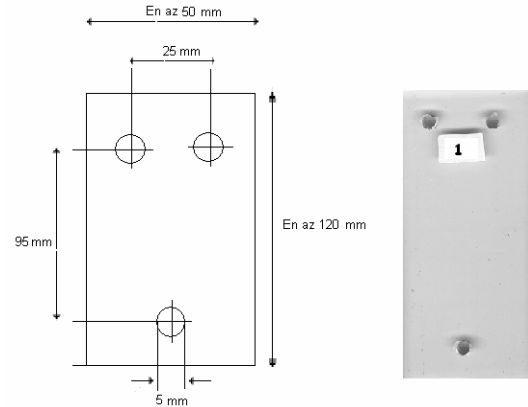
$$-\nabla \cdot \frac{\partial}{\partial t} (\epsilon_0 \nabla V + P) - \nabla \cdot (\sigma \nabla V - J^\ell) = 0 \quad (2.16)$$

2.16 ifadesini zamana bağlı elektrik akımı uygulamaları için şu hale gelir;

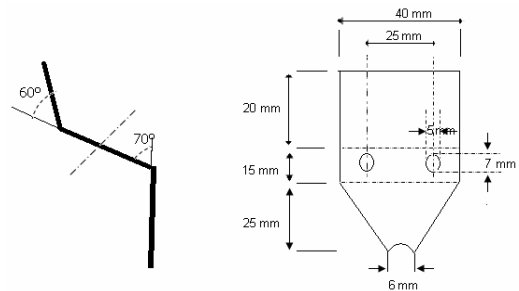
$$-\nabla \cdot d((\sigma + j\omega\epsilon_0)\nabla V - (J^\ell + j\omega P)) = dQ_j \quad (2.17)$$

2.2 Modelleme

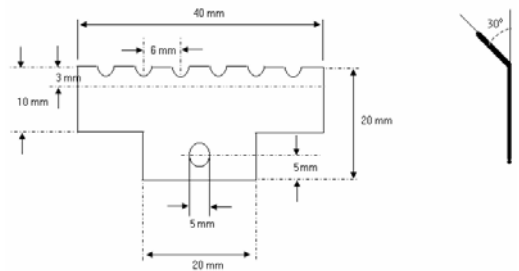
Bu çalışmada örneklerin yaşlanma sürecini incelemekte kullandığımız deney düzeneği ASTM D2303 standartlarına uygun olarak düzenlenmiştir[6]. Deneylerde kullanılan polyester örneklerin şekli ve boyutları Şekil 1 de verilmiştir. Test örneği üzerinde kullanılan (yüksek gerilim elektrodu) üst elektrod Şekil 2 de ve (toprak elektrodu) alt elektrot Şekil 3 de verilmiştir. Elektrotlar paslanmaz çelik olup korozyona karşı dayanıklıdır.



Şekil 1: Deneylerde kullanılan test örneğinin boyutları



Şekil 2: Yüksek gerilim elektrodu



Şekil 3 : Toprak elektrodu

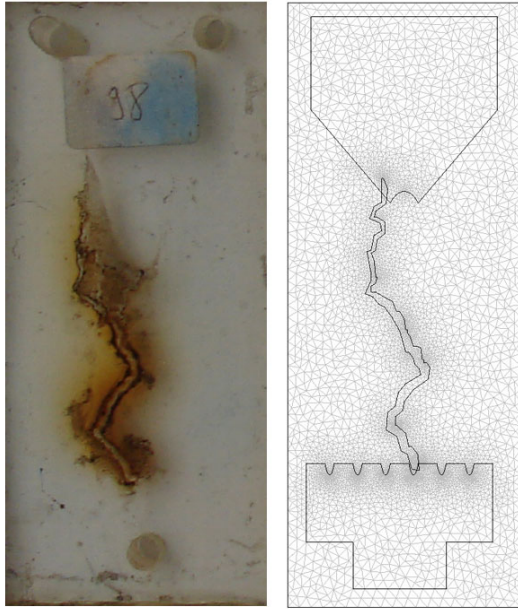
Modelleme yapılırken üst elektroda 4000 V luk gerilim uygulanmış, alt elektrod toprak olarak tanımlanmıştır. Yüksek gerilim elektrodu ile test örneği arasında suyun düzenli bir şekilde aktığı kabul edilmiştir. Alt ve üst elektrodların aynı malzemeden yapıldığı kabul edilmiştir. Modelleme yapılırken hem bölgesel hem de sınır koşulları örneklenen model için ayrı ayrı tanımlanarak çözüm gerçekleştirilmiştir. Modellemeler 2 boyutlu olarak yapılmıştır. Tablo 1 'de programa girilen büyükler görülmektedir[7].

3. BULGULAR

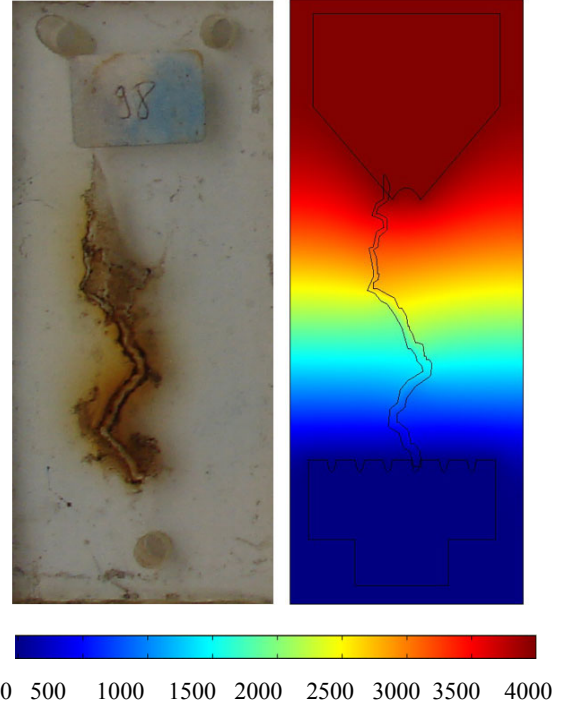
Polyester izolatörlerde yüzeyde iz oluşumu sırasında oluşan elektrik alan değişimleri Sonlu elemanlar yöntemi ile incelendi. Bu amaçla FEM için gerekli olan ağ modeli daha önceki deneysel bulgular göz önüne alınarak oluşturuldu. Yalıtıkana uygulanan gerilim üst ve alt elektrotları deneylerde kullanıldığı şekilde modellendi. Bu amaçla 5 farklı örnek incelendi. Bu örneklerden seçilen örnek ve kurulan FEM modeli Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 5'de ise modellenen örnek üzerindeki potansiyel fark verilmiştir. Şekil 6 ve 7'de yalıtkan örnek üzerinde oluşan elektrik alan dağılımı görülmektedir.

Tablo 1: Programa girilen büyüklüklere ait tablo

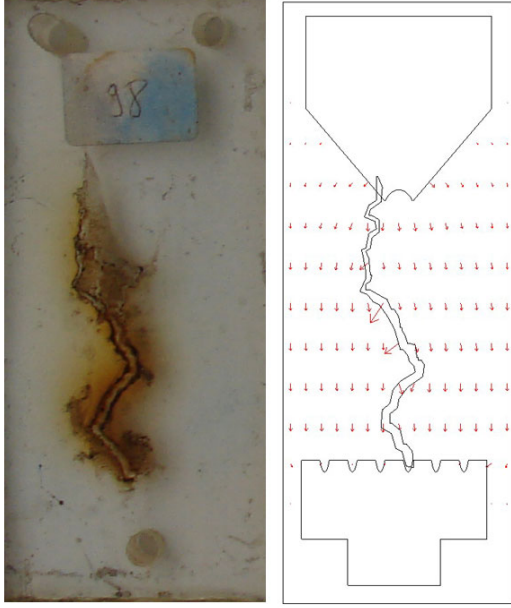
Büyüklük	Polimer	Elektrolit Sıvı	Elektrodlar
Elektriksel İletkenlik (S/m)	2.857e-18	0.00025	3.774e7
Bağıl Dielektrik Sabiti	4.6	80	1
Kalınlık (mm)	10	1	5



Şekil 4 : Modellenen örnek ve modelin ağ yapısı



Şekil 5 : Modellenen örnek ve üzerindeki elektrik potansiyeli (V)



Şekil 6: Modellenen örnek ve oluşan elektrik alan dağılımının oklarla gösterimi

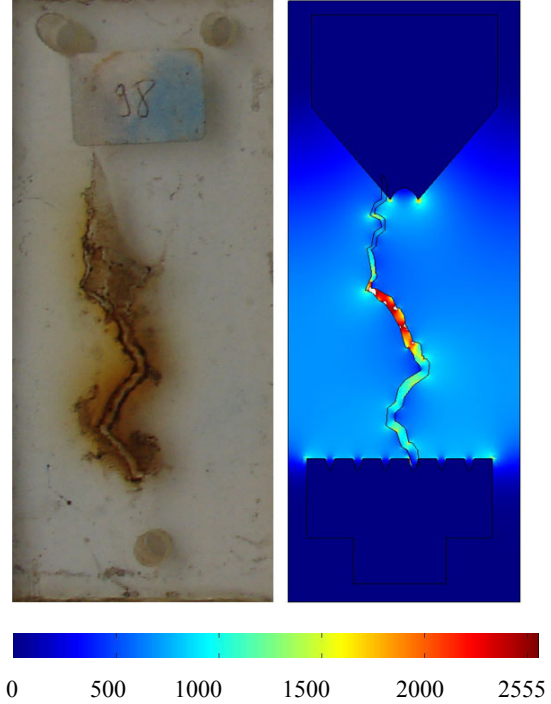
4. SONUÇ

Bu çalışmada, ASTM D2303 Eğik Düzlem Yüzeyde İz Oluşumu Test metodu kullanılarak elde edilen ve elektrik endüstrisinde katı yalıtkan olarak kullanılan polimerik yalıtkan malzemelerin iz oluşumlarına göre modellenen örnekler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen modellerin üzerlerindeki potansiyel fark ve elektrik alan dağılımı bulunurken yarı-statik alan yaklaşımından yararlanılmıştır.

İncelenen örnek 12692 adet eleman kullanılarak modellenmiştir. Örneğin yüzeyi boyunca çizilen su yolunda elektrik alan değeri her iki elektrottan da uzakta suyun kıvrım yaptığı noktalarda arttığı gözlenmiştir.

Örneklerde iz oluşumu boyunca çizilen su yolları üzerindeki elektrik alan değerinin örneğin yalıtkan olarak tanımlanan kısımdan daha büyük olduğu teorik olarakda görülmüştür. Aynı şekilde örnekte üst elektrot elektrottan alt elektroda doğru inildikçe elektrik potansiyel değerinin azaldığı gözlenmiştir.

Geniş bir yüzey boyunca bozulan örneklerle uygun olarak çizilen su yollarında elektrik alan değeri çok yüksek değerlere çıkmazken daha dar ve kıvrımlı olarak çizilen su yolları üzerinde elektrik alan değerinin daha fazla olduğu yapılan diğer modellerde de gözlenmiştir.



Şekil 7: Modellenen örnek ve yüzey üzerindeki elektrik alanı (V/m)

5. KAYNAKLAR

- [1] M.Ugur, A.Kuntman and A.Ersoy, "A Study on the Ageing Process for Polyester Resin Using improved Weibull Statistics", Electrical Engineering, Springer-Verlag Heidelberg, 2003
- [2]. İ. Güneş, A. ERSOY, M. UGUR, A. KUNTMAN, "Polimerik yalıtkanlarda yaşlanma sürecine titreşimin etkisi", I. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 155-158, 17-18 Mayıs 2005, Kocaeli.
- [3] A. Kuntman, A. Ersoy, İ.Güneş, M. Uğur, "Polimerik Yalıtkanların Yaşlanma Sürecine Nemin Etkisinin İncelenmesi", XVII. Ulusal Kimya Kongresi, 8-11 Eylül 2003.
- [4] UĞUR,M., 1997, Modelling and analysis of surface tracking phenomena of solid insulating materials, University of Manchester, Doktora tezi, 270.
- [5] WATSON,J.F., MASON,J.H., LYCH,A.C., 1979, Assessing materials for use as outdoor insulation, ISH 3, 1-4.
- [6] ASTM (2303), 1978, Standard test methods for liquid contaminant, inclined plane tracking and erosion of insulating materials, 552-556.
- [7] SCOTT BADER FIRMASI, 1991, Technical Information, Jotun Plymer, 1-5.