

## YAŞLANDIRILMIŞ POLYESTER FİMLERİN DİELEKTRİK ÖZELLİKLERİ

Güneş YILMAZ  
Ar-Ge Bölümü  
Türk Pirelli Kablo  
16941 Mudanya/Bursa  
gunes.yilmaz@simko.com.tr

Özcan KALENDERLİ  
Elektrik Mühendisliği Bölümü  
Elektrik - Elektronik Fakültesi  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
80626 Maslak/İstanbul  
ozcan@clk.itu.edu.tr

## ABSTRACT

*Electrical properties of polyester films aged under cold and hot environment conditions between  $-40^{\circ}\text{C}$  and  $+120^{\circ}\text{C}$  have been examined. The examined dielectric parameter are dielectric constant and dissipation factor in the frequency range of 50 Hz to 1 MHz and ac electric breakdown strength at 50 Hz.*

*Experimental results have been shown that the AC breakdown strength is inversely proportional to the film thickness and temperature; the frequency has no significant effect on the relative permittivity of polyester under thermal stress, especially at higher temperatures; and dissipation factor of polyester shows nonlinear frequency dependence in high temperatures.*

## 1. GİRİŞ

Üretim ve işletme sırasında ortaya çıkan elektriksel, mekanik, ısı ve kimyasal etkiler, elektriksel yalıtımın yaşlanmasına ve arızalanmasına yol açar. Yalıtkan maddelerin başlangıçtaki elektriksel özellikleri yaşlandıkça değişir. Uzun yıllardan beri, malzeme özelliklerine etkiyen farklı etkenlerin etkilerini açıklamak için araştırmalar yapılmaktadır [1-6].

Elektriksel yalıtkanlarda yaşlanma ile ortaya çıkacak değişiklikleri değerlendirmek için hızlandırılmış yaşlanma deneyleri yapılmaktadır. Bu deneylerde uygulanan iki temel yöntem vardır: tekil ve çoğul zorlanma. Son yıllarda, pek çok etken altında yaşlandırma konusu oldukça ilgi çekmektedir. Polimerlerin çoğul zorlanmalı yaşlanması ile ilgili pek çok yayınlara karşılaşılmaktadır. Uygulamaların çoğunda elektriksel veya ısı zorlanmalardan kaçınılmaz olarak karşılaşıldığından, genellikle bu iki zorlanma türü ile ayrı ayrı veya birlikte zorlanma koşulları çokça araştırılmaktadır. Değişik deneyler yapılmış ve tekil ve çoğul elektriksel ve ısı zorlanma koşullarında ömür kestirimi için modeller önerilmiştir. Bu deneylerin çoğu, normal çalışma koşullarını aşan zorlanmalarla hızlandırılmış yaşlandırma sürecinde yapılmıştır. Gerçek çalışma zorlanmalarındaki uzun süreli deneyler zaman sınırlamaları nedeniyle fizibil değildir. Bu nedenle,

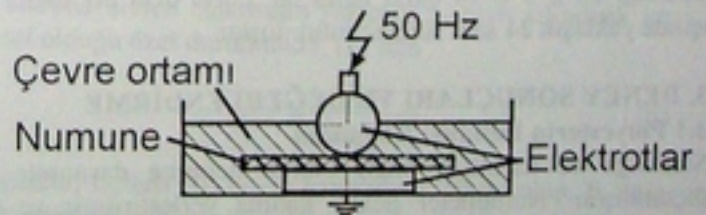
yaşlanma deneyleri genellikle hızlandırma süreci içinde yapılmakta ve sonuçlar normal koşullara irca edilmektedir. Yaşlanma sürecini hızlandırmak için birkaç yol vardır. En tanınmış normal koşullardan daha yüksek gerilim, sıcaklık ve radyasyon zorlanmaları ile yalıtımın yaşlandırılmasıdır [7-10].

Bu deneysel çalışmada, yaşlandırılmış polyester filmlerin delinme dayanımı, bağı dielektrik katsayısı ve dielektrik kayıp faktörü ölçmelerinin sonuçları sunulmuştur.

## 2. DENEY BİLGİLERİ

Deneylerde, yalıtkan malzeme olarak polyester kullanılmıştır. Polyester malzemeden, kalınlıkları 0,012, 0,023, 0,036, 0,050, 0,100 ve 0,200 mm ve kenar uzunlukları 100 mm olan kare şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Numune kalınlıkları, 0,001 mm duyarlılıkla kalınlık ölçen bir düzlemler ölçülmüştür.

Delinme dayanımı ölçmelerinde küre-düzlem elektrot sistemi kullanılmıştır (Şekil 1). Küre-düzlem elektrot sisteminde, 20 mm çapında bir küre elektrot ile 75 mm çapında, 15 mm yüksekliğinde ve kenarları 3 mm eğrilik yarıçapında yuvarlatılmış, disk şeklinde bir düzlem elektrot kullanılmıştır. Sözü edilen elektrotlar pirinç malzemeden yapılmış ve deneylerde eşksenli olarak düzenlenmişlerdir. Numuneler elektrotlar arasına, bu sistemde bir deney kabı içine yerleştirilmiştir.



Şekil 1. Küre-düzlem elektrot sistemi.

Yalıtkan filmlerin endüstriyel (50 Hz) frekanslı kısa süreli delinme dayanımı ölçmelerinde 50 kV'luk bir deney



transformatöründen yararlanılmıştır. Deney gerilimi, üst elektroda uygulanmış, alttaki elektrot topraklanmıştır. Endüstriyel frekanslı delinme gerilimi ölçmelerinde gerilim sıfırdan başlayarak delinme olana kadar 500 V/s hızla sürekli yükseltilerek uygulanmıştır. Gerilim değerleri, etkin değer cinsinden ölçülmüştür. Deney, her film kalınlığı için 10 kez tekrarlanmış ve delinme gerilimi 10 okumanın ortalamasından belirlenmiştir. Okuma değerlerindeki dağılma, ortalama değerin yaklaşık  $\pm 5\%$ 'i içinde kalmıştır. Ölçülen delinme gerilimi, tabaka (film) kalınlığına bölünerek yalıtkan filmin delinme dayanımını belirlenmiştir.

Soğuk ve sıcak koşullarda polyester filmlerin yaşlandırılması için, sıcaklığı ayarlanabilir bir deney kabı kullanılmıştır. Deneyler  $-40^{\circ}\text{C}$  ile  $120^{\circ}\text{C}$  arasındaki sıcaklıklarda yapılmıştır.

50 Hz ile 1 MHz frekans aralığında sıcaklığın işlevi olarak, bağıl dielektrik katsayısı ve dielektrik kayıp faktörü ölçmelerinde, 5 Hz-13 MHz frekans aralığına sahip bir empedans analizöründen değişken frekanslı kaynak olarak yararlanılmıştır [11, 12]. Bu ölçmelerde 100 mm çapında düzlem-düzlem elektrot sistemi kullanılmıştır. Ölçme hatalarının azaltılması amacıyla püskürtme ve kurutma yöntemiyle oluşturulmuş ince tabaka gümüş elektrotlar oluşturulmuştur. Ayrıca kaçak alanların etkisini azaltmak amacıyla bir koruma halkası kullanılmıştır. Her ölçmeden önce numunenin iki yüzü birbirine kısa devre edilerek deneylere hazırlanmıştır.



Numuneler deneylerden önce, ön koşullandırma amacıyla, sıcaklığı  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  ve bağıl nemi  $50 \pm 5\%$  olan bir fırın içinde yaklaşık 24 saat süreyle tutulmuştur.

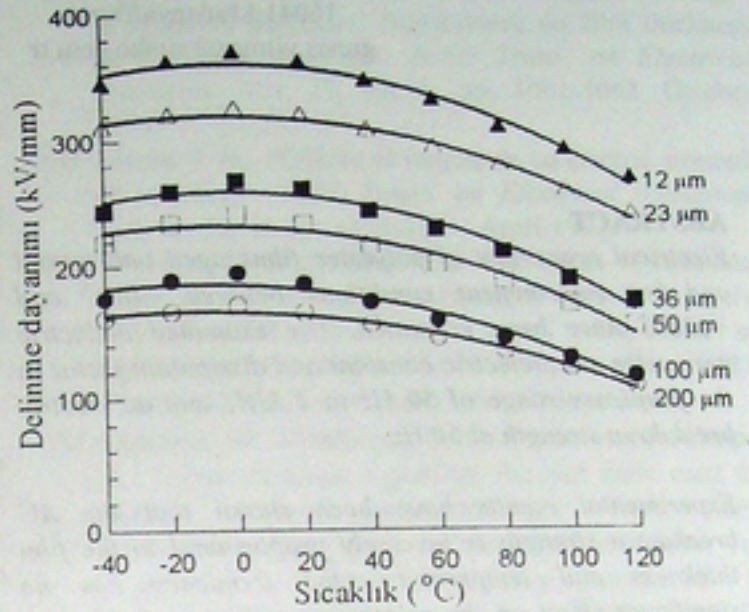
### 3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

#### 3.1 Polyesterin Delinme Dayanımı

Sıcaklığa ve kalınlığa bağlı olarak delinme dayanımı ölçülmüştür. Numuneler deney kabına yerleştirilmiş ve sıcaklık istenen seviyeye ayarlanarak deneyler yapılmıştır.

Şekil 3, altı farklı kalınlıktaki polyester filmin, film sıcaklığının işlevi olarak delinme dayanımlarının değişimini göstermektedir. Şekil 2'de, numune kalınlıkları 0,012 ile 0,200 mm arasında değişirken,  $-40$ ,  $-20$ ,  $0$ ,  $20$ ,  $40$ ,  $60$ ,  $80$ ,  $100$  and  $120^{\circ}\text{C}$  sıcaklık seviyelerindeki ölçme sonuçları gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi, delinme dayanımı, numune kalınlığı ve sıcaklığı arttıkça azalmaktadır. Ayrıca, delinme dayanımının film kalınlığından çok sıcaklığa duyarlı olduğu görülmektedir.

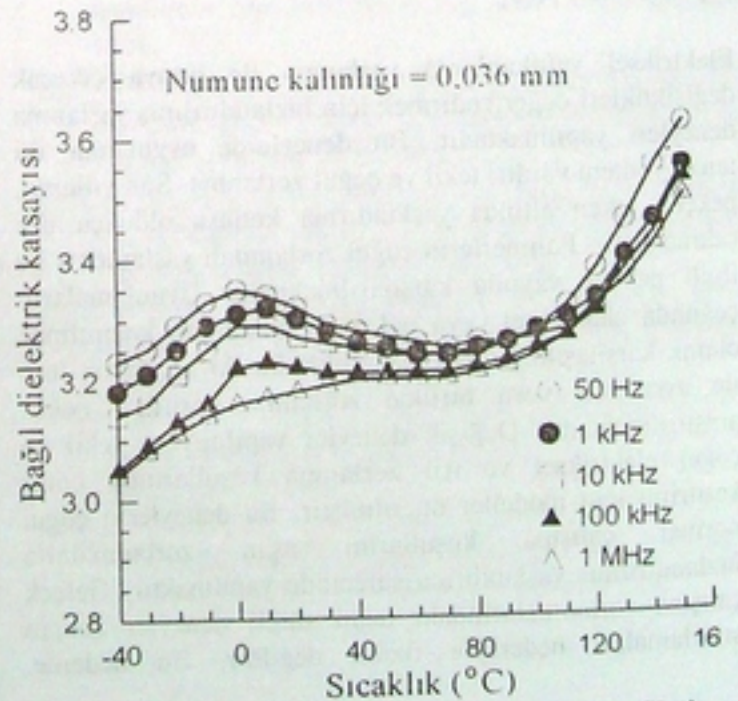
Özellikle ince filmlerde, delinme dayanımı film kalınlığından fazlaca etkilenmektedir. Delinme dayanımındaki azalma, 0,012 mm ile 0,200 mm arası kalınlıklarda, küre-düzlem elektrot sistemi için yaklaşık %52 civarında bulunmuştur.



Şekil 3. Altı farklı kalınlıktaki polyester filmin delinme dayanımlarının sıcaklıkla değişimi.

#### 3.2 Polyesterin Bağıl Dielektrik Katsayısı ve Dielektrik Kayıp Faktörü

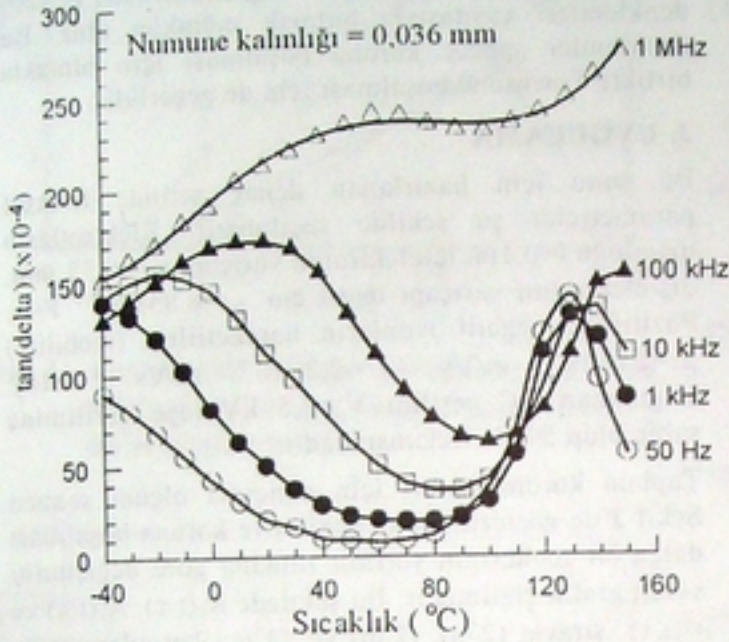
Şekil 3 ve 4'te, beş farklı frekansta (50 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz),  $-20^{\circ}\text{C}$ 'den  $80^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar sıcaklıklarda bir polyester filmin bağıl dielektrik katsayısının ve dielektrik kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4. Beş farklı frekansta, sıcaklıkla polyester filmin bağıl dielektrik katsayısının değişimi.



50 Hz-1 MHz frekans bölgesinde, polyesterin bağıl dielektrik katsayısının 90°C'ye kadar sıcaklığa bağıllığı çok azdır (Şekil 3). 90°C'nin üstünde bağıl dielektrik katsayısı sıcaklıkla hızla artar. Isıl zorlanma koşullarında, özellikle yüksek sıcaklıklarda, frekansın polyesterin bağıl dielektrik katsayısı üzerinde önemli bir etkisi yoktur.



Şekil 5 Beş farklı frekansta, polyesterin dielektrik kayıp faktörünün sıcaklıkla değişimi.

50 Hz'de 120°C sıcaklıkta dielektrik kayıp faktörü bir tepe göstermektedir. Bu tepe 50 Hz - 100 kHz arasındaki frekanslarda daha yüksek sıcaklıklara doğru kaymaktadır. 80°C'nin üstünde, dielektrik kayıp faktörü sıcaklıkla yükselme eğilimi göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda, dielektrik kayıp faktörünün frekansa bağıllığı doğrusal değildir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, -40°C ile +120°C sıcaklık aralığında yaşlandırılmış polyester filmlerin elektriksel özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- (1) Delinme dayanımı, beklendiği gibi, numune kalınlığı ve sıcaklıkla ters orantılı olarak değişmektedir.
- (2) Isıl zorlanma koşullarında, özellikle yüksek sıcaklıklarda, frekans polyesterin bağıl dielektrik katsayısı üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir.
- (3) Yüksek sıcaklıklarda polyesterin dielektrik kayıp faktörünün frekansa bağıllığı lineer değildir.

#### 5. KAYNAKÇA

- [1] Pfeiffer, W., "High-frequency voltage stress of insulation", *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, Vol. 26, No. 2, pp. 239-246, 1991.

- [2] Mason, J. H., "Effects of frequency on electric strength of polymers", *IEEE Trans. on Electrical Insulation*, Vol. 27, No. 6, pp. 1213-1216, 1992.
- [3] Wu, Z. L., Govinda Raju, G. R., "Influence of temperature and electric field on the transport currents in fluoropolymer", *9th Int. Symp. on High-Voltage Engineering*, Subject 1, Paper 1007, Graz, 1995.
- [4] Yılmaz, G., Kalenderli, Ö., "The Effect of thickness and area on the electric strength of thin dielectric films", *Conference Record of the 1996 IEEE Int. Symp. on Electrical Insulation*, Vol. 2, Montreal, pp. 478-481, 1996.
- [5] Yılmaz, G., Kalenderli, Ö., "Dielectric behaviour and electric strength of polymer films in Varying Thermal Condition for 50 Hz to 1 MHz Frequency Range", *EIC/EMCW '97 Electric Insulation Conference '97*, Chicago, USA, pp. 269-271, 22-25 September 1997.
- [6] Yılmaz, G., Kalenderli, Ö., "Dielectric properties of aged polyester films", *1997 Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (The 1997 CEIDP)*, Minneapolis, USA, Vol. 2, pp. 444-446, 19-22 October 1997.
- [7] Laghari, J. R., "Complex electrical thermal and radiation aging of dielectric films", *IEEE Trans. on Electrical Insulation*, Vol. 28, No. 5, pp. 777-788, 1993.
- [8] Agarwal, V. K., "Aging of multistressed polymeric insulators: A bibliographic survey", *IEEE Trans. on Electrical Insulation*, Vol. 24, pp. 741-764, 1989.
- [9] Mares, G., Constantinescu, G., Dumitrescu, O., "The accelerated ageing of a LDP under simultaneously action of heat and electrical field", *Conference Record of the 1996 IEEE Int. Symp. on Electrical Insulation*, pp. 636-637, Montreal, 1996.
- [10] Khachen, W., Laghari, J. R., "Determination of ageing-model constants under high frequency and high electric fields", *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 1, No. 6, pp. 1034-1038, 1994.
- [11] TS 1224, Katı yalıtkanların ızafı permutivitesi ve alternatif akım dielektrik kayıp katsayısının ölçme metotları, Aralık 1972.
- [12] TS 3774, Elektriksel yalıtım malzemesinin şebeke-ses ve radyo frekanslarında geçirgenliğini ve kayıp açısı tanjantını ölçme metotları, Nisan 1982.