

POLYESTER İZOLATÖRLERİN GÜVENİLİRLİĞİNE BOR KATKISI VE WEİBULL İSTATİSTİĞİ İLE İNCELENMESİ

Aysel ERSOY, Ayten KUNTMAN, Mukden UĞUR

İstanbul Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Avcılar, 34850, İstanbul
Tel : 0 212 473 70 70
Fax : 0212 473 70 6

aersoy@istanbul.edu.tr

akuntman@istanbul.edu.tr

mugur@istanbul.edu.tr

Anahtar Kelimer : Bor, Alev önleyici, IEC587 test metodu, Polimerik yalıtkan, Weibull analizi.

ÖZET

Bu çalışmada polyester izolatörlere bor ilavesinin yüzeyde iz oluşumu ve erozyon dayanımı üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada bor kaynağı olarak boraks kullanılmıştır. Farklı boraks konsantrasyonuna sahip örnekler eğik düzlem yüzeyde iz oluşumu test metoduna uygun olarak test edilmiştir. Polyester içindeki bor konsantrasyonu attıkça bozulma sürelerinde hızla arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen deney sonuçlarından yararlanılarak bor konsantrasyonunun değişmesi ile test örneğinin bozulma süresini oldukça iyi bir yaklaşıkla verebilen bir istatistik model elde edilmiştir.

1.GİRİŞ

Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri dünyanın en büyük bor rezervlerine sahiptir ve bor üretiminde dünyanın en büyük üreticileri konumundadır[1-2]. Türkiye dünyadaki bor rezervlerinin %66'sına sahiptir. Doğada yaklaşık 230 çeşit doğal bor minerali vardır.

Bor ürünleri ısıya karşı dayanıklılık, yüzey sertliği, mekanik dayanıklılık gibi iyi özelliklere sahiptir. Bu nedenle cam sanayii, seramik sanayii, temizleme ve beyazlatma sanayii, yanmayı önleyici maddeler, ilaç ve kimya sanayii, tarım, emaye, metalürji, enerji depolama, arabalarda(hava yastıkları, hidrolik fren vb), atık sulardan ağır metallerin temizleme işlemleri, pigment ve kurutucu olarak, nükleer uygulamalar gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Günümüzde bor ve bor bileşiklerin kullanım alanlarını geliştirmek ve özelliklerini daha iyi aydınlatmak için çok sayıda proje ve çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan bazıları yakıt olarak kullanımı, yapıya yanmazlık özelliği kazandırması, transformatörlerde kullanımı olarak sayılabilir.

Yakıt olarak gerçekte hidrojen depolama ve taşıma

ortamı olarak bor bileşiklerinden yararlanılmaktadır. Yeni ve temiz enerji politikaları ile birlikte değerlendirildiğinde ülkemizin zengin bor kaynakları için yaygın ve kalıcı bir tüketim alanı yaratabileceği düşünülmektedir.

Müzik setlerinde, kompakt disklerde, oto donanımlarında, transformatörlerde NdFeB alaşımli mıknatısların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Anılan alaşımların, ferritik mıknatıslara rakip olabilecek maliyetlerde imal edilebileceği ve bir diğer umut verici uygulama olan amorf FeSiB alaşımlarının da transformatör çekirdeklerinde kullanılabileceği gündemdedir.

Borik asit ve boratlar bazı maddelerin ateşe karşı dayanıklılığı artırdığı bilinmektedir. Bu özellikleri ile bor ürünleri alev önleyici olarak kullanılmaktadır. Polimerik yalıtkan malzemelerin kullanım süreleri boyunca kalitelerini bozan farklı etkiler söz konusudur. Bu etkiler içinde yüzey bozulması, yalıtkanın tamamında bozulmalara neden olabilen en önemli etkidir. Yalıtkanın kullanım süresi hakkında önceden tahminde bulunmak çeşitli çevre faktörleri nedeni ile oldukça güçtür. Son 50 yıl içerisinde polimerik malzemelerin hızlandırılmış yaşlandırma yöntemleri ile yalıtkanlık yeteneğinin belirlenmesi için çok sayıda test yöntemi ve standardı ortaya konmuştur[3]. Yüzeyde iz oluşumu yöntemi bunlarda biridir.

Ömür modelleri, yalıtkana uygulanan gerilmeler ve bozulma süresi arasındaki bağlantıyı ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu modeller kullanılarak malzemeyi karakterize edebilmek için gerekli parametreler elde edilmektedir. Bazı araştırmacılar elektriksel ve termal gerilmelere karşı yalıtkan malzemenin kullanım süresini olasılık yöntemlerle hesaplayan modeller ortaya koymuşlardır. Bu modeller iki temel yaklaşımdan hareketle elde edilmiştir. Bunlardan biri bozulma etkisini

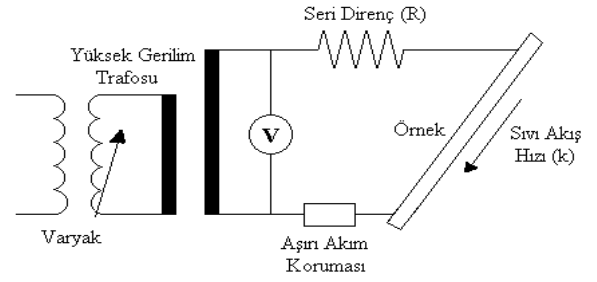
inceleyen bir modeldir ve sonuçta bozulma süresi ile uygulanan gerilmeler arasında bir bağlantı olduğunu ortaya koyar. Bir diğer model ise ömür testlerinden elde edilen sonuçları uygun modellerle bağdaştırarak açıklamaya çalışan bir modeldir. Her iki durumda yalıtkan malzemenin seçilen bir stres altında gösterdiği davranışı özelleştirmek, oldukça güçtür[4-5]. İstatistiksel bir ömür modeli deneysel sonuçlarla ne kadar çok uyuşan sonuçlar verirse o kadar çok güvenilir, değerli ve yararlı olacaktır. 1970'lerden bu yana Weibull olasılık dağılımı katı yalıtkanlarda elektriksel bozunmayı ifade eden istatistik görüşler arasında geniş bir kabul görmektedir. Bu yöntemle çok sayıda rasgele değişkenin olasılıkları göz önüne alınarak oldukça yaklaşık sonuçlar elde etmek mümkündür.

Bu çalışmada da polimer yüzeylerin yanmazlık özelliği kazanması için bor bileşiklerinden yararlanılmıştır. Laboratuvar koşullarında yapay olarak oluşturulan farklı oranda bor içeren polyester örnekler hazırlanmıştır ve daha sonra IEC 587 Eğik Düzlem Yüzeyde İz Oluşumu Test metoduna uygun olarak bozulma testleri yapılmıştır[3]. Elde edilen deneysel bulgulardan yararlanılarak genel Weibull yaklaşımı için şekil ve ölçek parametreleri bulunmuştur. Bunlar kullanılarak bor konsantrasyonunun değişmesi ile test örneğinin bozulma süresini oldukça iyi bir yaklaşımla verebilen bir istatistik model elde edilmiştir.

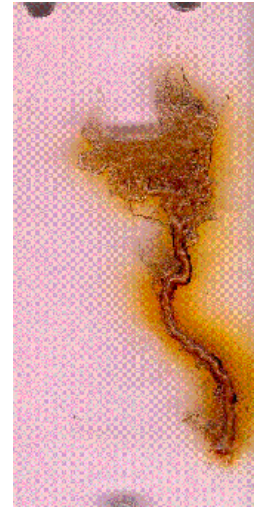
2. MALZEME VE YÖNTEM

Bütün testler laboratuvar koşullarında hazırlanan bor katkılı polyester örnekler üzerinde IEC 587 test standardına göre yapılmıştır. İlk olarak standart test koşulları için 4kV AC gerilim ve 36 ml/s elektrolit akış hızı seçilmiştir. İlerleyen adımlarda uygulanan gerilim ve bor konsantrasyonunun test örneğinin bozulma süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Her test için minimum 5 örnek kullanılmıştır. Bu çalışmadaki deneyler için tinkal kolemanit(boraks) cevheri kullanılmıştır. Örneklerin hazırlanmasında kullanılan polyester ise Boytek AŞ firmasında alınmıştır. Deneylerde kullanılan sistem şekil 1'de şematik olarak görülmektedir.

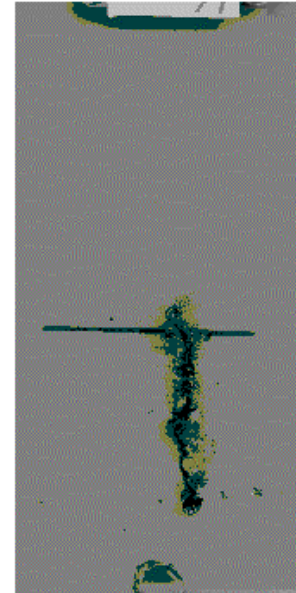
Bütün örnekler aynı laboratuvar koşulları altında polyester reçineden ve belirli oranlarda bor (%0.05-%6) katkılanarak hazırlanmıştır. Daha sonra hepsi 45 °C sıcaklıktaki bir fırında dört saat süre ile pişirilmiştir. 100mmX55mmX9mm boyutlarındaki test örnekleri, eğik düzlem test düzeneğine 45° açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir[5]. Elektrolit çözelti olarak amonyum klorid (NH_4Cl) çözeltisi, elektrodlar arasında akıtılmıştır. Bütün örnekler üzeri açık olup, tel kafes içinde ve minimum hava sirkülasyonunda test edilmiştir.



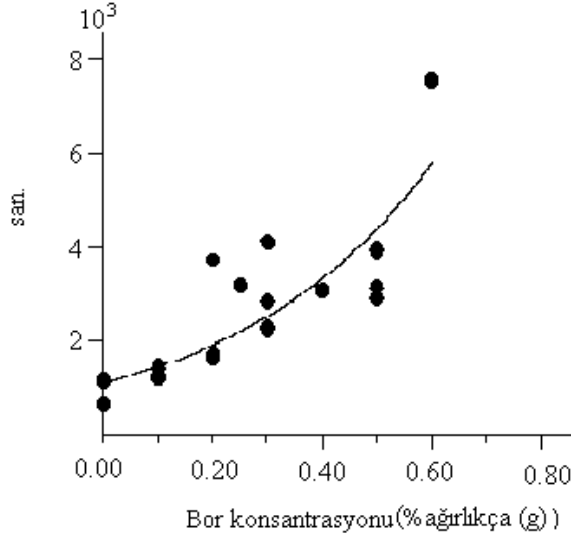
Şekil 1: Eğik Düzlem yüzeyde iz oluşumu test düzeneği



Şekil 2.a : Boron içermeyen polyester yalıtkan örneğin 4 kV gerilim ve 36 ml/s sıvı akış hızında yapılan deneyin sonucu.



Şekil 2.b : % 0.4 bor katkılanmış polyester örnek.



Şekil 3: Bor konsantrasyonunun yüzeyde iz oluşumu başlangıç süresine etkisinin deneysel sonuçları.

3. PARAMETRELERİN HESAPLANMASI

İz oluşumu safhası, elektrolitin akış hızının, gerilimin ve iletkenliğin tipik test değerleri ile onlarca dakika sürebilir. Weibull dağılımı başlıca iki parametreye dayanır, bunlar 'm' şekil ve 'λ' ölçek parametresidir. 'L' konum parametresini ifade eder ve pek çok uygulamada ihmal edilebilir. Bu değerleri tanımlayabilmek için bir dizi benzer örnek sabit gerilim ve sıvı akış hızı altında test edilmiş her bir grup için başlangıç zamanı 't' gözlemlenmiştir.

Kümülatif Weibull dağılımı $F(t)$ şu şekilde gösterilebilir,

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda(t-L)^m} \quad (1)$$

Çizim Tekniği kullanılarak şekil ve ölçek parametreleri hesaplanabilir. Çizilen doğrunun eğiminin hesaplanması ile $(m = \frac{\ln[\ln R(t_2)] - \ln[\ln R(t_1)]}{\ln(\frac{t_2}{t_1})})$ şekil parametresi hesaplanmaktadır.

Ölçek parametresi (λ) 't' değerinde ,

Burada $\ln \frac{(N+1)}{(N+1-i)}$ ifadesi 1'e eşit olduğunda, (7) & (8) ifadelerinden hareketle, $\ln[1] = 2.55 * \ln t + \ln \lambda$ ifadesinden hesaplanmaktadır.

t_i , hatanın olduğu i.nci zamanı gösterirse, kümülatif dağılım $F(t)$ şu şekilde ifade edilebilir:

$$F(t_i) = \frac{i}{(N+1)} \quad (2)$$

Burada 'i' örnek numarası ve 'N' toplam örnek sayısıdır. Güvenilirlik fonksiyonu $R(t)$ şu şekilde ifade edilir:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (3)$$

$$R(t) = \frac{(N+1-i)}{(N+1)} \quad (4)$$

(3) ifadesi (1)'de yerine yazılırsa, $R(t)$ şu şekilde ifade edilebilir;

$$R(t) = e^{-\lambda t^m} \quad (5)$$

$$\ln R(t) = -\lambda t^m \quad (6)$$

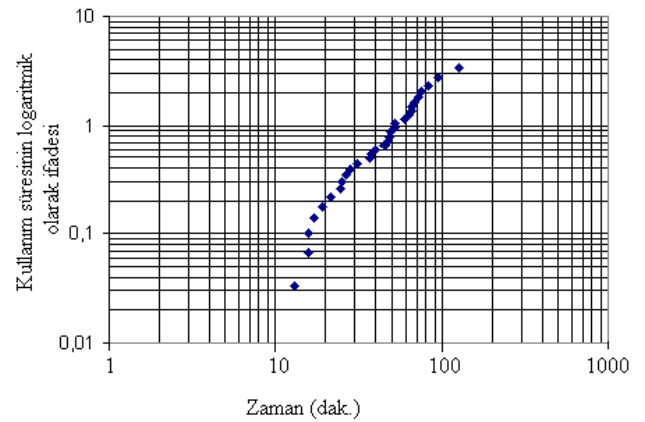
(6) ifadesinin her iki tarafında logaritması alınırsa, ölçü ve şekil parametreleri şu şekilde ifade edilebilir;

$$\ln[-\ln R(t)] = m \ln t + \ln \lambda \quad (7)$$

$$\text{Buradan: } -\ln R(t) = \ln \frac{(N+1)}{(N+1-i)} \quad (8)$$

şeklinde elde edilir.

Başlangıçta i'nci sırada gözlenen bozulma süresi, $R(t_i)$ ifadesinde $p_{i,n}$ 'e karşılık gelen bir nokta ile log-log ekseninde gösterilir. Eğer Weibull modeli uygun olursa, elde edilen noktalar düz bir çizgi üzerinde elde edilir. **Grafiksel**



Şekil 4 : Polyester reçine örneklerinin 4kV gerilim ve 36ml/h sıvı akış hızı çalışma şartlarında test edilmesi ile elde edilen Weibull dağılım grafiği.

Weibull yaklaşımında parametrelerin kestirimi sabit bir gerilimde ve sabit bir sıvı akış hızında (4kV ve 36 ml/h) gerçekleşir. Farklı koşullar altında bozulma süresinin tahmin edilebilmesi için denkleme ek parametrelerin ilave edilmesi gerekmektedir. Sıvı akış hızı (36 ml/h) sabit tutularak çeşitli gerilimler için çok sayıda deney yapılmıştır. Elde edilen verilerden yola çıkarak 3.5 kV ve altındaki gerilim seviyelerinin polyester reçine için iz oluşumuna neden olmadığı görülmüştür. Bu nedenle kritik bozulma gerilimi V_{cr1} , 3.5kV olarak seçilmiştir. Buradan hareketle düşük gerilim seviyeleri için bir değişken (V) ve üç sabitten (V_{cr1} , λ_{new} and η) oluşan kolay bir geometrik fonksiyon seçilmiştir. Burada : ' V_{cr1} ' kritik gerilim
' λ_{new} ' yeni ölçek parametresi
' η ' bozulma sabiti

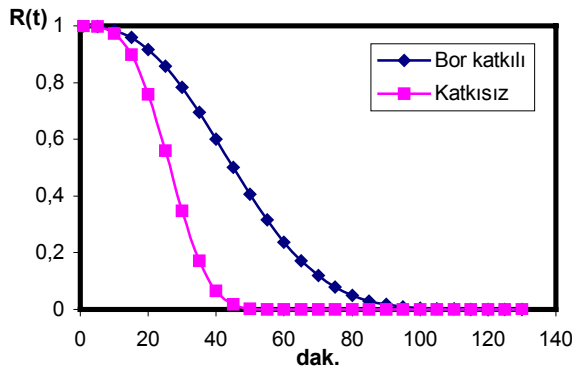
$$\lambda = \lambda_{new} * \left(\frac{V}{V_{cr1}} \right)^\eta \quad (9)$$

olarak bulunur.

% 50 sorunsuz kullanım süresinin belirlenebilmesi için, üstel sabitleri kestirirken farklı bozulma zamanları kullanılır. Eşitliklerin hesaplanması sonucunda λ_{new} , 10^{-5} olarak seçilmesine karşın bu eşitliklerin çözülmesi için (a) gibi bir ek parametreye gerek duyulmuştur. Lisanslı bir paket program kullanılarak parametreler hesaplanmış, $a = -0.135$ ve $\eta = 41.5$ olarak bulunmuştur. Bu durumda Eşitlik 10 ifadesi ile verilir:

$$R(t) = e^{-\lambda_{new} * \left(\frac{V}{V_{cr1}} + a \right)^\eta * t^m} \quad (10)$$

Bu ifadede : $\lambda_{new} = 10^{-5}$, $V_{cr1} = 3.5$, $a = -0.135$,
 $\eta = 41.5$, $m = 3.3$
olarak kullanılmıştır.



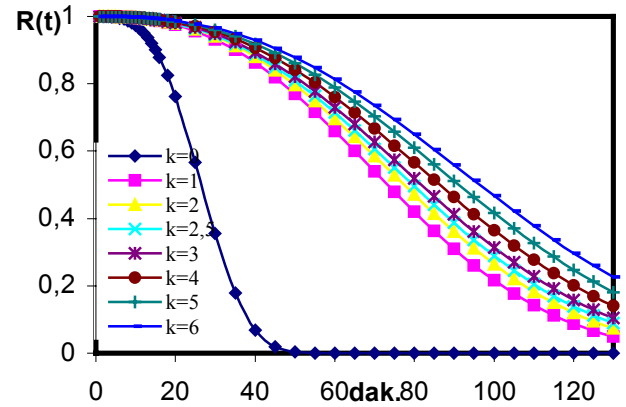
Şekil 5: 4kV gerilim uygulandığında bor katkılı ve bor katkısız örneklerle yapılan sonuçlarının güvenilirlik faktörünün, zamanla değişimi.

Aşağıda yer alan formül 4kV gerilim altında farklı bor konsantrasyonları (k) için bozulma zamanı eğrisini vermektedir.

$V \geq 4kV$ değerleri için $\Rightarrow$

$$R(t) = e^{-\lambda_{new} * \left(\frac{V}{V_{cr1}} + a \right)^\eta * t^m * \frac{1}{F1^k}} \quad (11)$$

bu ifadede : $\lambda_{new} = 10^{-5}$, $V_{cr1} = 3.5$, $a = 0.35$,
 $\eta = 0.7$, $V_{cr2} = 5$, $\alpha = 10$, $m = 2.55$,
olarak kullanılmıştır.



Şekil 6: Bor konsantrasyonunun etkisi göz önüne alındığında güvenilirlik faktörü R(t)'nin zamanla değişimi.

Hesaplamalar sonucunda 'F1' sabiti '1.15' olarak bulunmuştur.

4. BULGULAR

Bu çalışmada bor katkılı polyester örneklerin yüzeyde iz oluşumu test yöntemi ile bozulma süreleri belirlenmiştir. Deney sonucunda bozulan polyester yüzeylerinden iki farklı örnek Şekil 2'de görülmektedir. Bu çalışmada bor konsantrasyonunun polyesterin kullanım ömrü üzerine olumlu etkileri olduğu görülmüştür. Yapılan deneyler sonunda farklı bor konsantrasyonlarındaki örneklerin iz oluşumu başlangıç süreleri ve yüzeylerindeki iz oluşumu davranışı değişmektedir. Şekil 2.a'da 4 kV gerilim ve 36 ml/h sıvı akış hızında polyester örneğin iz oluşumu davranışını veren bir örnek verilmiştir. Şekil 2.b'de ise ağırlıca %0.1 oranında bor katkılanmış polyester örneğin iz oluşumu görülmektedir. Bulgular bor konsantrasyonunu arttırdığımızda iz oluşumuna karşı dayanımının arttığını göstermektedir. Bunun yanı sıra belirli bir seviyeden sonra arklar tarafından oluşturulan karbon miktarının azalması ile örneklerin yüzeyinde iz oluşumu yerine erozyon oluşumu eğiliminde olduğu görülmüştür.

Polyester yüzeyinde iz oluşumu (bor katkılanmadığı durum için) deney sırasındaki sürekli arklar ve kıvılcımlar nedeniyle yüzeyde sıcak noktaların oluşması ve bu noktaların karbonize olması şeklindedir. Bor katkılı örneklerin yüzeyindeki bozunmalar erozyon ve yüzeyde iz

oluşumu şeklinde gerçekleşmiştir. Fakat bor katkısız örneklerde yüzeydeki bozulmaların daha derin olduğu gözlenmiştir.

Tüm deneyler sonucunda farklı bor konsantrasyonları için hesaplanan ortalama bozulma süreleri Şekil 3’de verilmiştir. Şekil 4’de bor konsantrasyonunun iz oluşumu başlangıç süresine olan etkisi verilmiştir. Polyester içindeki bor konsantrasyonu attıkça bozulma sürelerinin hızla arttığı görülmektedir. Bor konsantrasyonu örneklerin belirli yüzey özelliklerini değiştirmesine karşılık, örneklerdeki iz oluşumu başlangıç süresini ve toplam bozulma süresini daima arttırmıştır.

Deneyisel bulgulardan ilgili bağıntılar kullanılarak Şekil 4’de görülen Weibull değişim grafiği elde edilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere polyester reçine kullanılarak elde edilen veriler Weibull dağılımına düzgün bir şekilde uygulanabilmektedir. Grafıksel Çizim Tekniği kullanılarak şekil ve ölçek parametreleri hesaplanmıştır. Bor katkılı polyesterler için şekil parametresi $m = 2.552689$, ölçek parametresi $\lambda = 4.2 \cdot 10^{-5}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil ve ölçek parametreleri kullanılarak güvenilirlik faktörü belirlenmiştir. Bor katkılı ve bor katkısız polyester örnekler için güvenilirlik faktörünün zamanla değişimi Şekil 5’de görülmektedir. Deneylerde polimer yalıtkanlar için ortalama bozulma süreleri 30-40 dakika civarında bulunurken bor katkılı örnekler için bu sürenin 100-120 dakikaya çıktığı gözlenmiştir.

Benzeri sonuç Weibull yaklaşımında da görülmektedir. Diğer yandan daha önceki çalışmalarımızda çevre faktörlerinin etkisini iyi bir yaklaşımla veren bir üst Weibull modeli geliştirilmişti[4]. Benzeri bir uygulama borlu örnekler içinde gerçekleştirildi. İlgili, bağıntılar kullanılarak yapılan hesaplardan deneylerle oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Farklı bor konsantrasyonları için hesaplanan güvenilirlik faktörlerinin değişimi Şekil 6’da verilmiştir. Güvenilirlik faktörlerinin deneyisel bulgularla oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Lyday, P.A. 1995 Boron Annual Review, U.S.Bureau of Mines. Washington, U.S.A
- [2].“The Economics of Boron 1993”, Roskill Information Services Ltd, 18 Mart 1993.
- [3]. Standard test methods for liquid contaminant, inclined plane tracking and erosion of insulating materials’, ASTM (2303), 258-270, 1983.
- [4]. 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
- [5]. A.Kuntman, M.Ugur, A.Merev, “A study on the investigation of surface tracking in polyester

insulators”, Eleco'99 International Conference on Electrical and Electronics Engineering, 84-88, December 1999.