

**T. C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİMERİK YALITKAN MATERYALLERDE ÇATLAK BÜYÜMESİNİN
MATEMATİK MODELLEMESİ**

ELİF BALİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MATEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MATEMATİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. KEVSER KÖKLÜ**

İSTANBUL, 2013

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen sayın hocam Doç.Dr. Kevser KÖKLÜ, tezimde kıymetli zamanını ayıran Yrd. Doç. Dr. İbrahim GÜNEŞ ve tüm sabrını, emeğini ortaya koyan sayın hocam Yrd.Doç.Dr.Emre EROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme, arkadaşlarıma ve özellikle her daim yanımda olduğunu bana hissettiren sevgili arkadaşım Arş. Gör. Duygu ÜÇÜNCÜ'ye teşekkürü borç bilirim.

Mart, 2013

Elif BALİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2	
MALZEME VE YÖNTEM	4
2.1 Sentetik Polimer Katı Yalıtkan Malzemeler	4
2.1.1 Poliyeten.....	4
2.1.2 Çapraz Bağlı Poliyeten	5
2.1.3 Polivinilklörür.....	5
2.1.4 Elastomerler	5
2.1.5 Epoksi Reçineler	6
2.1.6 Polyesterler	6
2.2 Yüzey Aşınım Test Metodları.....	8
2.2.1 Eğik Düzlem Testi.....	8
2.2.1.1	
Test Örneğinin Yapılışı	9

2.2.1.2	Deney Düzenekinin Kuruluşu	10
2.2.2	CTI (Comperative Tracking Index Test)	15
2.2.3	Tozlu - Sis Testi	17
2.2.4	Tuzlu - Sis Testi	18
2.3.	Polyester İzolatör Bozulmaya Etki Eden Faktörler	19
2.3.1	Gerilim Düzeyi	19
2.3.2	Akış Hızı	19
2.3.3	Malzeme Tipi	22
2.3.3.1	Kullanılan Polimer ile İlgili Tanımlar	22
2.3.3.2	Polimerik Maddelerin Yapısı ve Özellikleri	22
2.3.4	Yüzey Durumu	23
2.3.5	Dış Faktörler	23
BÖLÜM3		
BULGULAR ve PROBLEMİN FORMÜLASYONU		25
3.1	Titreşim Etkisi Altında Yapılan Deneyler	25
3.1.1	Düşük Titreşim Değerleri Altında Yapılan Deneyler	26
3.1.2	Orta Titreşim Değerleri Altında Yapılan Deneyler	27
3.1.3	Yüksek Titreşim Değerleri Altında Yapılan Deneyler	28
3.1.4	Titreşim Etkisi ile Yorulan Örnekler Üzerine Yapılan Deneyler	30
3.2	Stokastik ile Yorulma Analiz Modelinin Diferansiyel Denklemi	33
BÖLÜM 4		
SONUÇ VE ÖNERİLER		38
KAYNAKLAR		39
ÖZGEÇMİŞ		41

SİMGE LİSTESİ

AC	Alternatif akım
A	Amper (akım şiddeti birimi)
DC	Doğru akım (Direct current)
dB	Desibel
kΩ	Kilo ohm (direnç birimi)
kV	Kilo volt (gerilim birimi)
mA	Mili amper (akım şiddeti birimi)
N	Newton (kuvvet birimi)
R	Gerilme oranı
V	Volt (gerilim birimi)
ΔK	Şiddet aralığı
μm	Mikrometre

KISALTMA LİSTESİ

ASTM D2303	Eğik Düzlem Test Methodu
CTI	Karşılaştırmalı İzleme Endeksi
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Epoksi reçine kullanılarak yalıtılmış bir akımtransformatörü 6
Şekil 2. 2	Polyester izolatör 7
Şekil 2. 3	Deneylerde kullanılan test örneğinin boyutları 10
Şekil 2. 4	Deney düzeneğinin gösterilimi 11
Şekil 2. 5	Yüksek gerilim elektrodu..... 11
Şekil 2. 6	Toprak elektrodu..... 12
Şekil 2. 7	Deney düzeneğinin şematik gösterilimi 13
Şekil 2. 8	Eğik düzlem test düzeneğinin blok gösterilimi 13
Şekil 2. 9	Test örneğinin deney esnasında çekilmiş fotoğrafı 14
Şekil 2. 10	Deneylerde kullanılan test düzeneğinin genel görünümü..... 15
Şekil 2. 11	CTI testindeki elektrotlar 16
Şekil 2. 12	CTI test düzeneği..... 16
Şekil 2. 13	Tozlu - sis test düzeneği 17
Şekil 2. 14	Tuzlu - sis düzeneği 18
Şekil 2. 15	Akış hızının aşınmaya etkisi..... 20
Şekil 2. 16	4kV' luk gerilimde farklı akış hızlarında boşalma olayı 21
Şekil 3. 1	Polyester yalıtkanlarda iz oluşumuna titreşimin etkisinin incelendiği testdüzeneği..... 26
Şekil 3. 2	Düşük titreşimde yapılan deneyler sonucunda polimerik yalıtkanlardaki iz oluşumu 27
Şekil 3. 3	Orta titreşime maruz kalan örneklerde iz oluşumu 28
Şekil 3. 4	Yüksek titreşime maruz kalan örneklerdeki oluşan izler 29
Şekil 3. 5	Titreşimin polyester örneklerin kullanım süresine olan etkisi..... 30
Şekil 3. 6	Yüksek titreşim etkisi altında yorulan deney örnekleri 31
Şekil 3. 7	Simülasyonun zaman – titreşim yörüngeleri 36
Şekil 3. 8	Deneyssel olarak N arttıkça maksimum olabilirlik tahmin edicilerin gerçek değerlerine yakınsaması..... 36

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Polyester örneklerin hazırlamasında kullanılan farklı formüller 9
Çizelge 2. 2	Aşınmanın başlangıç süresine gerilim seviyesinin etkisi 19
Çizelge 3. 1	Düşük titreşim seviyesi için deney sonuçları..... 27
Çizelge 3. 2	Orta titreşim seviyesi için deney sonuçları 28
Çizelge 3. 3	Yüksek titreşim seviyesi için deney sonuçları 29
Çizelge 3. 4	Yüksek titreşim ile yorulan örneklerle ait deney sonuçları..... 31
Çizelge 3. 5	Parametre tahmini 34
Çizelge 3. 6	Anova (Düşük, orta, yüksek, seviye)..... 34
Çizelge 3. 7	Yorulma seviyeleri parametre tahmini 35
Çizelge 3. 8	Anova (Yorulma seviyesi için)..... 35
Çizelge 3. 9	Brownian Diferansiyel Denkleminin simülasyon katsayısı 35

**POLİMERİK YALITKAN MATERYALLERDE ÇATLAK BÜYÜMESİNİN
MATEMATİK MODELLEMESİ**

Elif BALİ

Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Kevser KÖKLÜ

Eş Danışman:Yrd. Doç. Dr. Emre EROĞLU

Elektrik endüstrisinde önemli problemlerden birisi de enerjinin ucuz ve güvenli olarak taşınmasıdır. Büyük miktarda enerji taşıyabilmek için yüksek voltaja ihtiyaç duyulması, buna mukabil güvenlik problemleri, çevresel faktörler, deşarj olayları da çözülmesi gereken problemler arasındadır. Endüstride katı materyaller gaz ve sıvılara göre daha fazla kullanılırlar. İyi bir dielektrik malzeme delinmeye karşı sağlam, düşük kayıplı, yüksek mekanik dayanıklı, kimyasal etkileşime ve sıcaklığa karşı dirençli olmalıdır. Yani çevresel faktörlerden etkilenmemelidir. Eğik düzlem test düzeneğinde kullanılan materyalde yukarıdaki şartlara uygun olan bir malzemedir. Çalışmada malzeme çeşitli deney şartlarında sınanmış, bu sınamalara karşılık datalar elde edilmiş, datalar bilgisayar programı yardımıyla kurgulanmış ve kurgu model olarak tezde yerini almıştır. Nonlineer regresyon modeli Black Holes (Geometrik Brownian) diferansiyel denkleminin özel bir çözümü olarak düşünülebilir. Matematiksel model (nonlineer regresyon modeli) zamana bağlı bozulmayı ifade ettiğinden okuyucuya parametre tahmini yaparak (bilgisayara yaptırarak) aynı deney şartları altında laboratuara girmeden de yorulma ve kırılma tahmini yapabilme imkanı vermiştir. Nihayetinde tezde, titreşim parametreleri ile polimerik yalıtkanların dayanıklılığı ve kullanım süreleri arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Polimerik yalıtkan, kırılma, yorulma, nonlineer regresyon modeli, Black Holes diferansiyel denklemi

ABSTRACT

MATHEMATICAL MODELING OF CRACK GROWTH IN POLYMERIC INSULATOR MATERIALS

Elif BALI

Department of MathematicsEngineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Kevser KÖKLÜ

Co-Advisor: Assist. Prof. Dr. Emre EROĞLU

Electrical industry is facing a major problem which is the inexpensive and safe way of transferring the electrical energy that may occur with problems. There are also other issues that has to be solved such as; need of higher voltage in order to transfer larger volumes of energy, possible environmental and safety issues, discharge factors and etc. In industry, solid materials are often preferred more than liquid or gas materials. Additionally good dielectric material has to be durable for any possible damages and chemical reactions also these materials has to be heat resistant. The material that has been used during the inclined platform testing has the same qualifications above; which means the material is not affected by any environmental factors. In this study the material has been tested by many different testing conditions, the results of the tests have been edited in a computer environment and the possible scenarios of the model has been studied.

As one of the results; the non-linear regression model may be one of the solution for the Black Holes differential equations. The non-linear regression model has enabled the computers to estimate the crack and fatigue parameters without the need for us to study under the laboratory conditions.

Finally, the thesis will show the relations between the vibrancy parameters and the polymeric insulators durability and their life cycles.

Keywords: Polymetric isolator, crack, fatigue, non-lineer regression model, Black Holes differential equations

1.1 Literatür Özeti

Elektrik sanayisinde enerjinin ucuz ve güvenli transferi önemli bir sorundur. Yüksek gerilim enerjinin büyük bir kısmını taşımak için gereklidir. Yüksek gerilimin problemi güvenlik ve çevresel etmenlerin yanı sıra deşarj olmasıdır. Sanayide katı yalıtkanlar gaz ve sıvılardan daha çok istihdam edilir. Onlar gaz ve sıvılara nazaran daha dayanıklıdır. İyi bir elektrik malzemesinde delinme, düşük elektrik kaybı, sağlamlık, yüksek mekanik pota, sıcaklık, nem ve kimyasal etkileşime sahip olması kaçınılmazdır. Ayrıca çevre koşullarına karşı dayanıklı olması beklenir.

Elektrik endüstrisinde kullanılan yalıtkan malzemeler beş grupta incelenirler. Bunlar gazlar, vakum, sıvılar, katılar ve kompozitlerdir. Katı yalıtkan malzemeler elektrik güç sistemlerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yüzyılın başından beri geniş bir şekilde kullanılan izolatörler; cam, seramik ve porselenden yapılmakta iken günümüzde bu katı yalıtkanlara polimerik katı yalıtkanlar da eklenerek elektriksel yalıtım endüstrisindeki yerini almıştır. Polimerik yalıtkanlar esnek mekanik dayanımının yüksek ve hafif olmaları nedeniyle diğer katı yalıtkanlara göre daha çok tercih edilirler. Oldukça hafif bir malzemedan yapılmasına rağmen uzun süreli gerilmeler altında kaldığında polimerik yalıtım malzemelerinde kanal oluşumu ve yüzey aşınımının meydana gelmesi hızlanmaktadır. Yüzey aşınımı ve iz oluşumu yalıtkanın tamamında bozulmalara neden olabilen etkilerden birisidir, bu sebeple yüzey aşınımını inceleyen bir çok standart ve test metodu geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlileri ASTM D2303 ve IEC 587 test standartlarıdır. Bu çalışma dadeneyler Eğik

Düzlem Yüzeyde İz Oluşumu Test standardına (IEC587) uygun olarak yapılmıştır. Çalışmada polimerik yalıtkanları temsil etmek üzere üretim kolaylığı ve ucuz olması sebebiyle polyester kullanılmıştır. Polyester malzeme ile laboratuvar koşullarında uygun örnekler hazırlanmış, hazırlanan örneklerin içerisinde hava boşluğu kalmamasına özen gösterilmiştir. Çalışmalar sırasında yapay olarak oluşturulan dış etmenler altında malzemenin bozulma süresini tespit etmek için testler eğik düzlem yüzeyde iz oluşumu test metoduna uygun olarak yapılmıştır [1].

Yaşlanma sürecinde ise iki ana konu incelenmiştir. Önce bütün örnekler aynı ve sabit dış koşullar uygulanmış, daha sonra örnekler mekanik titreşimlere maruz bırakılmıştır.

Titreşim hızı değiştirildiğinde örneklerde yaşlanma etkileri gözlemlenmiştir. İkinci olarak, yaşlanma analizlerini elde etmeden önce tüm örnekler aynı koşullar altında üretilmiş ve yorulmuştur. Yorulma deneyi öncesi, yorulma aşamasına yaklaştıkça bozulma gözlemlenmiştir.

Polimerik yalıtkan malzemenin yaşlanma sürecine ilişkin matematiksel modeli tanıtalım. Stokastik adi diferensiyel denklemler; kırılma, yorulma ve mühendisliği de içeren bir çok stokastik sistemin dinamiğini modelleme imkanı sunar. Modelleme sürecinde en önemli adımlardan biri parametre tahminidir. Bununla birlikte, çoğu veri ayrık zaman periyotlarında görülür, oysa stokastik diferensiyel denklem neredeyse sürekli bir süreçtir. Bu elemesi zor olan tahminler dağılım kutuplanmasını sunar.

R farklı gerilme oran değerleri altında korelasyon ve çatlak büyümesinin tahmini için bir eşdeğer itici güç modeli önerilmiştir. Bu kuvvet belirli bir ΔK şiddet aralığı ve R gerilme oranı ile aynı çatlak büyüme oranı sonucu olması beklenen tamamen-zıt gerilim şiddet oranı tanımlar [3].

Bu çalışmada yorulma çatlak büyüme oranı, karışık mod(mod1, mod2) aşırı indüklenen gerilik bölgesi üstel model kullanarak tahmin edilmiştir. Esneklik modülü, verim, gerilme gibi malzemenin özelliklerinin yanı sıra gerilme şiddet yoğunluğunun aralığı, maksimum gerilme şiddet faktörü, eş değer gerilme yoğunluk faktörü olarak bu parametre tahmini çeşitli çatlak sürüş parametreleri ile korele edilmiştir[4]. Yorulma ve çatlak büyümesi problemlerini çalışmak ve ortalama büyüme eğilimlerine ek olarak

büyüme eğrilerinin çeşitliliğini vurgulamak için üç stokastik yorulma büyüme modeli sunulmuştur [5].

1.2 Tezin Amacı

Bu araştırmanın amacı endüstride katı yalıtkan olarak kullanılan polimerik yalıtkan malzemenin ASTM D2303 Eğik Düzlem Yüzeyde İz Oluşmu Test metodu yardımıyla mekanik titreşim etkisi altında yorulduktan sonra ömür süresinin değişiminin matematiksel denklemi incelenerek bir matematiksel model ortaya konulmasıdır [2].

1.3 Hipotez

Polimerik yalıtkan malzemelerin yorulmadan önce veya yorulduktan sonra farklı bozulma zamanlarına sahip olduklarını göstermek, ve zamana bağlı bir matematiksel model üzerine oturtmaktır [2].

MALZEME VE YÖNTEM

2. 1 Sentetik Polimer Katı Yalıtkan Malzemeler

Sentetik polimerler endüstride kullanılan tüm polimerik malzemeleri içerirler. Polimerler genelde iki grupta incelenirler. Termoplastikler ve termosetler. Erime sıcaklıkları düşüktür (100–120°C). Buna karşın esnek olmaları sebebi ile erime sıcaklıklarının altındaki sıcaklıklarda kalıplanabilir ve işlenebilirler. Bu özellikleri nedeniyle termoplastikler yüksek gerilim kablolarının yalıtımında kullanılırlar. Mekanik dayanımları ve sertlikleri termoplastiklere göre daha iyidir [6], [7].

2. 1. 1 Polietilen (PE)

Polietilenler kablo endüstrisinde yaygın olarak kullanılan termoplastik polimerlerdir. Etilenin (C_2H_4) polimerizasyonu ile elde edilirler. Uzun zincir halindeki polietilen molekülleri birbirleri ile kimyasal olarak bağlı değildirler. Bu nedenle sıcaklığında sert, fakat daha yüksek sıcaklıklarda akışkan sıvı haldedirler. %95 kristallenmeye sahip amorf katıdır. Kristallenmenin artması ile çekme dayanımları, kimyasal dayanımları artar. Polietilenin özellikleri çeşitli katkılayıcılar ve dolgu malzemeleri kullanılarak değiştirilebilir. Bunlar aminler, fenoller ve fosfitlerdir. Kablolarda kullanılan polietilenler kabloda yer alan iletken kısım ile temas halinde olduğu için polietilenin metalle reaksiyona girmesini önleyen katkı maddeleri içerirler. Böylece bakır iletken ve ekranla temas halindeki polietilenin reaksiyona girmesi önlenir. Alev önleyici özelliklerini arttırmak amacı ile antimonoksit, alüminyum trihidrat ve halojen bileşikler katkı maddesi olarak kullanılır [6], [7], [8].

2. 1. 2 Çapraz Bağlı Polietilen (XLPE)

Polietilen moleküllerinin çapraz bağlanmasıyla elde edilir. 125°C ye kadar çalışma sıcaklığına sahiptirler. Yüksek akım taşıyan kabloların yapımında kullanılırlar. 250°C civarında özelliklerini yitirirler. Polietilene nazaran aşınmaya karşı daha dayanıklıdırlar. Polietilenden bir diğer farkı da fiziksel özelliklerini yitirmeden daha fazla oranda katkı yapılabilir. Kısmi boşalmalara karşı daha dayanıklı ve uzun ömürlüdürler [6], [8].

2. 1. 3 Polivinilklorür (PVC)

1930'lu yıllardan beri kablo yalıtkanı olarak ve son dönemde de dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Vinilklorürün polimerizasyonu ile elde edilirler. PVC nin tipik olarak %56.8'i klorür içerir ve bu değer %67'ye kadar çıkartılabilir. PVC nin elektriksel endüstride kullanılan türünde %50 PVC, %25-35 arası plastikler ve kalan kısmı da katkılayıcılardan oluşur. Çalışma sıcaklığı 105°C'ye kadar uygundur[6], [7], [8].

2. 1. 4 Elastomerler

Elastomerler kauçuğa benzer elastik özellikler gösteren polimerik malzemelerdir. Güç sistemlerinde en çok kullanılanları silikon kauçuk, Etilen Propilen Kauçuk (EPR), Etilen Propilen Dien Monomerdir. Bu katkılayıcıların %50'si elastomer, hava koşullarına dayanıklı olması amacıyla %25'i karbon, %2'si sülfür ve sülfür bileşikleridir.

Silikon kauçuk yüksek gerilim kablo başlıklarında ve kablolarında yüksek sıcaklık yalıtkanı olarak kullanılırlar. Silikon kauçuk -55°C ile 200°C arasındaki çalışma sıcaklıklarında güvenle kullanılabilirler. Ozona ve hava koşullarına karşı oldukça iyi bir dayanımı vardır. Ayrıca alkollere, alkalilere, tuzlara ve hemen hemen bütün yağ ve verniklere karşı dayanıklıdırlar. Kablo yalıtkanları olmasının yanı sıra HTV silikon kauçuklar dış yüksek gerilim hatlarında seramik yalıtkanların üzerine kılıf olarak konurlar ve böylece yalıtkanın kirli havalardaki performansını arttırırlar.

Bir başka tür silikon kauçukta oda sıcaklığında vulkanize edilen (RTV) silikon kauçuktur. Genelde seramik yalıtkanların üzerinde koruyucu tabaka olarak kaplama yapılır. Bunların en karakteristik özelliği hidrofobik özellikleridir ki bu sayede ortamda kirlilik ve rutubet olması durumunda dahi oldukça yüksek bir yüzey dayanımı elde ederler.

Etilenpropilen kauçuk, orta ve yüksek gerilim kablolarında kullanılır, oldukça iyi elektriksel özellikler ve ıslak elektriksel kararlılığa sahiptir, esnektir [6], [7], [8].

2. 1. 5 Epoksi Reçineler

Termoset polimerler sınıfında yer alırlar, suya karşı dayanımları oldukça iyidir. Uzun zincirleri ve çapraz bağlı yapıları nedeni ile yüksek mekanik dayanıklılık gösterirler. Genelde yüksek mekanik dayanımları ve kullanılacak malzemeye ve metale oldukça iyi yapışması, rutubete karşı dayanıklılığı nedeniyle epoksi reçineler tercih edilirler. Süreli performansları oldukça iyidir, fakat kirli atmosferik koşullarda performansları oldukça kötüdür [6], [7], [8].



Şekil 2. 1Epoksi reçine kullanılarak yalıtılmış bir akım transformatörü [1]

2. 1. 6 Polyesterler

Polyesterler genellikle bir dialkolün bir diesterle reaksiyonu sonucu elde edilirler. Üç grupta incelenirler; esnek yapıya sahip olan sentetik kauçuklar, bunlar kolay şekil değiştirebilirler. Düşük erime sıcaklığına sahip (100-120°C) termoplastikler, soğukta katalize olabilen ve olamayan olmak üzere iki alt gruba ayrılır. Termosetler ise ısıya dayanıklı malzemeler olup mekanik darbelere karşı dayanıklıdırlar. Elektrik endüstrisinde termoset polyester olan alkidler kullanılır. Elektrik yalıtım malzemesi olarak kullanılan polyester bileşikleri aşağıdaki gibidir.

- MAG tipi mineral katkıli bileşiklerdir, dielektrik özellikleri iyidir ve ark dayanıklılıkları istenilen düzeydedir.
- MAI-60 tipicam-fiber katkıli bileşiklerdir, yüksek darbe dayanımı, iyi dielektrik özellikleri ve ark dayanımları mevcuttur.
- MAT-30 tipi ısıya dayanıklı, iz oluşumuna dayanıklı, aleve dayanıklı, yüksek darbelere dayanıklı, cam dolgulu mineral katkıli bileşiklerdir.
- MAI-30 tipimineral katkıli, cam-fiber katkıli bileşiklerdir. Mükemmel şekil alma ve kalıplanma özellikleri mevcuttur. Elektriksel arka, aleve, ısıya ve yüksek darbelere karşı dayanıklı olan bu bileşikler bunların yanısıra oldukça iyi mekanik ve elektriksel özelliklere sahiptirler [6], [7], [8].



Şekil 2. 2Polyester izolatör [1]

2.2 YÜZEYAŞINIM TEST METODLARI

Polimerik yalıtım mazemeleri servis ömürleri boyunca çeşitli yaşlanma mekanizmalarıyla karşı karşıya kalırlar. Bir çok faktör yapının dielektrik özelliğine zarar vermekte ve sonucunda da bozulma meydana gelmektedir. Fakat bu işlem uzun sürmekte olduğundan malzemenin kalitesi hakkında bir sonuca varmak zor olmaktadır. Bu tür problemleri çözmek için laboratuvar şartlarında hızlandırılmış test metotları gerçekleştirilmiştir. Bunları kısaca şöyle sıralayabiliriz.

- Eğik Düzlem Testi (Inclined Plane Test)
- CTI Test (Comparative Tracking Index Test)
- Tozlu – Sis Testi (Dust Fog Test)
- Tuzlu – Sis Testi (Salt Fog Test)
- Kuru Ark Testi (Dry Arc Test)
- Ayırık Nem Aşınım (Differential Wet Tracking) Testi
- Aşınım Dayanım Çarkı (Tracking Endurance Wheel) Testi

Testlerin bazıları güncelliğini yitirmiş olduğundan kullanılmamaktadır. Bu çalışmada zaman içerisinde çeşitli düzeltmelere uğrayan ve günümüzde halen kullanılmakta olan başlıca testler incelenecektir. Tezde yapılan deneyler Eğik Düzlem Testinde gerçekleştirildiği için bu teste daha ayrıntılı değinilecektir [1].

2.2.1 Eğik Düzlem Testi (Inclined Plane Test)

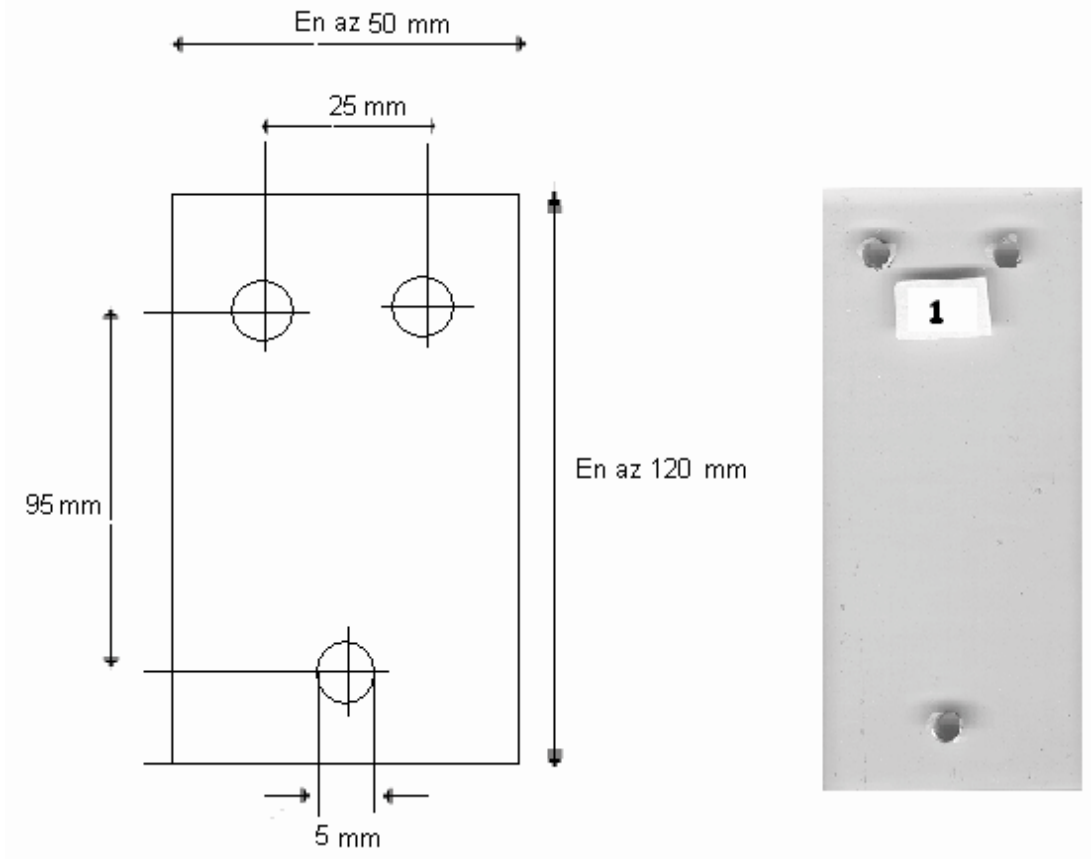
Eğik Düzlem Testi (Inclined Plane Test) ilk olarak 1961 yılında gerçekleştirilmiş ve 1964 yılında Amerika’da ASTM D2303 standardı olarak kabul edilmiştir. Bu test ile ilgili olarak ilerleyen yıllarda IEC 587 standardı olarak yeni bir standart geliştirilmiştir. ASTM ve IEC testleri arasında küçük farklılıklar olmakla birlikte temelde aynı teoriye dayanmaktadırlar [9], [10]. Bu çalışmada yapılan bütün testler Eğik Düzlem Testinde gerçekleştirilmiştir [1].

2.2.1.1 Test Örneğinin Yapılışı

Bu çalışmadaki deneylerde kullanılan örnekler polyester reçinesi ile laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Başlatıcı olarak Metil Etil Keton Peroksit (MEKP) ve hızlandırıcı olarak % 1 Kobalt-oktaset kullanılmıştır. Çizelge 2. 1’de polyester örneklerin hazırlanışında uygulanan farklı formüller verilmiştir [11]. Bu çalışmada kullanılan polyester test örnekleri hazırlanırken polyester hacminin % 0.25’si kadar Metil-Etil-Keton-Peroksit (MEKP) kullanılmış, %0.25’si kadar hızlandırıcı kobalt katılmıştır. Bütün örnekler aynı laboratuvar koşulları altında hazırlanmış, 35°C sıcaklıktaki bir fırında 4 saat süre ile pişirilmiştir. Hazırlanan örneklerin boyutları 120mmx50mmx9mm olacak şekilde hazırlanmıştır [9], [12].

Çizelge 2. 1Polyester örneklerin hazırlanmasında kullanılan farklı formüller [1]

Formül No	Katalizör (MEKP)	Hızlandırıcı-Kobalt	Rengi
1	%0.25	%0.25	Şeffaf
2	%0.5	%0.5	Açık yeşil
3	%0.25	%0	Şeffaf
4	%0.125	%0.125	Leylak



Şekil 2.3 Deneylerde kullanılan test örneğinin boyutları [1]

Elde edilen karışım kalıplara dökülerek birkaç dakika bekletilmiştir. Bu bekletme esnasında polyester içinde eğer hava boşlukları oluşmuşsa, bu kabarcıkların yüzeye çıkması beklenmiş ve toplu iğne ucu ile giderilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerek karışım gerekse kalıplama işleminde örnek yüzeylerinin pürüzsüz olması amacı ile tahta ve cam kullanılmaya özen gösterilmiştir. Şekil 2.3’de deneylerde kullanılan test örneğinin boyutları verilmektedir.

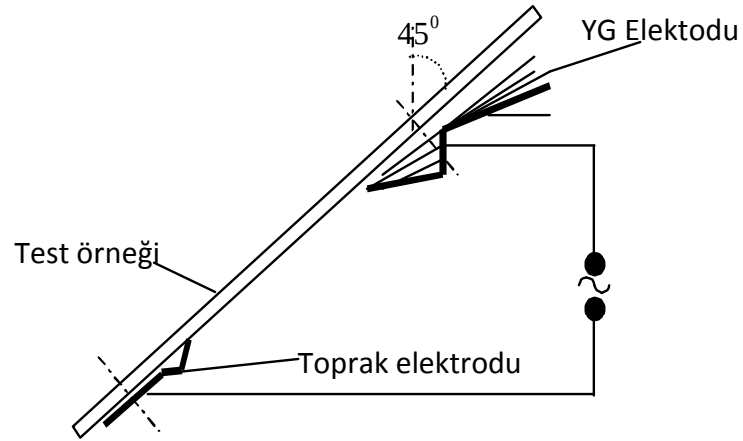
Test örneğinin üzerinden akacak olan sıvı, içerisinde %0.2 NH_4Cl (Amonyum klorür) ve %0.1 Trltôn-X olan elektrolit bir çözüldür. Bu çözüldürde amonyum klorür sıvının elektrik iletkenliğini artırmak, Trltôn-X ise sıvının yalıtkan yüzeyinde daha uzun süre kalmasını sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Test örneğinin üst kısmına yerleştirilen yüksek gerilim elektrodu ile alt kısma yerleştirilen toprak elektrodu arası en az 50 mm’dir [1].

2.2.1.2 Deney Düzenekinin Kuruluşu

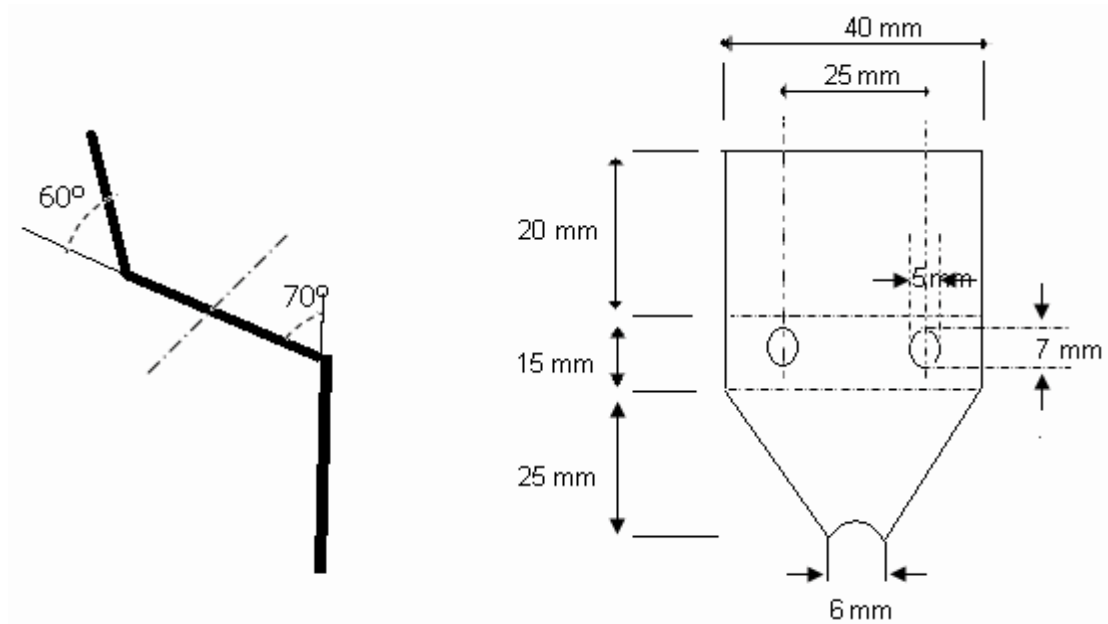
Şekil 2.4’deki deney düzenekği bu çalışmada örneklerin yaşlanma sürecini incelemekte kullandığımız deney düzenekğidir. IEC 587 standartlarına uygun olarak düzenlenmiştir

[10].Test örneği üzerinde kullanılan elektrodların tamamı paslanmaz çelik olup korozyona karşı dayanıklıdır.

Yüksek gerilim elektrodu ile test örneği arasına suyun düzenli bir şekilde akmasını sağlayan sekiz katlı vatman tipi filtre kağıdı bulunmaktadır. Yüksek gerilim elektrodu üstte, toprak elektrodu alttadır.

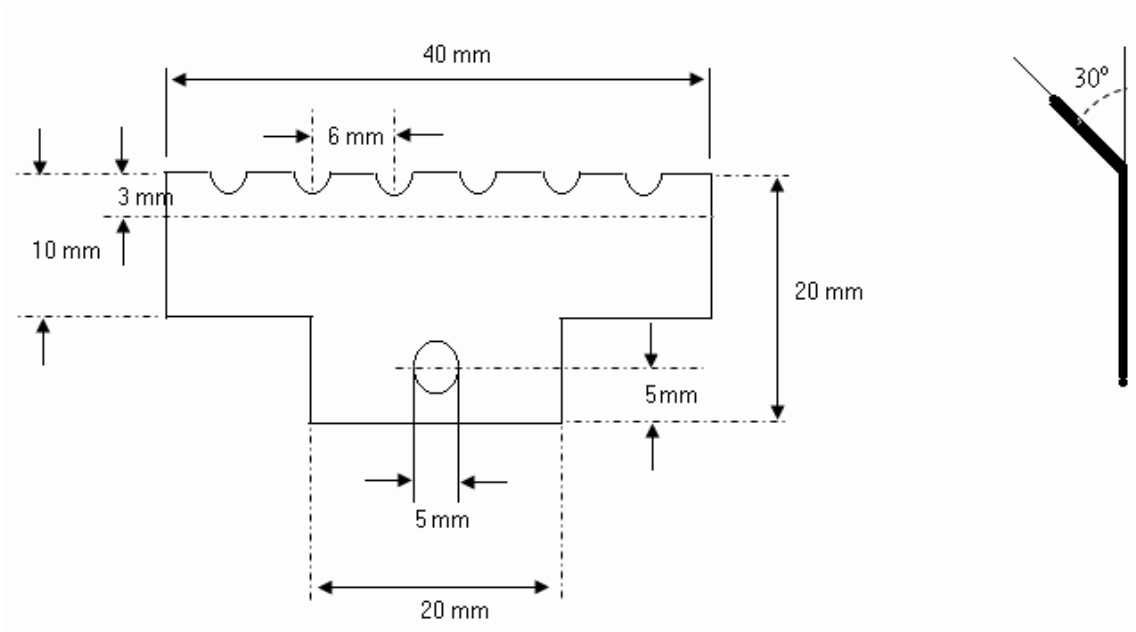


Şekil 2.4 Deney düzeneğinin gösterilimi [1]



Şekil 2.5 Yüksek gerilim elektrodu [1]

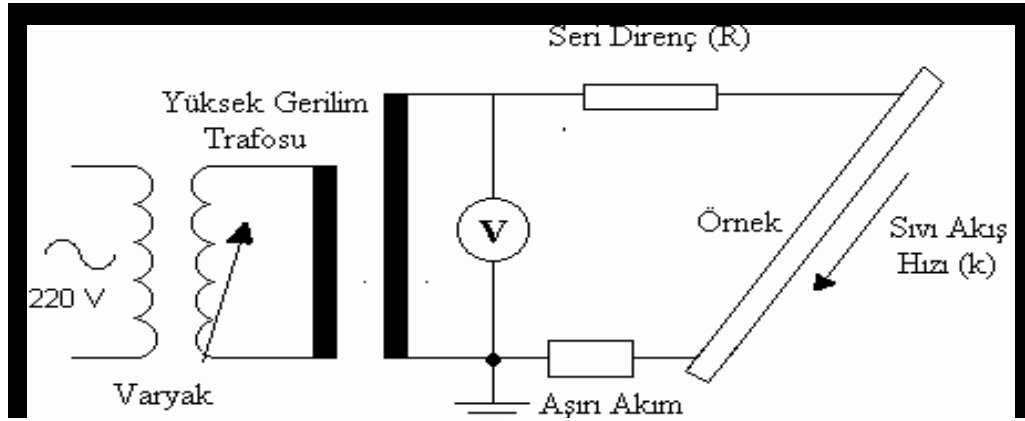
Yüksek gerilim elektrodu standartlarda belirtildiği gibi seri yada paralel bağlı 33 k Ω eşdeğerde dirençlerle sürülmekte ve kademeli olarak değerini değiştirebildiğimiz bir varyak ile beslenmektedir.



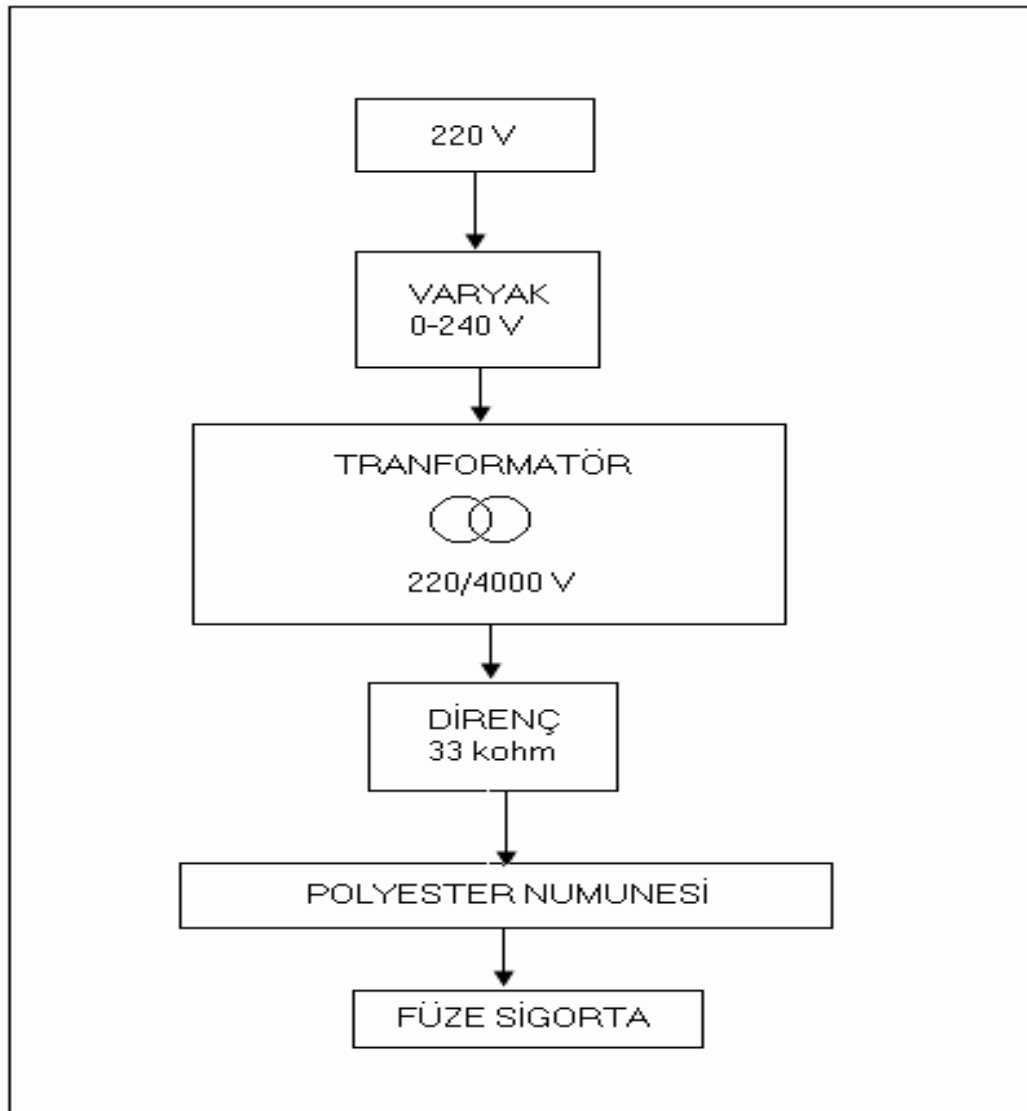
Şekil 2.6 Toprak elektrodu [1]

Test örneğinin üzerinden akan sıvının hızı 36 ml/saat olarak ayarlanmıştır. Kullanılan saf suyun içine %0.1 $\pm$ 0.002 oranında NH₄Cl (Amonyum Klorür) ve %0.2 $\pm$ 0.002 oranında da Trltôn-X100 eklenmektedir. Test örneğinin dikeyle 45° lik açı yapması nedeniyle, sıvı akışının yüzeyin tamamından geçmesi için çözeltinin içine yapışkanlık özelliğine sahip Trltôn-X maddesi katılmıştır [13].

Toprak elektrodu ile toprak arasına 60 mA lik bir sigorta koyarak, test örneğinin yüzeyindeki boşalmaların oluşturduğu ani akım yükselmeleri önlenmiştir. Test sisteminin şematik gösterilimi şekilde verilmiştir.

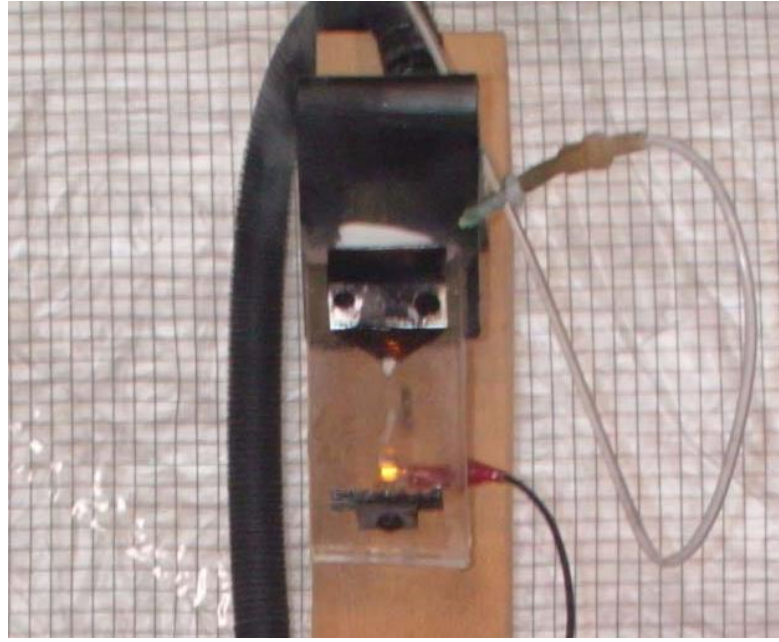


Şekil 2.7 Deney düzeneğinin şematik gösterilimi [1]



Şekil 2.8 Eğik düzlem test düzeneğinin blok gösterilimi [1]

Çalışmada kullanılan düzeneğin blok gösterilimi şekilde belirtilmiştir. 220 V şebeke gerilimi varyak ile kontrol altında tutularak 220/4000 V çevirme oranına sahip transformatör yardımıyla 4 kV'luk değere ulaştırılmaktadır. Transformatör çıkışında 33 k Ω , 18 Watt yüksek gerilime dayanıklı dirençler bulunmaktadır. Bu aşamadan sonra polyester test örneğinin üzerinde bulunan elektrodlara gerilim uygulanmaktadır. Test örneğinin yüzeyindeki deşarjların oluşturduğu ani akım yükselmelerini önlemek amacıyla, test düzeneğine 60 mA'lik koruma amaçlı sigorta ilave edilmiştir [1].



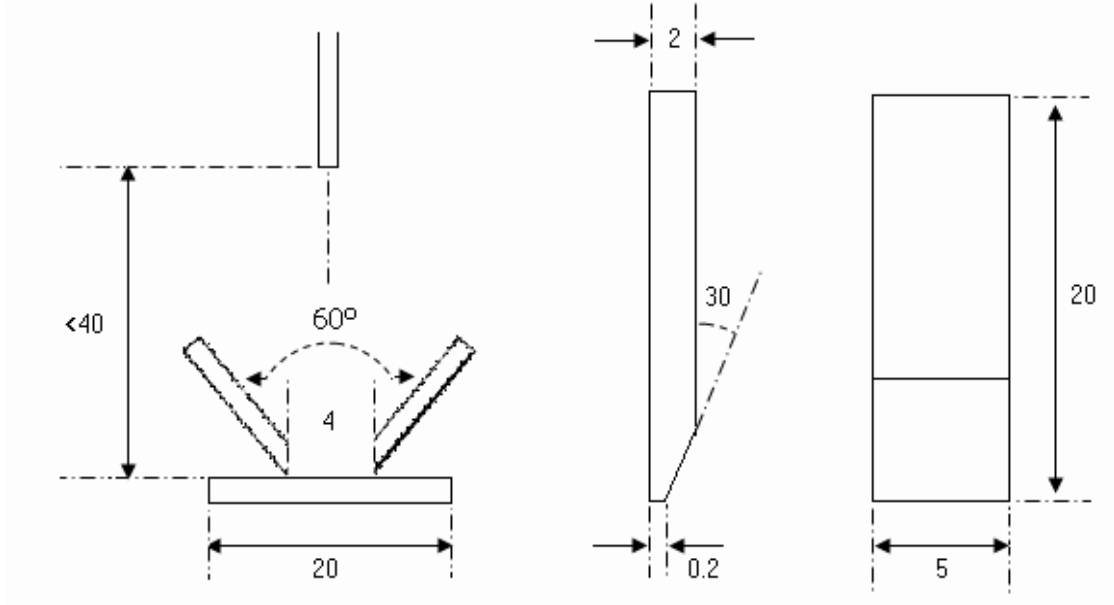
Şekil 2.9 Test örneğinin deney esnasında çekilmiş fotoğrafı [1]



Şekil 2. 10 Deneylerde kullanılan test düzeneğinin genel görünümü [1]

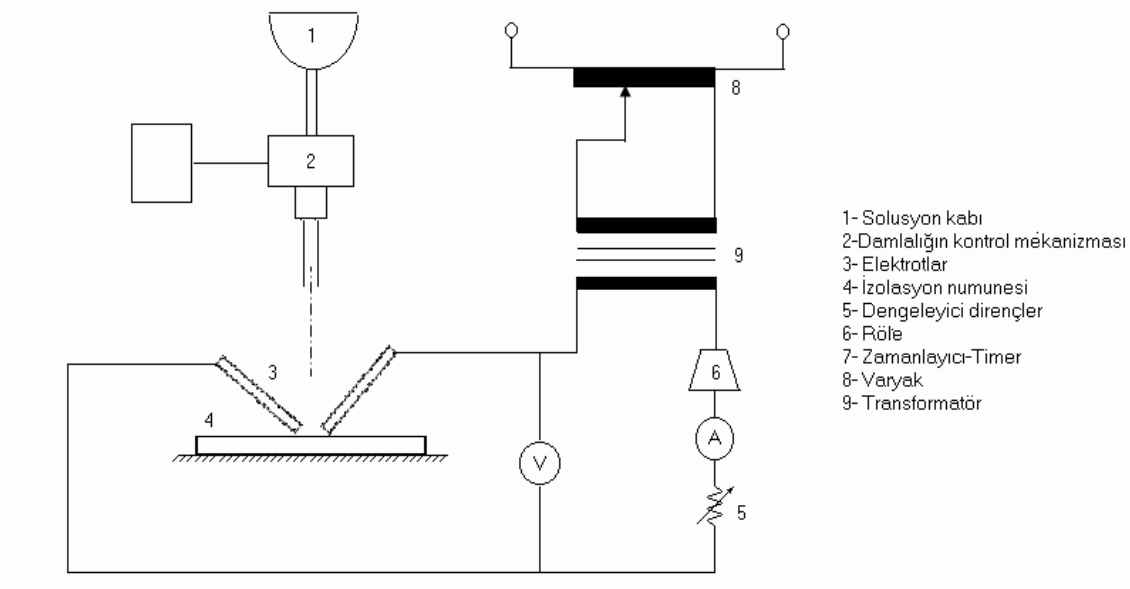
2.2.1 CTI (Comparative Tracking Index Test)

İlk olarak Norveç'te geliştirilmiş ve Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından 1959 yılında standart haline getirilmiştir. 1979 yılında ise IEC 112 standardı olarak son halini aldı. Testte iki adet 5mmx2mm ölçülerinde birbirine 60° açı yapacak şekilde duran iki platinyum elektrot kullanılmaktadır (Şekil 2. 11).



Şekil 2. 11CTI testindeki elektrodlar [1]

İzolasyon test örneğinin ölçüleri minimum 15mmx15mmx3mm'dir ve yüzeyindeki kuvvet 1 ± 0.05 N olmalıdır. İzolasyon örneğinin yüzeyine damlatılan sıvı $\%0.1 \pm 0.002$ oranında amonyum klorür içermektedir. Bu sıvı, elektrotlar arasına 30 ± 5 saniyede bir damla düşecek şekilde bir düzenekle birlikte kullanılmaktadır (Şekil 2. 12).



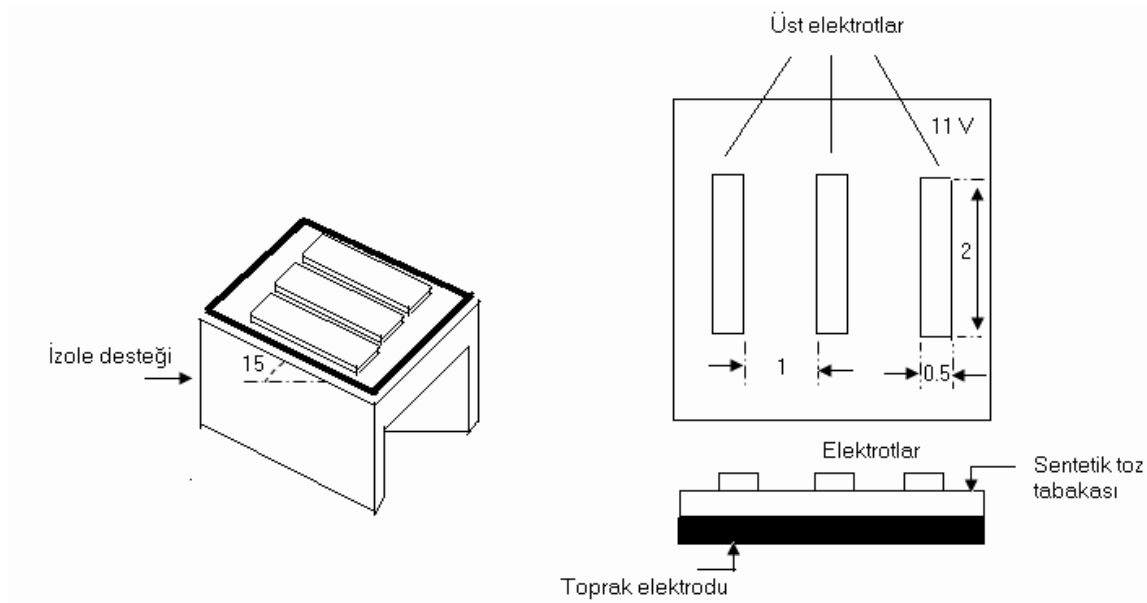
Şekil 2. 12 CTI Test Düzeneği [1]

Testten önce 150-750 V arası gerilim değeri seçilir ve devre direnci kısa devre akımını

1±0.1 A olacak biçimde sınırlayıcı bir değere ayarlanır. Test yaklaşık 50 damla düşene kadar sürdürülür. Eğer elektrotlar arasından akan akım değeri 0.5 A olursa bozulma gerçekleşir [14].

2.2.3 Tozlu-Sis Testi (Dust Fog Test)

Tozlu-sis testi ilk olarak 1956 yılında gerçekleştirilmiş ve ASTM D2132-68 standardı olarak 1979’da modife edilmiştir. Bu testte polyesterin yüzeyi %3 NaCl içeren katı kir tabakasıyla kaplanır ve yapay bir sise tabi tutulur. Test örneği 1.56 mm kalınlığında ve 152 mm² ölçülerindedir (Şekil 2. 13).



Şekil 2. 13 Tozlu Sis Test Sistemi [1]

Elektrotlar yerleştirildikten sonra, örnekler sentetik toz tabakasıyla 0.5 mm kalınlığında kaplanır. Yapay toz maddesinin içinde aşağıdaki maddeler bulunmaktadır.

- ☐ %85 Flink (SiO₂)
- ☐ %9 Çamur
- ☐ %3 Tuz
- ☐ %3 Hamur kağıt

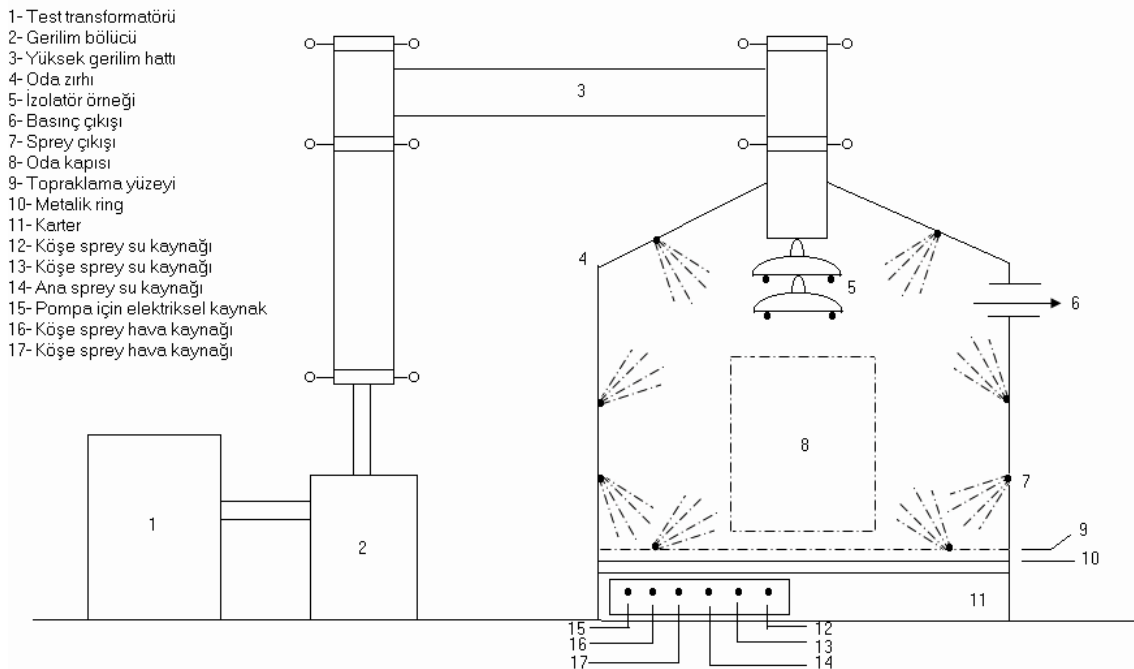
Bu karışımda tuz iyonik yüzey kirliliği oluşturur ve diğer maddeler ise yapışkan özellikler taşırlar. Sprey ile nemli örnekler üzerine püskürttükten sonra 500 V luk ilk gerilim uygulanır. Yüzeydeki nem kuruyana dek bu işlem sürer. Bu test; aşınım direnci, aşınım

etkisi ve aşınım hassaslığı olarak sınıflandırılabilir. Tipik test süresi 500 saat olup, 2000 saat sonra test örneğinin kullanılamaz hale geldiği görülmektedir [1].

2.2.4 Tuzlu-Sis Testi (Salt-Fog Test)

IEC 1109 standardı olarak literatürde geçmektedir. Polimerik izolatörlerde aşınım olayını en iyi bir şekilde anlatan metotlardan bir tanesidir. 10 kV luk bir test gerilimi kullanılır. Bu gerilim 25.4 mm çapında, 150-200 mm uzunluğundaki çubuk elektrotlara uygulanır. Test odası (Şekil 2. 14) sis ile doludur. Spreyleme sistemi ile bu sis test örneğine püskürtülür. Her sis tanesinin büyüklüğü 50 μm 'den büyük olmalıdır. Bu test, aşınım olduğu yerin bölgesini gözlemlemeyi ve akım seviyesini (0.5-5 mA) düzenli bir şekilde yükseltmeyi amaçlamaktadır. Ancak bu test, bir izolatörün servis ömrü hakkında tahmini bir değer vermek yerine, malzemenin aşınım eğilimi hakkında bir sınıflandırma yapmaktadır.

Test sonuçlarının güvenilirliğini ve doğruluğunu geliştirmek için, test prosedüründe bazı değişiklikler yapılmıştır. Örneğin spreyleme işlemi belirli anlarda durdurularak, izolatör örneğinin su tutma yüzey karakterinin analizine olanak tanımaktadır [1].



Şekil 2. 14 Tuzlu-Sis test düzeneği [1]

2.3 POLYESTER İZOLATÖRLERDE BOZULMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Yapılan çalışmalar, eğik yüzey testinde çeşitli faktörlerin polimerik izolasyonunun yüzey aşınım süresini etkilediğini göstermiştir. Bu faktörleri nem, yüzeyden akan sıvının miktarı, deney gerilimi, yalıtkan örneğinin yapısı ve yüzey durumu biçiminde sıralayabiliriz [1].

2.3.1 Gerilim Düzeyi

Gerilim düzeyinin yüzey aşınımına etkisi, çeşitli bilim adamları, araştırmacılar tarafından incelenmiştir ve farklı transformatör gerilimleri için aşınım süresinin de farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuşlardır [13]. Aşınım süresi standartlarda belirtilen uygun gerilim düzeyi ve akış oranı için düzenli bir şekilde değişmekte; yüksek gerilim değeri ve düşük akış oranı için bu sürenin çok ani sapma gösterdiği bilinmektedir (Çizelge2. 2).

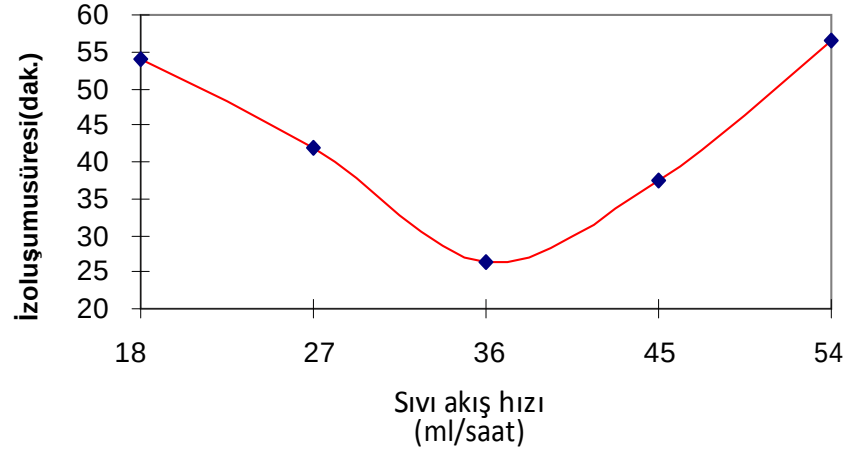
Çizelge 2. 2 Aşınmanın başlangıç süresine (sıvının akış hızı 36 ml/h sabit iken) gerilim seviyesinin etkisi [1]

Uygulanan Gerilim (kV)	Sıvının Akış Hızı (ml/saat)	Aşınımın Başlangıç Süresi (dk.)
3. 5	36	180
4. 0	36	26.41
4. 5	36	24
5. 0	36	22
6. 0	36	6.5

2.3.2 Akış Hızı

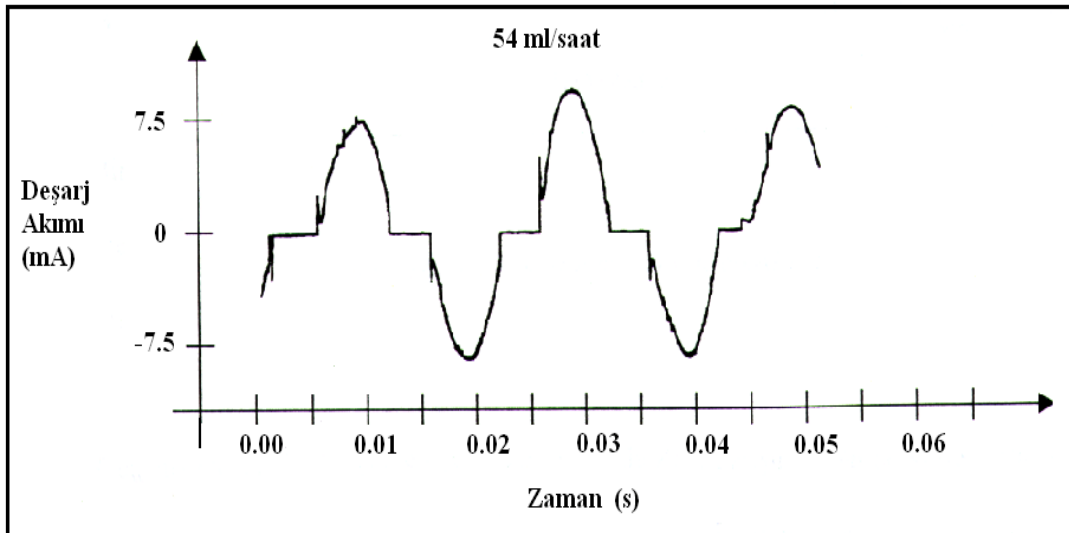
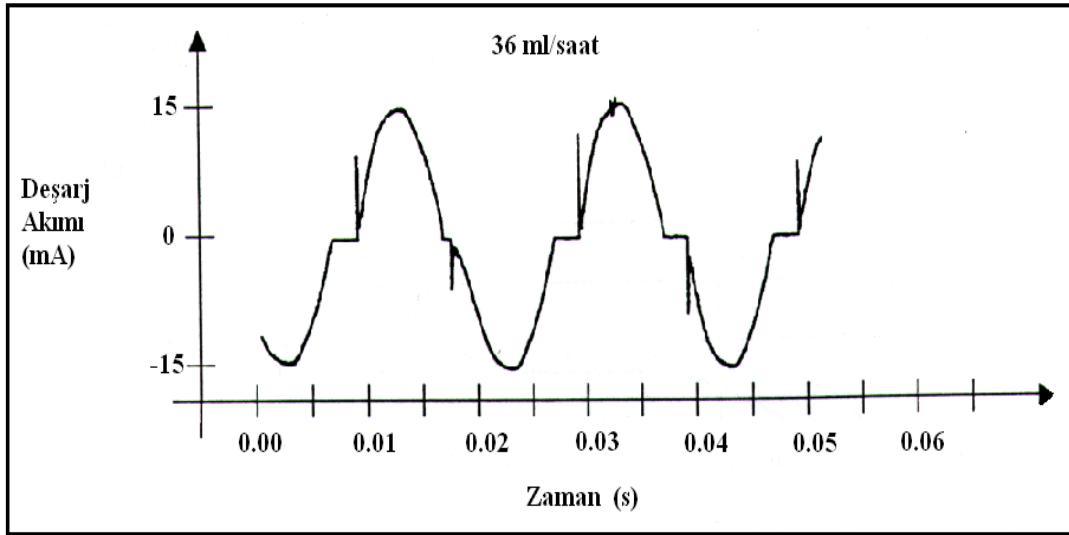
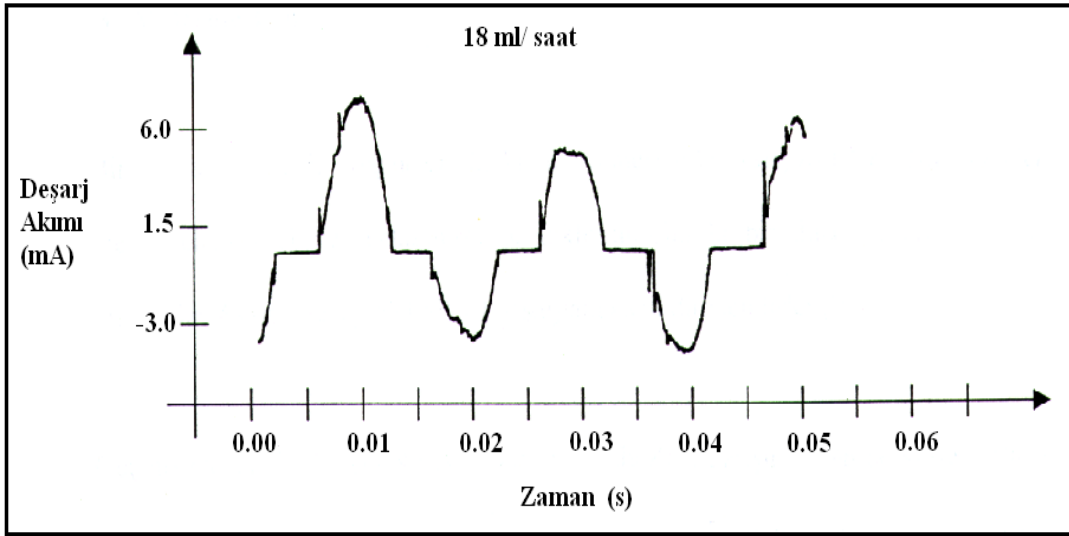
Yapılan çalışmalar sonucunda maksimum verim elde etmek için, optimum akış hızları elde edilmiştir (Şekil 2. 15). Optimum sıvı akış hızında kuru bölgelerin oluşumu hızlanır, ısı artar ve bozulma zamanı azalır. Akış hızındaki artış malzemeyi daha kararlı hale

getirmekte ve daha düşük yüzey direncinin oluşmasına neden olmaktadır. Böylece elektrotlar arasında daha güçlü arkların oluşmasına olanak tanınmış olur.



Şekil 2. 15 Akış hızının aşınmaya etkisi [1].

36 ml/saat olan akış hızından daha yüksek bir değerdeki akış, küçük genlikli boşalmalara neden olur, bu boşalmalar daha az zararlıdır, çünkü bunlar kararlı ve sürekli değildirler. Ayrıca yüksek akış hızı yüzeyin soğumasına yardımcı olmakta ve bozulmaya geciktirici etki yapmaktadır [13], [15].



Şekil 2.16 4 kV'luk gerilimde farklı akış hızlarında boşalma olayı [13].

2.3.3 Malzeme Tipi

2.3.3.1 Kullanılan Polimerler ile İlgili Tanımlar

Polimer çok büyük molekül ağırlığı olan kimyasal bir maddedir. Polimer molekülü birbirlerine kovalent bağlarla bağlanan monomerlerden oluşur. Polimerler kimyasal yapıları bakımından küçük organik moleküllerden çok önemli farklılıklar göstermekle beraber çok değişik ve olumlu fiziksel özelliklere sahiptirler.

Polimerler doğal ve yapay polimerler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğal polimerik maddeler yiyeceklerin, giyeceklerin, yapı ve taşıt malzemesinin temel ögesidir, doğal organik ürünlerden sağlanır. Ağaç, kağıt, yün, pamuk, ipek, deri vs. ve çoğu organik polimer olup temelde karbondioksit, oksijen, hidrojen ve azot içerir. Daha az olmak üzere flor, klor, brom, kükürt, fosfor ve silisyum içerir. Doğal kauçuk, nükleik asit, polisakteritler doğal polimerler grubuna girerler. Yapay polimerler ise fiziksel özelliklerine göre termoplastikler, termosetler, elastikler, kimyasal yapılarına göre ise polioloфинler, poliakrilatlar, poliesterler, polimaidler olarak sınıflandırılırlar [6], [7], [16]. Polimerler birçok alanda olduğu gibi elektrik yalıtımında da oldukça yaygın kullanılmaktadırlar. Polimerlerin dielektrik özellikleri ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmaktadır [13], [17].

2.3.3.2 Polimerik Maddelerin Yapısı Ve Özellikleri

Polimerik maddeler katı, sıvı ve çözelti halinde kullanılırlar. Polimer yapılarının açıklanması ve polimer yapısı ile fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkinin incelenmesinde molekül yapısının iki farklı yönünü belirtmekte yarar var. Kimyasal bileşim (polimerin yapısal formula ve adı) ve moleküler mimari (polimerin makro molekülün yapısı). Kimyasal bileşim terimi, polimerde yinelenen birimleri tanımlar. Polimerin yapısal formülü ve adı, kimyasal bileşimle belirtilir [18], [19].

Moleküler mimari terimi ise makromolekülün yapısını kapsar. Polimerin, doğrusal, dallanmış ya da üç boyutlu bir ağ örgüsü oluşuna göre yapısal düzeni değiştirir.

Dünyada üretilen polyesterlerin %96'sının monomeri sitrendir. Diğer %4'ü dietil ftalat, divinil benzen, metil sitren ve vinil asetat arasında paylaşılır.

Polyesterlerde sitrenin bu kadar çok kullanılmasının birinci nedeni ucuz olmasıdır. Diğer nedenleri ise karışabilirliği, polyester ile iyi bağdaşması, uygulama kolaylığı, kolay reaksiyona girmesi ve düşük viskozitesidir. Genel amaçlı reçinelerde reaktif seyreltici olarak tercih edilmektedir.

Polyestere çeşitli özellikler kazandırmak için farklı katkı malzemeleri kullanılır. Yanmaya karşı mukavemet sağlayan katkılardan biri olan ve reçineye %50 ye kadar ilave edilen $Al(OH)_3$ ile aynı zamanda iyi derecede mukavemet de sağlanmış olur. Polyestere MgO , CaO gibi maddeler katıldığında moleküldeki çift bağı etkilemeyen stabil bir bağlaşma oluşturmayan, bir jelasyon reaksiyonu meydana gelir. Bu reaksiyon sonucu, çok yoğun bir viskozitesi olan karışım, 120-130°C de presle kalıplama metodları ile sertleşme sonucu istenilen forma sokulur.

Polyesterde hacimsel çekmeyi önlemek için polietilen veya polisitren termoplastik katkı olarak ilave edilir [8]. Polyesterlere dolgu maddeleri katkılanarak mukavemet sağlanır. Dolgu maddelerinin bir diğer fonksiyonu da sertleşme esnasında oluşan ısıyı azaltarak çatlamaları önlemeleri ve bozulmayı azaltarak daha düzgün bir ürün elde edilmesini sağlamalarıdır.

2.3.4 Yüzey Durumu

Yüzeyi pürüzlü bir test örneğinde sıvı akışını düzenlemek çok güçtür. Düzenli bir akış sağlandığında elektrotlar arasındaki direnç etkisi de azaltılmış olur [20].

2.3.5 Dış Faktörler

Test örneğinin bozulmasına etki eden dış faktörler oldukça çeşitlidir. Bunlar ortamın nem dengesi, sıcaklığı, kirliliği, ortamdaki rüzgar miktarı, buz yükü gibi nedenlerden ötürü polyester izolatörler yalıtım özelliklerini yitirirler. Kirlilik, doğru gerilimlerde yalıtkanın kullanım ömrünü kısaltır, alternatif gerilimler için ise bu etki çok küçüktür. Aynı şekilde ortamın hava koşulları da ortamda kullanılacak gerilimin türüne bağlı olarak yalıtkan malzemenin seçimini de etkilemektedir [7], [8].

Yapılan deneylerde tüm dış etmenler sabit tutuldu ortamda yapay olarak oluşturulan titreşim etkisinin polyester örneklerdeki ömür süresinde meydana getirdiği değişiklikler

incelendi. Bu amaçla deney düzeneğinin yer aldığı düzleme bir adet 24 V DC kaynak ile beslenen vibrasyon motoru monte edildi. Vibrasyon motorunun besleme gerilimi değiştirilerek (arttırılıp-azaltılarak), farklı değerlerde titreşimler elde edildi ve her bir titreşim seviyesi için 5 kez deney tekrarlandı. Elde edilen titreşim değerleri Mini Seis Titreşim ve Hava Şoku izleme cihazı ile ölçüldü. Bu cihaz üç adet algılayıcı (boyuna, enine ve düşey) mikrofon, şarj, kontrol ve hafıza bilgisayar bağlantı sistemi, muhafaza ve taşıma sistemlerinden oluşmaktadır. Cihazın kayıtları; zaman esaslı olarak her bir olay için hava şoku, genlik, frekans, ivme ve parçacık hızı bileşenlerini (boyuna, enine, düşey, bileşke ve maksimum) içermektedir. Ayrıca elde edilen olayların ayrıntılı analizi için elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılabilir.

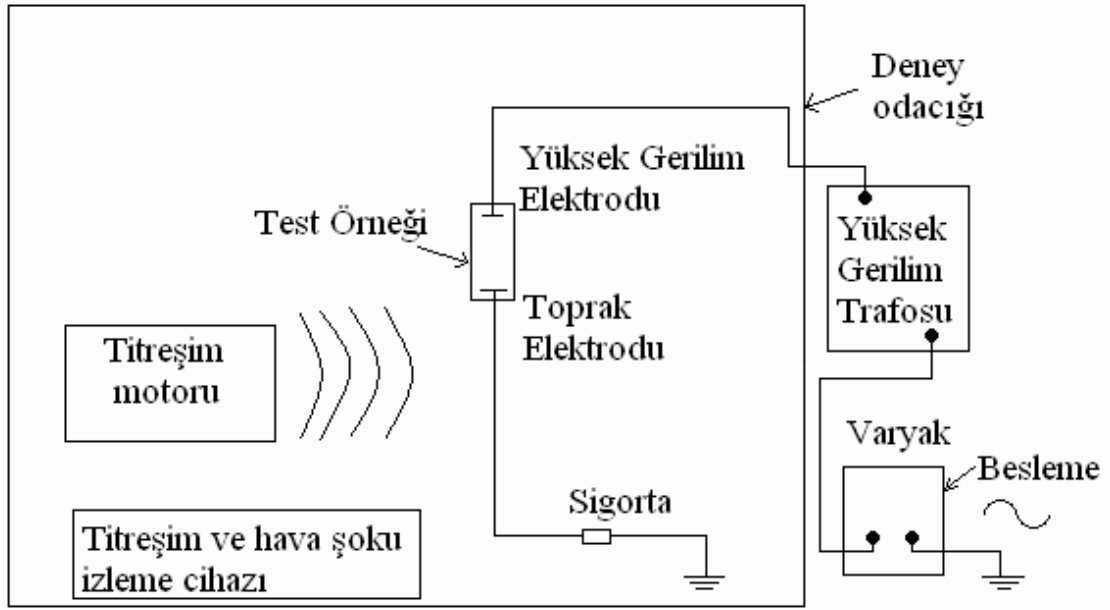
Cihaz ayrık veya sürekli kayıt yapabilmektedir. Her bir olayın süresine ve uzaklığa bağlı olarak 1-10 saniye arasında 150-200 olayı geniş ya da özet bilgiler halinde koruma yeteneğine sahiptir. Cihazın ölçüm limitleri parçacık hızı için 0.000127-0.25397 m/s ve gürültü için 100-142 dB aralıkları düzeyindedir. Bu limitler içerisinde istenilen aralıklar ayarlanabilmektedir. Kaydedilecek olay süresi, kayıt biçimi, istenilen birimler, çalışma sahası önceden programlanabilmektedir. Ölçekli mesafe verileri hafızaya kaydedilebilmektedir. Tüm bu işlemlere uygun modlar cihazın kontrol ve hafıza ünitesinde bulunmaktadır [21].

BULGULAR VE PROBLEMİN FORMÜLASYONU

3.1 Titreşim Etkisi Altında Yapılan Deneyler

Çalışmanın bu bölümünde yüksek miktarda titreşime maruz kalan alanlarda kullanılan polimerik yalıtkan malzemelerin servis ömründe meydana gelebilecek değişim laboratuvar koşullarında incelenmiştir. Günlük hayatta, transit yollarda ve köprülerde yer alan izolatörler taşıtlar nedeniyle, mevsim şartlarının ağır olduğu bölgelerde rüzgarın etkisi ile sürekli, maden ocakları civarında ise yapılan patlatmalar nedeni ile kısmi titreşime maruz kalmaktadır. Bu titreşim etkisi zamanla diğer faktörlerle beraber yalıtıkanda yaşlanmaya etki etmektedir.

Hazırlanan deney sistemin dediğer dışetkenler(rutubet, sıcaklık, gerilim, sıvıakışhızı vb.) sabit tutularak mekanik titreşimlere maruz kalan yalıtım malzemelerinin performansının zamanla nasıl değıştiğı incelenmiştir. Polimerik malzemenin ömrünün treşime bağılı değışimini tespit etmek için laboratuvar koşullarında yapay olarak oluşturulan bir düzenekte çeşitli genliklerde salınımlar oluşturularak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler polimerikyalıtkanların ömür kestiriminde yaygın olarak kullanılan Eğik Düzlem Yüzeyde İz Oluşumu Test standardına (IEC 587) uygun olarak yapılmıştır. Her aşamada ortamın titreşim hızı bir vibrasyon motoru yardımı ile değıştirilerek polimerik yalıtkanın yaşlanma sürecine etkisi incelenmiş ve titreşimin değışmesi ile test örneğinin yaşlanma süresi arasındaki ilişki elde edilmiştir.



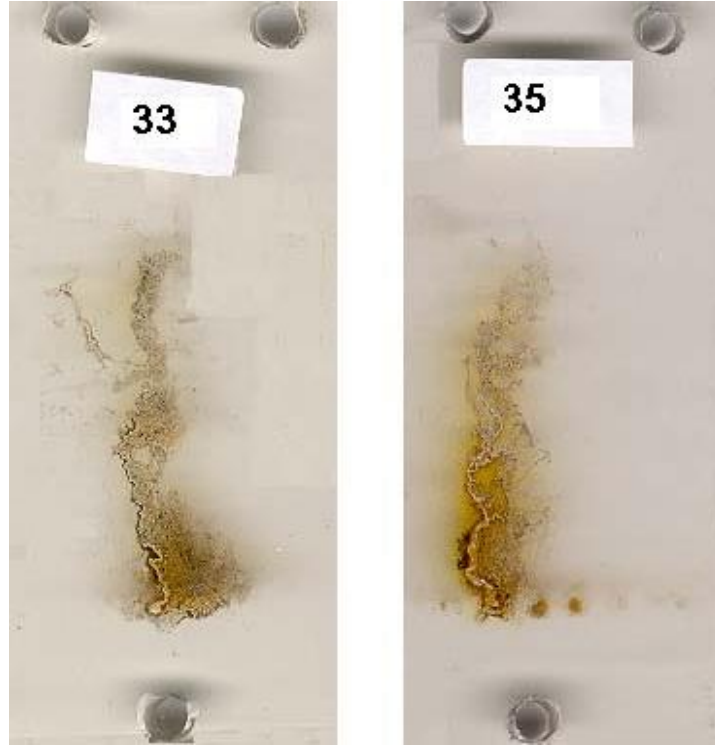
Şekil 3. 1 Polyester yalıtkanlarda iz oluşumuna titreşimin etkisinin incelendiği test düzeneği [1]

3.1.1 Düşük Titreşim Değerleri Altında Yapılan Deneyler

IEC 587 Eğik Düzlem Yüzeyde İz Oluşumu test metoduna uygun olarak test düzeneği hazırlandı. Deney düzeneğinde titreşim oluşturmak amacı ile 24 V DC gerilim kaynağı ile beslenen vibrasyon motoru kullanılmıştır. Bu motorun oluşturduğu titreşim polimerik yalıtkanların servis ömürleri sırasında maruz kaldıkları mekanik titreşimleri temsil etmektedir. Deney sırasında kullanılan motorun ürettiği titreşim değerleri besleme gerilimi ile doğru orantılıdır. Düşük titreşim değerlerini elde etmek için motor 6 V DC gerilimle beslenmiştir. Bu besleme sonucunda ürettiği titreşim değerleri zemin üzerinde ve yalıtkan örnek üzerinde ayrı ayrı titreşim ve hava şoku izleme sistemi ile ölçülmüş ve değerler Çizelge 3. 1’de verilmiştir [1].

Çizelge 3. 1Düşük titreşim seviyesi için deney sonuçları [1]

Titreşim Ölçümleri (mm/s)		Bozulma	Örnek No
Zemin Üzerindeki Titreşim	Örnek Üzerindeki Titreşim		
1. 52	5. 08	25. 02	31
1. 64	7. 11	28. 45	32
1. 52	5. 58	26. 12	33
2. 03	8. 12	28. 13	34
3. 04	8. 35	29. 56	35



Şekil 3. 2 Düşük titreşimde yapılan deneyler sonucunda polimerik yalıtkanlardaki iz oluşumu [1]

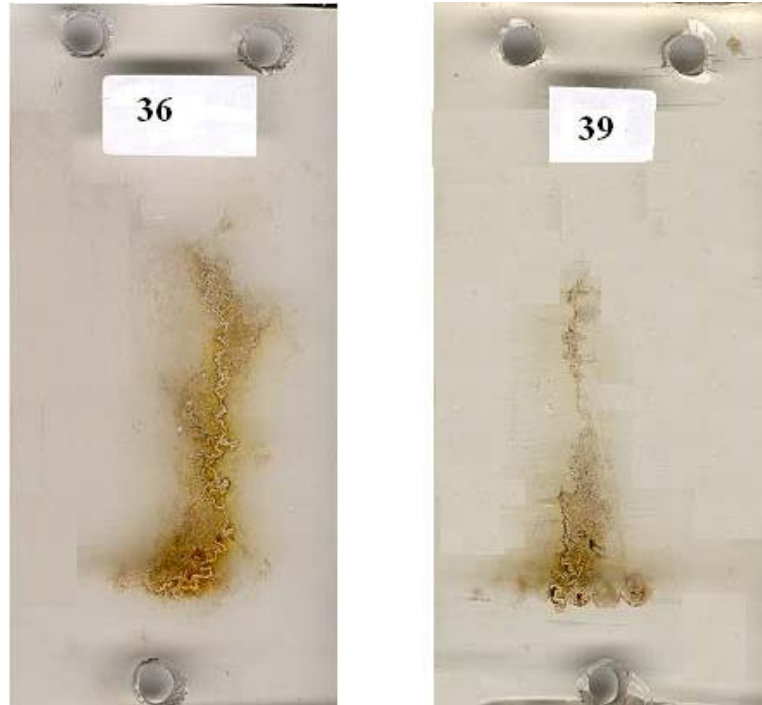
3.1.2 Orta Titreşim Değerleri Altında Yapılan Deneyler

IEC 587 Eğik Düzlem Yüzeyde İz Oluşumu test metoduna uygun olarak test düzeneği hazırlandı. Orta titreşim değerlerini elde etmek için motor 15 V DC gerilim ile beslenmiştir. Bu besleme sonucunda motorun ürettiği titreşim değerleri zemin üzerinde ve yalıtkan örnek üzerinde ayrı ayrı titreşim ve hava şoku izleme sistemi ile

ölçülmüş ve değerler Çizelge 3. 2’de verilmiştir [1].

Çizelge3. 2 Orta titreşim seviyesi için deney sonuçları [1]

Titreşim Ölçümleri(mm/s)(Orta titreşimleri için)		Bozulma Süresi(dk.)	Örnek No
Zemin Üzerindeki Titreşim	Örnek Üzerindeki Titreşim		
13. 71	18. 2	28. 46	36
14. 22	19. 1	29. 52	37
13. 80	19.65	29.35	38
15. 74	22. 8	30. 02	39
15. 9	23. 5	31	40



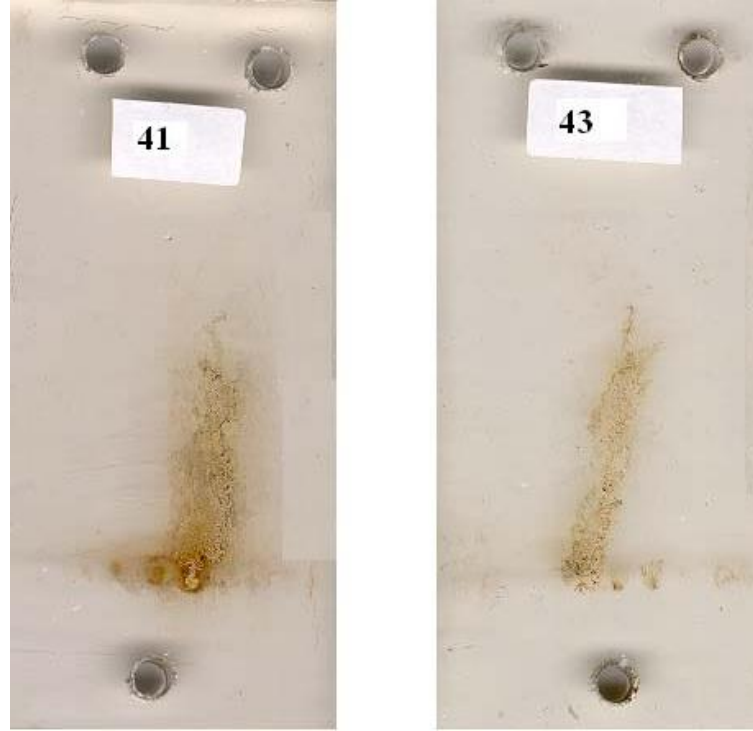
Şekil 3. 3 Orta titreşime maruz kalan örneklerde iz oluşumu [1].

3.1.3 Yüksek Titreşim Değerleri Altında Yapılan Deneyler

IEC 587 Eğik Düzlem Yüzeyde İz Oluşumu test metoduna uygun olarak test düzeneği hazırlandı. Yüksek titreşim değerlerini elde etmek için motor 24 V DC gerilim ile beslenmiştir. Bu besleme sonucunda motorun ürettiği titreşim değerleri zemin üzerinde ve yalıtkan örnek üzerinde ayrı ayrı titreşim ve hava şoku izleme sistemi ile ölçülmüş ve değerler Çizelge 3. 3’te verilmiştir [1].

Çizelge.3.3 Yüksek titreşim seviyesi için deney sonuçları [1]

Titreşim Ölçümleri (mm/s) (Yüksek titreşimler için)		Bozulma Süresi(dk.)	Örnek No
Zemin Üzerindeki Titreşim	Örnek Üzerindeki Titreşim		
24. 05	31. 4	34. 41	41
25. 9	32. 7	36. 50	42
27. 5	34. 5	35. 21	43
29. 9	36. 9	37. 08	44
30. 8	39. 1	36. 54	45

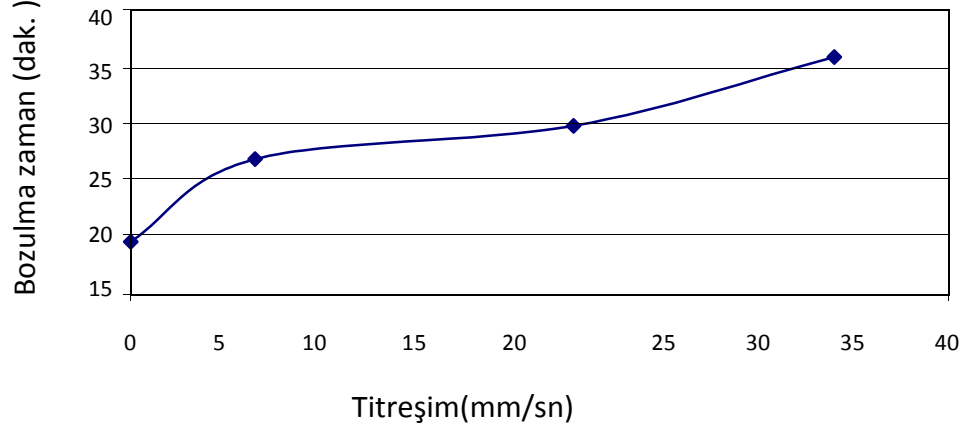


Şekil 3.4 Yüksek titreşime maruz kalan örneklerdeki oluşan izler [1].

Düşük, orta ve yüksek titreşim de yapılan çalışmalar aşağıdaki grafikte özetlenmiştir. Grafikten de görüleceği gibi artan titreşimle birlikte yalıtkan yüzeyinden akan sıvının geniş bir alana dağılması sonucu yalıtkan üzerindeki iz oluşumu süresi uzamıştır. Oluşan izin yüzey üzerindeki alanının genişlediği, derinliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Düşük titreşimler altında yapılan deneylerden elde edilen iz oluşumlarının genişliği 1.1-1.4cm, orta titreşimler altında yapılan deneylerden elde edilen iz oluşumlarının genişliği 1.3-

1.9 cm, yüksek titreşimler altında yapılan deneylerden elde edilen iz oluşumlarının genişliği 1.7-2.1 cm olarak ölçülmüştür.

Örnek üzerindeki titreşim-bozulmaz zamanı eğrisi



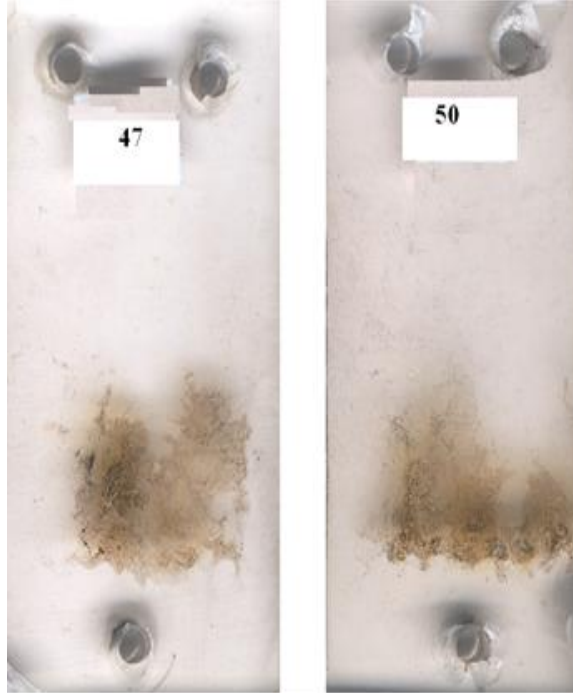
Şekil 3. 5 Titreşimin polyester örneklerin kullanım süresine olan etkisi [1].

3.1.4 Titreşim Etkisi ile Yorulan Örnekler Üzerinde Yapılan Deneyler

IEC 587 Eğik Düzlem Yüzeyde İz Oluşumu test metoduna uygun olarak test düzeneği hazırlandı. Yüksek titreşim değerlerini elde etmek için motor 24 V DC gerilim ile beslenmiştir. Bu besleme sonucunda motorun ürettiği titreşim değerleri zemin üzerinde ve yalıtkan örnek üzerinde ayrı ayrı titreşim ve hava şoku izleme sistemi ile ölçülmüştür. Deneyde kullanılan örnekler 8 saat süresi ile yüksek titreşimlere maruz bırakıldıktan sonra yorulan deney örnekleri ile yapılan deneylerin sonuçları Çizelge3. 4'te verilmiştir.

Çizelge 3. 4 Yüksek titreşimle yorulanörneklere ait deney sonuçları [1]

Titreşim Ölçümleri (mm/s) (Yüksek titreşimler için)		Bozulma Süresi(dk.)	Örnek No
Zemin Üzerindeki Titreşim	Örnek Üzerindeki Titreşim		
24. 05	31. 4	11. 50	46
25. 9	32. 7	12. 07	47
27. 5	34. 5	15. 20	48
29. 9	36. 9	8. 44	49
30. 8	39. 1	6. 58	50



Şekil 3. 6 Yüksek Titreşim etkisi altında yorulan deney örnekleri [1]

Yorulan örnekler ile yapılan deneyler sonucunda örneklerin yaşlanma sürelerinin ortalama 11. 02 dakika olduğu gözlemlenmiştir. Hiçbir etkinin olmadığı durumdaki örneklerin yaşlanma süresine göre titreşim etkisi ile yorulması sonucu örneklerin ömür süreleri azalmıştır. Bunun nedeni titreşimin örnekler üzerinde oluşturduğu mikro çatlaklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Deneylerde ilk olarak standart test koşulları için 4kV AC gerilim, 36 ml/saat sıvı akış hızı ve titreşimin olmadığı ve daha sonra deney düzeneğine vibrasyon motoru monte edilip yapay olarak hızı ve frekansı belli titreşimler üretildikten sonra, titreşim hızı ve frekansı değiştirilerek test örneğinin bozulma süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. İlerleyen aşamalarda deney düzeneğine yerleştirilecek örnekler deney başlamadan önce 8 saat süre ile yorulma etkisi altında bırakıldıktan sonra deney başlatılmış ve bozulma süresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Her test için minimum 5 örnek kullanılmıştır.

Bütün örnekler aynı laboratuvar koşulları altında polyester reçineden hazırlanmıştır. Daha sonra hepsi 35 °C dereceler bazılarında altı çizili bazılarında çizgisiz hepsini aynı sıcaklıktaki bir fırında 2 saat süre ile pişirilmiş sıcaklık her yarım saatte 5 °C arttırılarak toplam pişirme süresi 4 saat oluncaya kadar pişirme işlemine devam edilmiştir. 100mmx55mmx9mm ebatlarındaki test örnekleri, eğik düzlem test düzeneğine 45° açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Elektrolit çözelti olarak amonyum klorid (NH_4Cl) çözeltisi, elektrodlar arasında akıtılmıştır. Bütün örneklerin üzeri açık olup, tel kafes içinde, vibrasyon motoru ile üretilen farklı hız ve frekanslardaki titreşim etkisi altında ve önceden mekanik olarak yorulduktan sonra test edilmiştir [1].

Deney düzeneğinde titreşim oluşturmak amacı ile 24 V DC gerilim kaynağı ile beslenen vibrasyon motoru kullanılmıştır. Bu motorun oluşturduğu titreşim polimerik yalıtkanların servis ömürleri sırasında maruz kaldıkları mekanik titreşimleri temsil etmektedir. Deney sırasında kullanılan motorun ürettiği titreşim değerleri besleme gerilimi ile doğru orantılıdır. İstenen titreşim değerlerini elde etmek için motor düşük, orta ve yüksek titreşim seviyeleri için sırasıyla 6 V, 15 V ve 24 V DC gerilim ile beslenmiştir. Bu besleme sonucunda motorun ürettiği titreşim değerleri zemin üzerinde ve yalıtkan örnek üzerinde ayrı ayrı titreşim ve hava şoku izleme sistemi ile herhangi bir dış etki olmaksızın yapılan deneylerde polimerik yalıtkanın bozulma süresi 18 dakika olarak bulunmuştur. Test örneğinin bozulduktan sonra yüzeyindeki izler yapılan diğer deneylerdeki sonuçlara nazaran daha dar ve derin özelliktedir.

Titreşim etkisi altında yapılan deneyler sonucunda, mekanik titreşime maruz kalan polimerik yalıtkanın artan titreşim ile ömrünün de arttığı gözlemlenmiştir. Titreşim ile deney sırasında test örneklerinin üzerindeki sıvı akışı daha büyük bir alana

yayılmaktadır. Bunun sonucunda polimerik yalıtkan üzerindeki iz oluşumunun geciktiği gözlemlenmiştir. Mekanik olarak yorulan örneklerde de titreşim etkisi altında yapılan deneylerdeki örneklerde de rastlandığı gibi izlerin derin olmadığı görülmüştür. Yorulan bu örneklerin ömür sürelerinin oldukça kısalması ise titreşimin örnekler üzerinde oluşturduğu mikroçatlaklar sonucu olduğu düşünülmektedir [1].

3.2 Stokastik ile Yorulma Analiz Modelinin Diferansiyel Denklemi

Sürecin süreksiz yaklaşımındaki simülasyonunu çeşitli yöntemlerle göstermek için basit bir örnekle detaylı olarak inceleyeceğiz.

Itô $X = \{X_t, t \geq 0\}$ olarak göz önüne alalım, doğrusal stokastik diferansiyel denklemi

$$dX_t = aW_t dt + bW_t dW_t \quad (3.1)$$

$t \in [t_0, T]$, $X_0 \in \mathbb{R}^1$ ilk değeriyle beraber

Bu sapmayla $a(t, x) = ax$ ve difüzyon katsayısı $b(t, x) = bx$ ile beraber Itô sürecidir.

Itô stokastik denklemi Wiener sürecini ve rassal süreci içeren bir diferansiyel denklemdir. Bulunan model, stokastik diferansiyel denklem ve zamandaki değişim miktarı Itô sürecini oluşturmaktadır. Yani X_t Itô stokastik sürecini göstermektedir. $t \in [t_0, T]$ ise parçalanışdır ve süreç ayırık olayların birleşmesinden oluşur. Olaylar birbirinden $t_1 < t_2 < t_3 < t_4 < \dots < T$ ayrışması ile ayrışır.

Denkleminin verilen Wiener süreci $\{W_t, t \geq 0\}$ [22] ve $t \in [t_0, T]$ için

$$X_t = X_{t_0} \exp \left(\left(a - \frac{1}{2} b^2 \right) t + b W_t \right) \quad (3.2)$$

Bilinen bir çözümdür. (3. 1) 'in çözümünün bariz bir şekilde bilinmesi kesin çözüm ile Euler yaklaşımı arasında kıyaslama yapma ve hatayı hesaplama olasılığı verir. a ve b için tutarlı tahmin ediciler bir çok değerleri arasından Tsay[23] ile verilir.

Veriler, kırılma zamanının düşük, orta, yüksek titreşim seviyeleri olarak kategorize edildi ve bu her bir kategori birlikte ele alındı. Büyüme modeli stokastik diferansiyel denklemin çözümü olarak kabul edildi. Bu durum da, model kırılma zamanında varyansın %88' ini açıklar. F testi ($p < 0.001$) bağımsız değişkenin sıfırdan önemli olarak farklı olduğunu gösterir. Bu yüzden model aşağıdaki şekilde olduğu önerilir,

$$\ln y = 0.01x + 3.224 \quad (3.3)$$

Burada y , x' e bağılı değişen fonksiyondur. Modele göre x ne olursa olsun y bu değişime logaritmik olarak (3.3)'deki gibi bağılıdır. Bu bağıllık datalardan bulunmuştur. Datalar titreşime bağılı çatlak oluşumunun datalarıdır. Titreşime bağılı kırılma süreledir. Yani ne kadar vurulursa okadar kırılır.

Şu halde x titreşim miktarı iken, y bu titreşime bağılı kırılma miktarıdır. Bu kırılma miktarının ölçümü cm değilde belli zamandaki kırılması şeklindedir.

(3.3) kırılımadaki büyüme modelidir. Bu büyüme modeli ilk üç seviyeden (düşük, orta ve yüksek) elde edildi. Aynı veriler doğrusal olmayan regresyon modeline uygulandığında katsayıların büyüklüğü $a = 3.22$ ve $b = 0.01$ olarak bulunur. a ve b nonlinear regresyon yapıp tahmin edebilmek için kullanılan sabitlerdir. Birşeye bağılı değildir. Bu parametreler bize modeli deneysez sunar ve bu parametreler sayesinde deneydeki datalardan sıyrılıp istenen datayı (aynı deney ortamında) kullanabiliriz.

Çizelge 3. 5 Parametre Tahmini (düşüş, orta, yüksek) [2]

Parametre	Tahmin	Standart Hata	95'lik Güven Aralığı (Alt Sınır)	95'lik Güven Aralığı (Üst Sınır)
a	3.224	0.025	3. 170	3.279
b	0.010	0.001	0. 008	0.012

Parametre tahmininin korelasyonu -0. 897'dir.

Çizelge 3. 6 ANOVA (düşük, orta, yüksek seviyeler için) [2]

Kaynak	Kareler toplamı	df	Kareler ortalaması
Regresyon	14664.743	2	7332. 371
Kalan	23.286	13	1. 791
Düzeltilmemiş toplam	14688.029	15	

Çizelge 3. 7 Yorulma Seviyeleri Parametre Tahmini [2]

Parametre	Tahmin	Standart Hata	95'lik Güven Aralığı (Alt Sınır)	95'lik Güven Aralığı (Alt Sınır)
a	4.601	1.568	-0.390	9.951
b	-0.064	0.046	-0.210	0.082

Doğrusal olmayan regresyon modeli kara deliklerin diferansiyel denklemi (geometrik Brownian) için özel bir çözüm olarak düşünülebilir. Bu durumda özel çözüm

$$y = e^{a+bx} \quad (3.4)$$

olur. Bir doğrusal olmayan regresyon modelinde, katsayı büyüklükleri $a = 3.22$ ve $b = 0.01$ Çizelge3. 5 hem parametre tahminlerini hem de doğrusal olmayan regresyon modeli için güven aralıklarını gösterir.

Çizelge 3. 8 ANOVA(Yorulma Seviyesi İçin) [2]

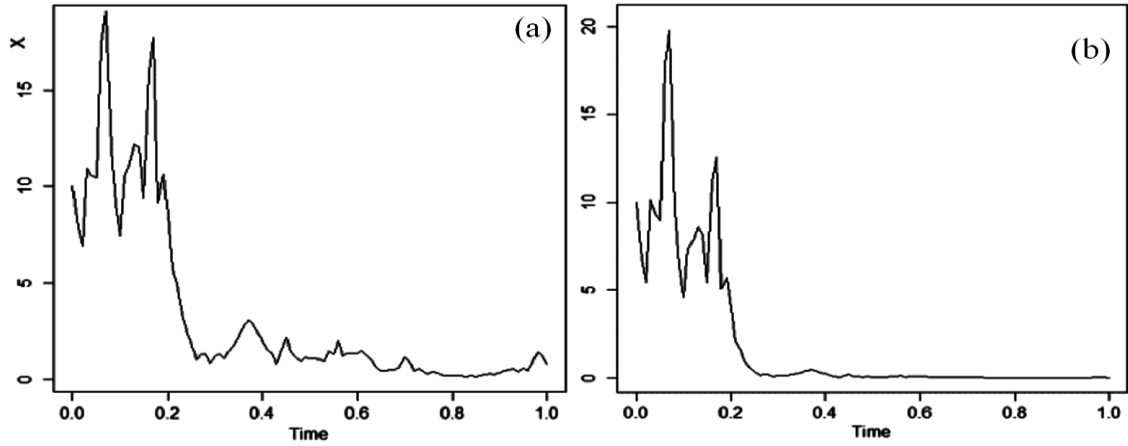
Kaynak	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması
regresyon	598.581	2	299.290
Kalan	24.924	3	8.308
Düzeltilmemiş toplam	623.505	5	

Çizelge3.9 Brownian Diferansiyel Denkleminin Simülasyon Katsayısı [2]

iterasyon(N)	Θ_1	Θ_2
1000	1.550443	3.211485
5000	0.010000	3.222309
10000	0.010000	3.235877

Çizelge3.6 hem modellerin uygunluğunu hem de nekadardı kalanların doğrusal olmayan regresyon modelindeki değişkenler tarafından açıklandığını gösterir. Doğrusal olmayan regresyon modeli ile açıklanan kare toplamının (14664.743) ve ortalama kareli kalanların (7332.371) açıklanmayan kısımdan (23.386) anlamlı derecede yüksek olduğu

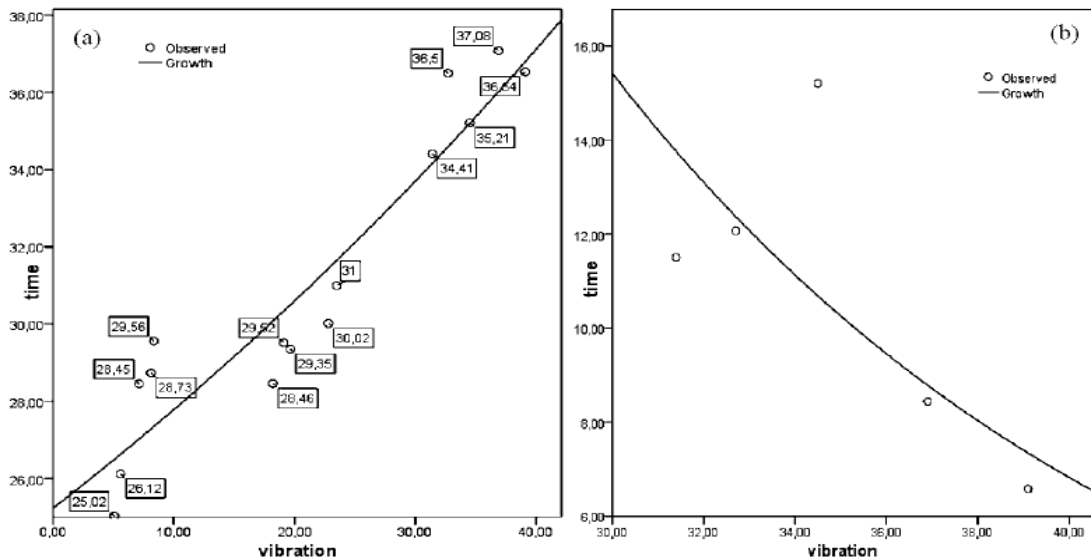
Çizelge3.6 dan görülebilir. Buna göre, modeli red etmek için hiç bir neden yoktur. Yorulma verilerine doğrusal olmayan regresyon tahmini uygulandığında parametre tahminleri aşağıdaki şekilde olur. Çizelge3.7 uygun parametreleri ve Çizelge3.8 ise bu verilerin regresyon modeline uygunluğunu gösterir. Bu çözüme uyan a ve b değerleri simülasyonu yapılabilir. Şekil 3.7, yapılan simülasyonun zaman-titreşim yörüngelerini gösterir.



Şekil3. 7Simülasyonun zaman- titreşim yörüngeleri [2]

a-)Geometrik Brownian hareket yörünge izi $a = 3.22$, $b = 0.01$ için

b-) Geometrik Brownian hareket yörünge izi $a = 4.601$, $b = -0.064$ için



Şekil 3. 8 Deneyisel olarak N arttıkça maksimum olabilirlik tahmin edicilerin gerçek değerlerine yakınsaması [2]

Geçmiş literatürde incelenen bağımsız değişken yorulma verileri ve Paris-Erdogan modellemesine dayanan kırılma büyüklüğüydü. Ancak önceki literatürden farklı olarak, doğrusal olmayan Itô diferansiyel denklemini kullanarak kırık boyutunda titreşimlerin rolü anlamaya çalışıldı.

Şekil 3. 8 'de dağılmış veriler görüldü ve Brownian diferansiyel denkleminin katsayı simülasyonu Çizelge3.9 de sunuldu. Yukarıdaki simülasyonda deneysel olarak N arttıkça tahmin edicilerin maksimum olabilirliklerinin gerçek değerlerine yakınsadığı gösterilmiştir.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada titreşim parametreleri ile yalıtkanların kullanım süreci arasındaki ilişki arttırıldı, polimerik yalıtkanların düşük, orta, yüksek titreşim seviyelerine maruz bırakıldığı bir laboratuvar deneyi gerçekleştirildi. Böyle bir maruz kalma sonucu şunu gösterir ki bir yalıtkanın titreşim derecesi artarken polimerik yalıtkanların tehlike çatlak oranları azaldığı, böylece bunun gibi yalıtkanların yaşam oranlarının da arttığı görülür. Diğer yandan titreşime maruz kalma süresi arasında ters bir ilişki olduğu gözlenilmiştir. Bu tür ters ilişkiler ise polimerik yalıtkan malzemenin içinde oluşan mikroçatlaklardan kaynaklandığı anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Güneş, İ., (2005). Polimerik Yalıtkanlarda Titreşimin Kullanım Ömrü Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Eroğlu, E., Güney İ. ve Güneş İ., (2012). "Fatigue Test with Stochastic Differential Equation Modeling", Physica Polonica A. 121(1): 36-38
- [3] Kwofie, S. ve Rahar, N., (2011). "An Equivalent Driving Force Model For Crack Growth Prediction Under Different Stress Ratios", International Journal of Fatigue, 33(9): 1199-1204
- [4] Mohanty, J.R., Verma, B.B. ve Ray, P.K., (2008). "Evaluation of Overload-induced Fatigue Crack Growth Retardation Parameters Using An Exponential Model", Engineering Fracture Mechanics, 75(13): 3941-3951.
- [5] Wua, W.F. ve Ni, C.C., (2004). Probabilistic Models of Fatigue Crack Propagation and Their Experimental Verification", Probabilistic Engineering Mechanics, 19(3): 247-257.
- [6] Malik, N.H., Al-Arainiy, A.A. ve Qureshi, M.I., (1998). Electrical insulation in power systems, Marcel Dekker, Inc, ISBN 08247-0106-2
- [7] Gallagher, T.J. ve Pearmain, A.J., (1983). High Voltage Measurement Testing and Design, Chichester: Wiley, ISBN - 0-471-90096-6
- [8] Shugg, W.T., (1995). Handbook of electrical and electronic insulating materials, 2.ed. , IEEE Press, ISBN 0-7803-1030-6.
- [9] ASTM (2303), (1978). Standard test methods for liquid contaminant, inclined plane tracking and erosion of insulating materials, ASTM, New York.
- [10] IEC 587, (1984). Inclined Plane Tracking Test Method , IEC, New York.
- [11] Scott Bader Firması, (1991). Technical Information, Jotun Plymer, 1-5, Nortamptonshire.
- [12] Billings, M.J., Wilkins, R. ve Warren, L., (1968). A comparison of the IEC Dust-Fog and Inclined Plane Test, EI 3, 33-39
- [13] Uğur, M., (1997). Modelling and analysis of surface tracking phenomena of solid insulating materials, University of Manchester, Doktora tezi, 270.

- [14] ASTM D3638, (1979). Standard test methods for comparative tracking index of electrical insulating materials, ASTM, New York.
- [15] Uğur, M., Kuntman, A. ve Ersoy, A., (2003). A Study on the Ageing Process for Polyester Resin Using improved Weibull Statistics, Electrical Engineering, Springer-Verlag Heidelberg, 85 (5): 283-288
- [16] Özkaya, M., (1979). Yüksek Gerilim Tekniğinde Deşarj Olayları, İ.T.Ü., İstanbul.
- [17] Kuntman, A., Ersoy, A., Güneş, İ. ve Uğur, M., (2003). Polimerik yalıtkanların yaşlanma sürecine nemin etkisinin incelenmesi, XVII. Ulusal Kimya Kongresi, İstanbul.
- [18] Onaran, K., (1993). Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- [19] Kuntman Özgültekin, A., (2004). Elektriksel Malzemeler ve Uygulamaları, ISBN No: 975-404-722-7, İstanbul Üniversitesi Yayınevi, İstanbul.
- [20] Centurioni, L., Coletti, G. ve Operto, A., (1977). A contribution to the study of the tracking phenomenon in solid dielectric materials under moist conditions, Electrical Insulation, 12 (1), 147-152
- [21] Kahriman, A., Tuncer, G., Görgün, Ş ve Karadoğan, A., (2002). Monitoring and Analysing Ground Vibration Induced by Different Blasting Excavation Activities, 7th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, Italy.
- [22] Kloeden, P.E., Platen, E. ve Schurz, H., (1994). Numerical Solution of Stochastic Differential Equation Through Computer Experiments, Springer, Berlin.
- [23] Tsay, R., (2002). Analysis of Financial Time Series, Wiley Series in Probability and Statistics, Second Edition, Wiley, New York.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Elif BALİ
Doğum Tarihi ve Yeri :08/07/1986, İstanbul
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :elifbali86@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Matematik Öğretmenliği	Marmara Üniversitesi	2010
Lisans	Matematik	İstanbul Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Haydarpaşa Anadolu Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012	Özel Tercih A.S.M. Lisesi	Matematik Öğretmeni
2011-2012	Birey Derşhanesi	Geometri Öğretmeni
2009-2011	Fenbilimleri Derşhanesi	Geometri Öğretmeni

ÖDÜLLERİ

İlköğretim okul birinciliği