

65905

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNİN PERFORMANSINI  
BELİRLEMEDE BİR DENEYSEL YÖNTEM**

**ZEKERİYA ORAL YAĞDIRAN**

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

ELAZIĞ

1997

F.Ü. YÜKSEK ÖĞRETİM ENSTİTÜSÜ  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNİN PERFORMANSINI  
BELİRLEMEDE BİR DENEYSEL YÖNTEM**

Zekeriya Oral YAĞDIRAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

Bu Tez,.....Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu İle Başarılı/Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)

(İmza)

(İmza)

Danışman

Doç.Dr.Mehmet CEBECİ



**ÖZET**

Yüksek Lisans Tezi

**YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNİN PERFORMANSINI  
BELİRLEMEDE BİR DENEYSEL YÖNTEM**

Zekeriya Oral YAĞDIRAN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

1997, Sayfa:66

Yüksek gerilim izolatörleri, işletme gerilimi altında çalışırken çevre şartlarından etkilenirler. Bu etkilenmelerin sonucunda üzerinde biriken kir tabakasının, zamanla atmosferik olaylarla etkileşmesi ile iletken hale geçmesi, yüzeyinden kaçak akımların akmasına neden olur. Akan bu akımlar elektrik güç sisteminin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olur.

Bu çalışmada temiz ve kirli izolatörlerin performanslarını belirlemek için, çeşitli gerilim seviyelerinde, yüzeyden geçen kaçak akımların değerleri ölçülmüştür. Bu kaçak akımları azaltmak için izolatör devresine farklı sınımlardaki bobinler bağlanarak kaçak akım değerleri incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İzolatör, kirlenme, kaçak akım.



**SUMMARY**

Masters Thesis

**AN EXPERIMENTAL METHOD TO DETERMINE THE PERFORMANCE  
OF HIGH VOLTAGE INSULATORS**

Zekeriya Oral YAĞDIRAN

Firat University

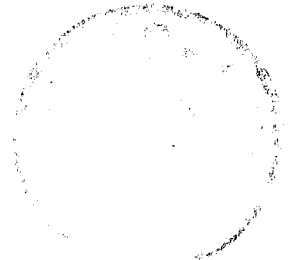
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Electrical and Electronics Engineering

1997, Page:66

High voltage insulators are effected from environmental conditions while working under service voltage. The pollution layer occures as a result of these conditions, interacts with atmospheric condition and forms a conducting layer that causes leakage currents on the surface of insulator. These leakage currents effect electrical power system negatively.

In this work, surface leakage currents of polluted and clean insulators under various voltage levels have been measured. To reduce the leakage currents coils of different number of turns have been connected to the insulator and leakage current are examined under this circumstances.

**Keywords:** Insulator, Pollution, Leakage Current.



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőması sűresince her tűrlű yardım ve ilgiyi fazlasıyla gűsteren tez yűneticim Sayın Doç.Dr.Mehmet CEBECİ 'ye teőekkűr ederim.

Ayrıca deney çalıőmaları sırasında gerekli yardımları saėlayan TEAŐ Keban İőletme Grup Műdűrlűėű Test Ekibi çalıőanlarına teőekkűr ederim.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	II
SUMMARY.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
1- GİRİŞ.....	1
2. İZOLATÖR TESTLERİ .....	4
2.1. Genel Bilgi.....	4
2.2. Muayeneler.....	5
2.2.1. Gözle muayene.....	5
2.3. Testler.....	5
2.3.1. İmalat testleri.....	5
2.3.1.1. Mekanik testler.....	5
2.3.1.2. Yüksek frekans testi.....	6
2.3.1.3. Şebeke frekans testi.....	6
2.4. Tip Testleri.....	6
2.4.1. Birinci grup testler.....	7
2.4.1.1. Darbe atlama gerilimi testi.....	9
2.4.1.2. Şebeke frekanslı test.....	10
2.4.1.3. Kuruda bir dakikalık test.....	11

2.4.1.4.	Yaşta bir dakikalık test.....	11
2.4.2.	İkinci grup testler.....	13
2.4.2.1.	Boyutların doğrulanması.....	13
2.4.2.2.	Sıcaklık değişimi testi .....	13
2.4.2.3.	24 saatlik mekanik dayanıklılık testi.....	14
2.4.2.4.	Kısa süreli elektromekanik kırılma yükü testi.....	14
2.4.2.5.	Mekanik kırılma testi.....	15
2.5.	Delinme Testi.....	15
2.5.1.	Şebeke frekanslı delinme testi.....	15
2.5.2.	Havada aşırı gerilim darbesi testi.....	16
2.5.3.	Gözeneklilik (porozite).....	16
2.5.4.	Galvanizleme niteliği testi.....	16
2.6.	Tekrarlanacak Testler.....	17
2.6.1.	Zincir izolatörlerde termik-mekanik dayanıklılık testi ve mekanik dayanıklılık testi.....	17
2.6.2.	Termik-mekanik dayanıklılık testi.....	18
2.6.3.	Mekanik dayanıklılık testi.....	19
2.7.	Kir Altında Yüksek Gerilim İzolatör Test Yöntemleri.....	19
2.7.1.	Sun 'i kir kaplama test yöntemleri.....	19
2.7.1.1.	Yağmur testi.....	20
2.7.1.2.	Kizelgur ve metilen testi.....	22
2.7.1.3.	Tuzlu sis testi.....	25
<b>3.</b>	<b>İZOLATÖRLERDE GERİLİM DAĞILIMI.....</b>	<b>27</b>
3.1.	Genel Bilgi.....	27
3.2.	Gerilim Dağılımının Diferansiyel Denklemler Yardımıyla Bulunması.....	28
3.3.	Basit Hesap Yöntemiyle Gerilim Dağılımının Bulunması.....	33
3.4.	Rezonans Frekansı.....	37
3.4.1.	Seri rezonans.....	37
3.5.	Kirliliğin Gerilim Dağılımına ve Kaçak Akıma Etkisi.....	39
3.5.1.	Giriş.....	39
3.5.2.	DeneySEL çalışmalar.....	40

3.5.3.	Kirlilik tabakasının iletkenliğini etkileyen faktörler.....	41
3.5.3.1.	Kirlilik tabakası iletkenliğinde kirlilik maddesinin etkisi.....	41
3.5.3.2.	Kirlenmiş tabaka iletkenliğinde kirli izolatörü ıslatma metodunun etkisi..	43
3.5.3.3.	Yüzey tabaka iletkenliğinde kirlilik tabakası yoğunluğunun etkisi.....	45
3.5.4.	Test süreci.....	46
3.5.5.	Yüzey kaçak akımı ve özellikleri.....	47
3.5.6.	Sonuçlar.....	49
<b>4.</b>	<b>UYGULAMA.....</b>	<b>51</b>
4.1.	Genel Bilgi.....	51
4.2.	Test Odası ve Ekipmanı.....	51
4.3.	Uygulanan Testler.....	52
4.3.1.	Temiz izolatör testleri.....	53
4.3.2.	Kirli izolatör testleri.....	59
<b>5.</b>	<b>SONUÇ.....</b>	<b>64</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>		<b>66</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

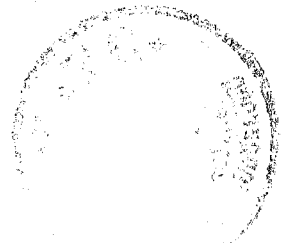
Şekil 2.1	:Yağmur altında izolatör testi.....	20
Şekil 2.2	:VKL izolatörün Kizelgur ve Metilen yöntemleri ile bulunan dayanım gerilimi iletkenlik eğrileri.....	24
Şekil 2.3	:Bir sis odasında izolatör test düzeni.....	26
Şekil 2.4	:Tuz çözeltisi iletkenliğinin tuzluluk derecesi ile değişimi.....	26
Şekil 3.1	:Zincir tipi izolatörden oluşan bir izolatör zinciri, kapasiteler ve elektriksel eşdeğeri.....	28
Şekil 3.2	: $U = f(n)$ gerilim dağılımı grafiği.....	30
Şekil 3.3	: $\beta$ 'nın çeşitli değerleri için $U_z = f(z)$ eğrileri.....	31
Şekil 3.4	:Bir zincirin atlama geriliminin eleman sayısına göre değişimi.....	32
Şekil 3.5	:4 elemanlı bir zincirde basit hesap yöntemi ile hesaplanan gerilim dağılımı eğrileri.....	34
Şekil 3.6	:Zincir tipi bir izolatörün koruma halkası bağlı elektriksel eşdeğeri.....	35
Şekil 3.7	: $W$ 'nın empedans,admitans ve $\theta$ açısına bağlı değişimleri.....	38
Şekil 3.8	:Yüzey tabaka yoğunluğu ve yüzey tabaka iletkenliği.....	43
Şekil 3.9	:Tuz konsantresi ile yüzey tabaka iletkenliği arasındaki ilişki.....	44
Şekil 3.10	:İzolatör dalışları ile yüzey tabaka iletkenliği arasındaki ilişki.....	45
Şekil 3.11	:İlgili tabaka iletkenliği ve solüsyon iletkenliği.....	46
Şekil 3.12	:Yüzey tabaka iletkenlikleri 2.5, 6 ve 20 $\mu$ S olan kirli izolatöre uygulanan gerilim değerlerine göre sızıntı akımındaki değişim.....	47
Şekil 3.13	:Farklı gerilim seviyeleri altında 20 $\mu$ S yüzey tabaka iletkenliğinde test izolatörleri için kaçak akım kayıtları.....	48
Şekil 3.14	:Sızıntı darbe sayısı ve atlama geriliminin yüzdesi(5kV).....	50
Şekil 4.1	:Test odası.....	52
Şekil 4.2	:1000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli (5,7 V 'luk zener için,25 kV).....	55
Şekil 4.3	:2000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli (5,7 V 'luk zener için,25 kV).....	56

Şekil 4.4	:2000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalgaşekli (8,4 V 'luk zener için,25 kV).....	57
Şekil 4.5	:4000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli (5,7 V 'luk zener için,30 kV).....	58
Şekil 4.6	:6000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli (5,7 V 'luk zener için,30 kV).....	59
Şekil 4.7	:2000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli (5,7 V 'luk zener için,30 kV).....	61
Şekil 4.8	:4000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli (5,7 V 'luk zener için,30 kV).....	62
Şekil 4.9	:6000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli (5,7 V 'luk zener için,30 kV).....	63



**TABLolar LİSTESİ**

Tablo 1.1	:Atlama olayının gelişimi.....	2
Tablo 2.1	:Hava yoğunluğu düzeltme katsayısı .....	9
Tablo 3.1	:Çimento tozunun kimyasal analizi.....	43
Tablo 3.2	:Atlama geriliminin ortalama değeri.....	46
Tablo 4.1	:Temiz izolatöre ait sonuçlar (5,7 V 'luk zener için).....	53
Tablo 4.2	:Temiz izolatöre ait sonuçlar (8,4 V 'luk zener için).....	54
Tablo 4.3	:Temiz izolatöre ait sonuçlar (1000 sarım, 5,7 V 'luk zener için).....	54
Tablo 4.4	:Temiz izolatöre ait sonuçlar (2000 sarım, 5,7 V 'luk zener için).....	55
Tablo 4.5	:Temiz izolatöre ait sonuçlar (2000 sarım, 8,4 V 'luk zener için).....	56
Tablo 4.6	:Temiz izolatöre ait sonuçlar (4000 sarım, 5,7 V 'luk zener için).....	57
Tablo 4.7	:Temiz izolatöre ait sonuçlar (4000 sarım, 8,4 V 'luk zener için).....	58
Tablo 4.8	:Temiz izolatöre ait sonuçlar (6000 sarım, 5,7 V 'luk zener için).....	59
Tablo 4.9	:Kirli izolatöre ait sonuçlar (5,7 V 'luk zener için).....	60
Tablo 4.10	:Kirli izolatöre ait sonuçlar (8,4 V 'luk zener için).....	60
Tablo 4.11	:Kirli izolatöre ait sonuçlar (2000 sarım, 5,7 V 'luk zener için).....	61
Tablo 4.12	:Kirli izolatöre ait sonuçlar (4000 sarım, 5,7 V 'luk zener için).....	62
Tablo 4.13	:Kirli izolatöre ait sonuçlar (6000 sarım, 5,7 V 'luk zener için).....	63



## 1. GİRİŞ

Büyük miktardaki elektrik güçlerini üretim merkezlerinden uzak bölgelerdeki tüketim merkezlerine ulaştıran enerji iletim sistemlerinin işletilmesinde, öncelikle besleme sürekliliği ve emniyet gereklidir. Bu açıdan izolatörlerin büyük önemi vardır.

Ancak izolatörler; tasarım, imalat veya işletme esnasında birçok kötü faktörden tamamen arındırılmamakta ve özellikle çevresel kirlenmelerden oldukça fazla etkilenmektedirler. Güç sistem mühendisleri bu durumları gözönüne almak suretiyle daima tasarımlarını iyileştirecek yüksek gerilim izolatörlerinin işleyiş ömülerini uzatmayı amaçlamışlardır.

Yüksek gerilim hatlarında kullanılan izolatörler, hatların endüstri bölgelerinden geçmeleri, kuru kir ve kimyasal dumanlarla, sahil bölgelerinde deniz tuzuna maruz kalmaları gibi önemli nedenlerle kirlenirler. İzolatörler kuru iken hemen hemen tamamı kapasitif olan küçük bir kaçak akım mevcuttur. Elektriki alan dağılımı, elektrostatik alan dağılımı şeklindedir. Halbuki izolatör yüzeyi yağmur, sis veya çığ dolayısıyla nemlenirse, kir tabakası, içindeki iyonize olan tuzlardan dolayı iletken hale gelir ve izolatör yüzeyi boyunca, gerilimle aynı fazda olan rezistif bir kaçak akım akar. Bu akım, kuru haldeki kaçak akımdan daha büyük olduğu için izolatör yüzeyindeki alan dağılımını bozar.

Kirli bir izolatörde atlama aşamaları şu şekilde olur:

- 1-Yüzey tabakasının ısınması, iletkenlik ve akımın artmasına sebep olur.
- 2- Devam eden ısı, yüzey tabakasında kısmi kurumalara yol açar.
- 3- Daha fazla ısınma, kuru bantlar oluşturur.
- 4- Kuru bantlar üzerinde düzensiz hava kırılımı nedeniyle, 4 kV/cm 'lik alan şiddetlerinde, kısmi arkların başlaması, kirli izolatörlere has bir davranıştır. Yerel ısı konsantrasyonu, kısmi arkların pozisyonlarını kuru bantlar boyunca yana doğru değiştirmelerine sebep olur.
- 5- Ark sönümü ve parıltı başlangıcı ve kuru bölgeler üzerinde hareketli deşarjların başladığı yerler en yüksek gerilim değişimlerine sahiptir. Bu safha kirli izolatörlerden yayılan yoğun radyo gürültülerinin sebebidir.

6.a- Birçok kısmi ark, izolatörün büyük bir kısmını kaplayan bir tek büyük ark şekillendirecek biçimde birleşirler. Bu ark ısı etki ile değişik yönlerde yayılır. Burada ark sönümü ve dolayısıyla ikinci safhaya dönüş olabilir.

6.b- Ark uçlarının ıslak iletken tabaka boyunca hızlı süpürme hareketi, arkın tamamlanması ve atlamaya götürebilir. Kaçak yolunun köprülenen son kısmı kuru bir yol izlemez.

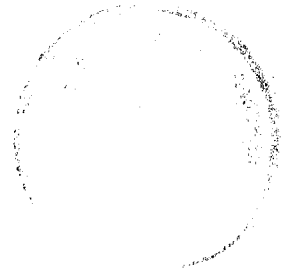
İlk beş safha kolayca anlaşılır. Çünkü dakikalar veya saatlerce sürebildiklerinden gözlenmeleri kolaydır ve çok incelenmişlerdir. Son safha ise, her cm için birkaç yüz voltluk gerilimlerde kaçak yolu boyunca istenmeyen atlamaların sebebidir. Son safhanın ilk kısmı ısı hareketlerle değerlendirilebilir. İkinci kısım için, son teorik açıklamalar deneysel sonuçlarla şaşırtıcı bir benzerlik sağlar. Kaçak yolu boyunca izolasyon dayanımını 200-400V/cm 'ye düşüren de bu son safhadaki ark uçlarının hızlı süpürme hareketidir. Bu son safha elektrotlar arasındaki ark nedeniyle izolasyon şiddetinin düşmesinin sebebidir. Son çalışmalar arkın yüzeyi neden ve nasıl süpürdüğü hakkında kısmi açıklamalar getirmiştir.

Tablo 1.1. Atlama olayının gelişimi

<u>Safha</u>	<u>Kir Tabakası</u>	<u>Deşarj şekli</u>	<u>Akım</u>
1- Yüzey tabakası ısınır	İletkenlik artar	yok	artar
2- Yüzey tabakası kurur	İletkenlik kısmen azalır	yok	artar
3- Kuru bant şekillenir	Enine kısmi kuruma	yok	sıfır
4- Kısmi ark tutuşması	İletkenlik azalır	Enine ark	Yavaş artar
5- Işıltı ve buhar deşarjı	İletkenlik artar	Işıltı ve parazit	Küçük ve dalgalı
6- Ark büyümesi; a: ısı b: elektrostatik	Kuru bant daha büyür Artık kurumaz	Ark büyür İzolatör atlanır	Yavaş artış Hızla artar
7- Atlama	Kısmen kurumuş	Ark	Kısa devre

Kirin iki ayrı vasfı olduğu kabul edilir:

(a) Yapışkan ve su emici özelliğe sahip olan kirler.



(b) Suda çözümlenerek iyonlarına ayrılan ve elektriksel iletkenliği sağlayan kirler.

Kirin izolator yüzeyinde toplanmasına genel olarak yer çekimi, rüzgar kuvveti, elektriki kuvvetler ile homogen olmayan alanlar sebep olur. İzolatorlerde kirlenme sonucunda atlama, ark uçlarının ıslak yüzey üzerinde iki elektrod arasında bir ark meydana gelinceye kadar büyümesiyle meydana gelir.

Bu çalışmada laboratuvar ortamında, önce temiz bir izolatordeki kapasitif kaçak akım ölçülmüştür. Daha sonra Türkiye 'deki bazı Termik Santrallerden temin edilen baca kirleri temiz izolator yüzeyine püskürtülmüş ve homogen bir kirlenme sağlanarak, farklı sıcaklık ve nem ortamlarında şebeke frekanslı yüksek gerilim uygulanmıştır. Uygulanan gerilim ile sızma aralığı boyunca oluşan rezistif kaçak akım değerleri ölçülerek sonuçlar ortam şartlarının etkisi bakımından irdelenmiştir.



## 2. İZOLATÖR TESTLERİ

### 2.1. Genel Bilgi

İzolatörler, elektrik hava hatlarında ve tesislerinde iletkenleri taşımaya ve elektriksel yalıtımı sağlamaya yarayan porselen, cam veya epoksi reçineden yapılmış araçlardır.

İzolatörler, deşarj ve atlamalar sonucu ortaya çıkan termik zorlamalara, bunlara ilaveten açık hava tesislerinde kar, buz ve rüzgarın neden olduğu mekanik kuvvetlere, kirlenme neticesi sis ve çığın sebep olduğu elektriksel yalıtım zayıflamasına maruz kalırlar. Bu nedenle izolatör üzerinde yapılacak testlerle bu özellikler bakımından yeterli nitelikte olduklarının tahkik edilmesi gerekmektedir.

Bir atlama sonucu meydana gelen yüksek akımlı ark, enerjinin kesilmesine ve çokça izolatörün tahrip olmasına ve hatta enerji nakil hattının eriyerek kopması gibi istenmeyen durumlara sebep olabilir. YG enerji nakil sistemlerinin arızalara ve ekonomik kayıplara sebep olmadan emniyetle çalışabilmeleri için uygun bir izolatör koordinasyonu gerekir. İzolatör koordinasyonunu planlayanlar bölgelerin atmosferik şartlarına en uygun izolatör tipini seçmek isterler. Bunun için de çeşitli şartlar altında bir izolatörün nasıl bir davranış göstereceğinin bilinmesi gerekir.

Bu nedenle izolatör imalatçıları, imal ettikleri izolatörleri satışa arzetmeden önce çeşitli testlere tabi tutarlar. Bu testler çeşitli ülkeler ve milletlerarası kuruluşlarca kabul edilmiş standartlarda tarif edilmişlerdir. Muhtelif standartlarla farklı ve benzer şekilde tesbit edilmiş bulunan bu testlerin hepsinin ortak gayesi, izolatörlerin servis şartlarında karşılaşacağı elektriksel, mekanik, termik vs. zorlanmaları en iyi şekilde laboratuvarlarda temsil edebilmektir. Standart testler, imalat ve kalite kontrol vazifesi yanında yeni tiplerin geliştirilmesine de yardımcı olmaktadır.

## 2.2. Muayeneler

### 2.2.1. Gözle Muayene

Bu muayene, izolator imalatının tamamlanmasından ve demirlerinin takılmasından sonra yapılır.

Muayeneden, pişirme sırasında izolatorlerin oturduğu kısımlar dışındaki porselen yüzeylerin kaygan, sert, sırlanmış ve çatlaksız vaziyette bulunduğu kontrol edilir. Pişirme sırasında izolatorün oturduğu kısımlar ile birbirine ve metal parçalara birleştirilecek sırlanmamış yüzeyler dışındaki sırsız kısımların toplam yüzey alanı,  $(n.d^2 / 2000)$  veya  $(n/2)cm^2$  'den en büyük olanını geçmemelidir. Burada "d" en büyük siperin "cm" cinsinden çapı ve n siperlerin sayısıdır.

Sırlama hatalarından hiçbirisinin alanı da  $0.5cm^2$  'yi geçmemelidir.

## 2.3. Testler

### 2.3.1. İmalat Testleri

Bütün izolatorler, aşağıdaki sıraya göre imalat testlerinden geçirilir.

#### 2.3.1.1. Mekanik Test

Zincir izolatorleri en az 10 saniye süre ile 24 saatlik mekanik dayanıklılık test yükünün % 60 'ına eşit bir germe yükü altında tutulur. Massif çekirdekli ( Tek parçalı ) izolatorlerin testinde ise bu yük 24 saatlik mekanik dayanıklılık test yüküne eşit olarak alınır ve bir dakika süre ile uygulanır.

### 2.3.1.2. Yüksek Frekans Testi

İzolatörler 10 saniye süre ile sönümlü dalga serilerinden meydana gelen ve frekansı saniyede 100000 ila 300000 peryot olan bir alternatif gerilime maruz bırakılır. Bu dalga serileri saniyede yaklaşık olarak 100 defa tekrar edilmelidir.

### 2.3.1.3. Şebeke Frekanslı Test

Bu teste izolatörlere şebeke frekanslı (15–100 Hz) gerilim uygulanır. Gerilim, zincir izolatörlerin metal parçaları arasına uygulanır. Fakat istenirse izolatörler baş aşağı olarak ve içinde yan iletken yuvasını örtecek kadar derinlikte su bulunan bir metal kaba yerleştirilir ve gerilim kap ile izolatörün tespit yuvasının hemen hemen tepesine kadar doldurulmuş su arasına uygulanır. Porselen elektriksel dayanımını azaltmamak kaydıyla, su yerine metal elektrotlarda kullanılabilir.

Test gerilimi, izolatörlerden bir tanesinde her 4 veya 5 saniyede bir atlama meydana getirecek değerde olmalıdır. Bu gerilim en az 5 dakika süre ile ve devamlı olarak test edilecek izolatörlere uygulandığında delinme meydana gelmemelidir.

## 2.4. Tip Testleri

Her tip izolatörler için bu tipe ait partide bulunan izolatörler arasından ayrılan sınırlı sayıda izolatörlere uygulanan testlerdir. Bu testlerin sonucuna göre partideki izolatörlerin tümü hakkında karar verilir. İmalatçı kendi imalatının kontrolü bakımından, tip testlerinden bir veya birkaçını, testler için yeterli sayıda numuneler üzerinde yapmış ve standartlara uygun sonuçlar elde etmiş olmalıdır.

Tip testleri iki grup halinde uygulanır. Bunlardan birinci gruba giren testlerle izolatörün şekil, büyüklük ve teçhizatın özellikleri; ikinci gruba ait testlerle de bunun dışında kalan özellikleri ve kullanılan malzemenin niteliği doğrulanır.



Birinci grup tip testleri için; izolatör partilerinin yalnız bir tanesinden, bu partideki izolatörlerin %0.15 'i oranında ve en az 12 numune gelişi güzel ayrılır. Bu numunelerden boyutların doğrulanması testinde uygun sonuç veren dört tanesi bu grup testlerden geçirilir ve alınan sonuçlar partinin tümüne uygulanır.

İkinci grup tip testleri için; izolatör partilerinden ayrı ayrı ve partideki izolatör sayısının %0.15 'i oranında ve en az oniki numune gelişi güzel ayrılır. Her partiden alınan numunelerin hepsine bu grup tip deneyleri uygulanır.

Tekrarlanacak testler için; ikinci grup tip testlerinde numunelerden bir tanesi uygun sonuç vermezse her partiden yeniden ilk alınan numunenin iki katında numune alınır. Bu testlerde yine bir numune uygun izolatör sayısının % 1.5 'i oranında ayrılacak numunelere tekrarlanacak testler seri halinde uygulanır. Bu testlerde bir tek numune uygun sonuç vermezse parti kabul edilmez. İkinci grup testlerde numunelerin birden fazlası uygun sonuç vermediği takdirde aynı partiden 30 dan az olmamak üzere %1.5 oranında ayrılacak numuneler tekrarlanacak testlerden geçirilir. Bu son testlerde numunelerden bir tanesi dahi uygun sonuç vermezse parti kabul edilmez.

#### 2.4.1. Birinci grup testler

Bu gruba giren testler, darbe atlama gerilimi testi ile bir dakikalık şebeke frekanslı gerilime dayanma testinin kuru ve yaşta yapılmasından ibarettir.

Testlerden önce izolatörler temiz ve kuru olmalıdır. Test için izolatörün tesbiti, ya kullanacağı yerdeki normal çalışma şartlarına ya da standartlarda belirtilen testlerin yapılmasını sağlayacak özel şartlara uygun olmak üzere iki metodla yapılır.

Birinci metodda, zincir izolatörlerden taşıyıcı izolatör zincirleri normal çalışma şartlarına uygun olarak metal parça ve kısımları takıldıktan sonra metal bir konsola düşey durumda asılır. Konsol en az izolatör zinciri boyunun bir buçuk katı ve zincir ekseninden her iki tarafta bir metreden az olmayan uzunlukta bulunmalıdır. Başka bir cisim, izolatör zinciri boyunun bir buçuk katı ve zincir ekseninden her iki tarafta birer metreden az olmayan uzunlukta bulunmalıdır. Başka bir cisim, izolatör zincine bir metreden az olmamak kaydıyla izolatör boyunun, bir buçuk katı kadar bir mesafeden daha yakın bulunmamalıdır. Zincirin kullanılacağı işletmedeki iletken çapına yakın çaptaki bir iletken,

yatay düzlemde ve ekseni konsol ile 90 derecelik bir açı yapacak şekilde tespit edilir. Bu iletken, en az izolatör zinciri uzunluğunun bir buçuk katı boyunda olmalı ve zincir ekseninden her iki tarafa en az birer metre uzanmalıdır. iletkenin uçlarından konsola atlama olmaması için gerekli tedbirler alınmış bulunmalıdır. Test gerilimi, bu durumda iletken ile konsol arasına uygulanır.

Zincir izolatörlerde gergi izolatör zincirleri, taşıyıcı zincir izolatörlerinde olduğu gibi, normal çalışma şartlarına uygun olarak zincirin metal parça ve kısımları takıldıktan sonra bir ucu, topraklanmış metal bir halkaya bağlanmak ve diğer ucundaki iletken bağlama klemensindeki iletkene 1000 kg. 'lık bir çekme kuvveti uygulanarak izolatör zinciri yatay duruma getirilir. Klemense bağlanan iletkenin çapı 10 mm 'den daha küçük olmamak üzere işletmedeki iletken çapına yakın bulunmalı ve bunun uzunluğu, zincir uzunluğunun en az bir buçuk katı olmalıdır. İzolatör zincirine başka cisimlerin uzaklığı, taşıyıcı zincirlerdeki gibi olmalıdır. Test gerilimi iletken ile toprak arasına uygulanır .

Mesnet izolatörleri, kendi mesnetleriyle birlikte normal işletmedeki durumda, yerden en az bir metre yükseklikte bulunan yatay ve izole konsola tespit olunur. Sonra izolatörün iletken yuvasına çapı 5 mm 'den en az iki katı kadar uzanmak üzere bir iletken yerleştirilir. Bu iletken izolatöre 1 mm çapında ve iletkenin üzerine izolatör üst çapının iki katı uzunluğunda sarılan yuvarlak bir bakır tel ile bağlanır. İzolatör yuvasına yerleştirilen iletken el verdiği kadar yatay durumda olmalı ve konsol ile 90 derecelik bir açı meydana getirmelidir. Test gerilimi iletken ile toprak arasına uygulanır.

İkinci metod da, zincir izolatörü ve izolatör zincirleri düşey olarak mesnetlerine en az bir metre uzunluğunda topraklanmış tel halat veya diğer uygun bir iletkenle asılır. İzolatör zincirine başka cisimlerin uzaklığı bir metreden az olmamak kaydıyla zincir boyunun bir buçuk katından daha yakın olmamalıdır. İzolatör zincirinin iletken bağlanacak tarafına yatay düzlemde tespit olunacak boru veya çubuk şeklindeki iletkenin üst yüzeyinden alt izolatörün en yakın kenarına kadar olan mesafe, alt izolatör çapının % 50 %70 arasında bulunmalıdır. İletkenin çapı kuruda ark mesafesinin %1.5 civarında ve en az 25 mm olmalıdır. İletken uzunluğu, izolatör veya zincir boyunun bir buçuk katından küçük olmamak üzere , izolatör ekseninden her iki tarafa en az birer metre uzanmalıdır. İletken uçlarından herhangi bir elektrik atlaması meydana gelmemesi için gerekli tedbirler alınmalıdır. Test gerilimi bu durumdaki iletken ile toprak arasına uygulanır.

Mesnet izolatörleri, düşey durumda olmak ve topraktan en az bir metre yüksekte bulunmak üzere topraklanmış ve çapı izolatör tespit demirine takılır. Sonra izolatörün iletken yuvasına çapı 5 mm den küçük olmamak ve izolatör ekseninden her iki tarafa izolatör boyunun en az iki katı kadar uzanmak üzere bir iletken yerleştirilir. Bu iletken izolatöre 1 mm çapında ve iletkenin üzerine izolatör üst çapının iki katı uzunluğunda sarılan yuvarlak bir bakır tel ile bağlanır.

#### 2.4.1.1. Darbe Atlama Gerilimi Testi

Darbe gerilimi testi, darbe generatörü ile yapılır. Darbe testinde, test şartlarında ölçülen gerilimlerin standart atmosfer şartlarına çevrilmesi gerekir. Bunun için; rutubet yönünden izolatör cinslerine göre çizilen eğrilerden bulunacak "Rutubet Düzeltme Katsayısı" ile, havanın yoğunluğu yönünden ise  $d = 0.386b / (273 + t)$  formülünden hesaplanacak  $d$  izafi hava yoğunluğuna bağımlı olarak standart çizelgeden bulunan  $k$  düzeltme katsayısı ile çarpılmalıdır. Formülde  $b$ ,  $mm Hg$  cinsinden atmosfer basıncı;  $t$  ise,  $^{\circ}C$  cinsinden ortam sıcaklığıdır.

**Tablo 2.1.** Hava Yoğunluğu Düzeltme Katsayısı

Nisbi Hava Yoğunluğu	Düzeltme Katsayısı
$d$	$k$
0.70	0.72
0.75	0.77
0.80	0.82
0.85	0.86
0.90	0.91
0.95	0.95
1.00	1.00
1.05	1.05
1.10	1.09
1.15	1.13

Test, normal rutubetli atmosferde yapılmalıdır. Bunun mümkün olmadığı hallerde rutubet düzeltme katsayısı hesaba katılmalıdır.

Rutubet düzeltme katsayısı bütün izolatör tiplerine uygulanmak üzere tek bir eğri ile gösterilemez. Çünkü, bir izolatörün biçim ve büyüklüğü ile de değişmektedir.

Test sırasında ölçülen mutlak rutubet, normal değerinden farklı ise, bu eğrilerde gösterilen düzeltme katsayıları ile atlama gerilimleri çarpılarak, normal rutubet şartına indirgenir. Bu eğriler standartlarda; normal frekansta atlama gerilimi için ve % 50 atlama darbe geriliminin, 1,2/ 50 pozitif değerleri için hazırlanmış olup atlama geriliminin 1,2 / 50 negatif değerleri için pozitif değerlere tekabül eden düzeltme katsayılarının % 85 'i alınabilir. Bu düzeltme katsayıları yalnız havanın nisbi rutubeti % 95 'i geçmediği hallerde uygulanır. Nisbi rutubet % 95 'in üstünde ise, test mahalli ısıtılmak, havalandırılmak suretiyle veya başka uygun bir metod ile, bunun % 95 'in altına düşürülmesi yoluna gidilir.

İzolator zinciri, zincir izolatoru veya mesnet izolatoru yukarıda bahsedilen şartlar altında kuru olarak testten geçirilir. Darbe generatörü 1,2 / 50 pozitif yarı dalga verecek şekilde ayarlanır ve gerilim % 50 darbe atlama gerilimi değerine yükselinceye kadar arttırılır. Bu değer en az 20 darbe uygulanarak doğrulanır. Sonra gerilim ölçülür. Bundan sonra polarite değiştirilerek yukarıdaki işlem tekrarlanır. İzolatörler, bu testte delinme veya kırılma gibi herhangi bir hasar göstermeden dayanabilmelidir. % 50 atlama geriliminin standart atmosfer şartlarına indirgenen, pozitif ve negatif polarite değerlerinin, beyan edilen değerlerin altında olup olmadığına bakılır.

#### 2.4.1.2. Şebeke Frekanslı Test

Test geriliminin frekansı 15–100 Hz arasında bulunmalı ve gerilim dalgasının şekli yaklaşık olarak sinüs eğrisi biçiminde olmalıdır. Gerilim değeri, küresel elektrodlar kullanılması yoluyla veya bu yolla bulunan değere göre %3 'ten fazla fark göstermeyen başka bir metodla tesbit edilir. Gerilimin bu suretle tesbit olunan tepe değerini  $\sqrt{2}$  ye bölmekle bu test için gerekli gerilimin efektif değeri bulunur. Ölçülen gerilimin standart

atmosfer şartlarına tekabül eden değerinin bulunmasında daha önce verilen düzeltme katsayıları kullanılmalıdır. Testler tercihen normal rutubet ( behermetre küp havada 11 gram su ) şartlarındaki atmosferde yapılmalıdır. Rutubet şartları değişik bulunduğu takdirde, normal değere indirgenmelidir. Endüstriyel frekansta kuruda atlama testi havanın nisbi rutubeti %55 'i aştığı zaman yapılmamalıdır. İzolatör kısa devre durumunda iken ve devrede önceden tesbit olunan test gerilimi meydana geldiği zaman, devreden geçecek alternatif akımın değeri 0.1 amperden az olmayacak şekilde transformatör ve test devresi ayarlanmış bulunmalıdır. İzolatörün kısa devre durumunda, devreden geçecek akımın ölçülmesi sırasında devrelerdeki cihazların tahrik olması tehlikesinin bulunduğu hallerde, transformatörün baştaki maksimum geriliminin 1/10 undan az olmayan düşük gerilimler ile ölçüler yapılarak enterpolasyon yoluyla bu akımın tespiti mümkündür.

#### **2.4.1.3. Kuruda Bir Dakikalık Test**

İzolatöre kuruda bir dakika süre ile uygulanacak test gerilimi, kuruda bir dakikalık beyan edilen normal frekanslı test geriliminden atmosfer şartları gözönünde bulundurularak elde edilir.

Bulunan test geriliminin yarı değeri ani olarak izolatöre uygulanır sonra 10 saniyeden az olmayan bir süre içerisinde bu gerilim test gerilimi değerine yükseltilir. Bu değerdeki test gerilimi 1 dakikalık süre ile izolatöre uygulanır. İzolatörde herhangi bir atlama meydana gelmemelidir.

İzolatörün kuruda atlama gerilimi, kuruda 1 dakikalık test geriliminin %75 değerinin 5-30 saniye içerisinde ve değişmeyen bir hızla atlama gerilimine yükseltilmesi suretiyle elde edilir. Kuruda atlama gerilimi, atmosfer şartlarına göre düzeltilmek kaydıyla birbirini izleyen 10 gerilim değerinin okunması ve kaydedilmesi suretiyle tesbit olunur.

#### **2.4.1.4. Yaşta Bir Dakikalık Test**

İzolatör zinciri, zincir izolatörü veya mesnet izolatörü düzeltilmiş test gerilimi altında, gerilimin uygulanmasından önce 5 dakika süre ile ve teste başladıktan sonra test

süresince aşağıda özellikleri gösterilen sun 'i yağmur altında bırakılarak yaşta bir dakikalık şebeke frekanslı testen geçirilir.

Suyun anma şiddeti:  $3\text{mm} / \text{dakika} \pm \%10$

Suyun doğrultusu : Düşey ile yaklaşık  $45^\circ$  açılı

Suyun öz direnci :  $1000\ \text{ohm} - \text{cm} \pm \%10$

Su sıcaklığı : İzolatör sıcaklığından  $10^\circ\text{C}$  'den fazla farklı olmamalıdır.

$1000\ \text{ohm} - \text{cm} \pm \%10$  öz direncinde su elde etmek için saf su veya yağmur suyuna bir miktar musluk suyu karıştırılır. Her iki suyunda temiz olması ve içinde yabancı maddeler bulunmaması gerekir. Suyun elektriksel direnci taksimatlı bir tüp içerisine konulan numune üzerinde Kohlrausch köprüsü kullanılarak yapılmalıdır. Su direncini ölçmek için içerisinde platinden veya nikelden pul şeklinde yapılmış, genişlikleri tüpün  $d\ \text{cm}$  iç çapına eşit ve aralarındaki mesafe  $a\ \text{cm}$  olan iki elektrodu bulunan taksimatlı bir tüp kullanılır. Tüpün  $d$  çapı ile elektrodlar arasındaki  $a$  mesafesini birbirine bağlayan formül  $\pi d^2 / 4$  'tür. Bu şartlara uygun tüp içindeki  $a\ \text{cm}$  suyun sütununun  $\text{ohm}$  cinsinden öz direncinin rakam olarak bulunan değeri,  $\text{ohm} - \text{cm}$  cinsinden öz dirence eşit bulunmaktadır.

Sun 'i yağmur izolatörden en az 3.5 m uzaklığa yerleştirilen ve suyu izolatörün üzerine yağdıran püskürtücüler yardımı ile sağlanır. Sun 'i yağmurun yağış şiddetini ölçmek için 25-30 cm çapındaki yağış ölçme kabı veya yağmur şiddetini ölçme cihazı kullanılır. Ölçü kaplarının ağzı izolatör veya izolatör zincirinin ortasından geçen yatay düzlemde bulunacak tarzda yerleştirilir. Test edilen izolatörün boyu bir metreyi geçtiği takdirde, izolatörün her iki uç noktaları içinde yapılmalıdır. Bu üç ölçünün ortalaması anma yağmur şiddetine göre  $\%10$  'dan fazla fark göstermemeli ve ölçülen değerlerden hiçbirisi ortalama değerden  $\%25$  'den fazla farklı bulunmamalıdır.

Atmosferik şartlara göre düzeltilerek bulunan test geriliminin yarı değerine eşit bir gerilim izolatöre uygulanır ve sonra 10 saniyeden az olmayan bir sürede bu gerilim test gerilimi değerine yükseltilir. Test gerilimi 1 dakika süre ile izolatöre uygulanır.

İzolatör yaşta atlama gerilimi, yaşta 1 dakikalık test geriliminin  $\%75$  değerinin 5-30 saniye içerisinde ve değişmeyen bir hızla atlama geriliminin yükseltilmesi suretiyle elde edilir. Yaşta atlama gerilimi atmosfer şartlarına göre düzeltilmek kaydıyla birbirini izleyen 10 gerilim değerinin okunması kaydedilmesi suretiyle tesbit olunur.

## 2.4.2. İkinci Grup Testler

İmalat testlerinde olumlu sonuç alınan izolatorlerden ayrılacak numuneler sırayla; boyutların doğrulanması, sıcaklık değişimi, 24 saatlik mekanik dayanıklılık, kısa süreli elektromekanik kırılma yükü, mekanik kırılma yükü, delinme, gözeneklilik (porozite), galvanizlenme niteliği testlerine tabi tutulur.

Zincir izolatorlerden alınan numune grubu birbirine yakın eşitlikte 3 kısma bölünür. Bunların hepsine boyutların doğrulanması, sıcaklık testleri değişimi testleri uygulanır. Bundan sonra birinci kısma 24 saatlik mekanik dayanıklılık, kısa süreli elektromekanik kırılma yükü testleri, ikinci kısma mekanik kırılma yükü, gözeneklilik testleri, üçüncü kısma delinme, galvanizlenme niteliği testleri uygulanır.

Mesnet izolatorlerinden alınan numune grubu birbirine yakın eşitlikte iki kısma bölünür. Her iki kısma boyutların doğrulanması, sıcaklık değişim testleri uygulandıktan sonra, birinci kısma mekanik kırılma yükü, gözeneklilik testleri, ikinci kısma delinme ve galvanizli parçalar varsa galvanizleme niteliği testleri uygulanır.

### 2.4.2.1. Boyutların Doğrulanması

Gerekli ölçü aletleri ile izolator numuneleri boyutlarının ait buldukları imalat resimlerindeki boyutlara uyup uymadıkları kontrol edilir. Boyutların toleransı  $\pm(0.03d + 0.3) \text{ mm}$  'yi geçmemelidir. Burada  $d$  izolatorün  $\text{mm}$  cinsinden boyutlarıdır.

### 2.4.2.2. Sıcaklık Değişimi Testi

Zincir izolatorleri sabit metal kısımlarıyla birlikte, mesnet izolatorleri ise iletken ve tesbit demirsiz olarak, musluk suyu, sıcaklığından  $70^\circ \text{C}$  daha fazla bir sıcaklıktaki su banyosuna, başka bir ara kap kullanmaksızın hızla tamamen daldırılır ve  $T$  dakika süre ile bu suyun içinde bekletilir. Bundan sonra hızla çıkarılan izolator beklenilmeksizin içinde musluk suyu bulunan soğuk banyoya tamamen daldırılır, yine  $T$  dakika bekletilir. Burada  $T = (15 + 0.7m)$  dakika olup  $m$ , izolatorün  $\text{kg}$  cinsinden ağırlığıdır.

Bu ısıtma ve soğutma işlemi arka arkaya 5 defa tekrarlanır. Bir banyodan diğer banyoya geçiş süresi 30 saniyeyi aşmamalıdır. Banyolardaki su miktarı izolatorün tamamının daldırılmasına ve su sıcaklığının  $5^{\circ}\text{C}$  'den fazla değişmemesine yetecek kadar bol olmalıdır.

5. defa soğuk banyodan çıkarıldıktan sonra izolatorler muayene edilerek çatlamadıkları ve sırlarında herhangi bir bozulma bulunmadığı tesbit edilmelidir. Bundan sonra massif çekirdekli olmayan izolatorlere imalat testlerinden endüstriyel frekans testi, massif çekirdekli izolatorlere ise mekanik test uygulanır. İzolatorler, porseleni veya sıra çatlamadan, delinme olmadan ve mekanik kırılma meydana gelmeden bu testlere dayanmalıdır.

#### **2.4.2.3. 24 Saatlik Mekanik Dayanıklılık Testi**

Bu test sadece zincir izolatorlere uygulanır. İzolatorler 24 saat süre ile eksenlerine uygulanan " 24 saatlik beyan edilen mekanik test yükü" ne eşit bir gerilme yüküne tabi tutulur. Bu testten sonra izolatorler, 1 dakika süre ile imalat testlerinden endüstriyel frekans testine delinmeden ve kırılmadan dayanabilmelidir.

#### **2.4.2.4. Kısa Süreli Elektromekanik Kırılma Yükü Testi**

Bu test sadece zincir izolatorlere uygulanır. İzolatorlerin metal kısımları arasına şebeke frekanslı gerilim ile mekanik gerilme yükü aynı anda uygulanır. Uygulanan test gerilimi, test şartları altında kuruda atlama geriliminin %90 'ına eşit olup bu değer bütün test süresince muhafaza edilir. Gerilme yükü, beyan edilen elektromekanik kırılma yükünün %20 'si oranında ve düzgün bir hızla, izolatorde hasar veya kırılma meydana gelinceye kadar arttırılır. Beyan edilen yükten daha aşağı bir değerde delinme veya kırılma meydana gelmemelidir.

#### 2.4.2.5. Mekanik Kırılma Testi

Zincir izolatörlerine beyan edilen mekanik kırılma yükünün yarısına eşit bir gerilme yükü uygulanır. Bu gerilme yükü metal kısımlar arasına uygulanarak dakikada beyan edilen mekanik kırılma yükünün %20 'si oranında, düzgün bir hızla kırılma hasıl oluncaya kadar artırılır.

Mesnet izolatörleri, test sırasında uygulanan yük ile farkına varılabilir bir şekil değişmesi meydana gelmeden dayanabilen sabit bir mesnede tesbit edilmelidir. Beyan edilen mekanik kırılma yükünün yarısına eşit bir yük, mesnedin eksenine dikey olarak ve izolatörün yan iletken yuvasının yüzeyinde bu yuvayı saran bir tel halat ile uygulanır. Bu gerilme yükü, dakikada beyan edilen mekanik kırılma yükünün %20 'si oranında düzgün bir hızla kırılma hasıl oluncaya kadar artırılır.

Beyan edilen mekanik kırılma yükünden aşağı bir değerde kırılma meydana gelmemelidir.

### 2.5. Delinme Testi

#### 2.5.1. Şebeke Frekanslı Delinme Testi

İzolatörler temizlenip kurutulduktan sonra, gerilim atlamasını önleyecek uygun bir yalıtkan madde ile dolu bir kabın içerisine tamamen daldırılır. Kap metalden ise, bu kabın boyutları, izolatörün herhangi bir parçası ile kabın yan yüzeyleri arasındaki en kısa mesafe, izolatörün en büyük siperi çapının 1.5 katından az olmayacak büyüklükte bulunmalıdır.

Test gerilimi, zincir izolatörlerinde metal bağlantı parçaları arasına, mesnet izolatörlerinde ise metal mesnet ile izolatörün iletken yuvasına bağlanan iletken arasına uygulanır. Gerilim hızla beyan edilen kuruda 1 dakikalık şebeke frekanslı test gerilimine çıkarılır. Sonra saniyede 1000 V 'luk düzgün bir artışla izolatör delininceye kadar bu gerilim yükseltilir. Bulunan delinme gerilimi beyan edilen gerilim değerinden az olmamalıdır.

### 2.5.2. Havada Aşırı Gerilim Darbesi Testi

İstenildiği takdirde şebeke frekanslı delinme testi yerine bu test yapılabilir. İzolatör devreye bağlanmadan önce, darbe generatörü, cephesi beyan edilen diklikte bulunan pozitif bir gerilim dalgası verecek şekilde ayarlanmalı ve bu dalganın tepe değeri beyan edilen darbe gerilimi değerine eşit olmalıdır. İzolatöre 20 darbe uygulanmalıdır. Bu test sırasında izolatör delinmemelidir.

### 2.5.3. Gözeneklilik (Porozite) Testi

İzolatör kırıkları, 1 gram fuksin 'in 100 gram etil alkoldeki çözeltisinde en az 150  $kgf/cm^2$  basınç altında ve test basıncı ile saat olarak bekletilme süresi çarpımı 1800 'den az olmamak üzere hesaplanacak süre bekletilir.

Bu şekilde bekletilen izolatör kırıkları, yıkanıp kurutulduktan sonra tekrar kırılarak renkli fuksin çözeltisinin porselen içine veya sır ile porselen arasına sızıp sızmadığı rengin yayılıp yayılmadığı kontrol edilir.

### 2.5.4. Galvanizleme Niteliği Testi

İzolatörlerin metal kısımları benzin veya diğer uygun yağ eriticilerine daldırılarak temizlenir, kuru temiz ve yumuşak bir bezle kurulanır. Sonra %2 sülfürik asit çözeltisine daldırılarak 15 saniye bırakılır. Bu metal parçalar temiz su ile iyice yıkanıp temiz, yumuşak bir bezle kurulanır.

Bundan sonra her metal parça filtre edilmiş ve yoğunluğu  $20^{\circ}C$  'de  $1.170 \pm 0.010$  olan bakır sülfat çözeltisine 4 defa birer dakika süreyle tamamen daldırılır. Test sırasında bakır sülfat çözeltisinin sıcaklığı  $18^{\circ}C$  'den aşağı düşmemeli ve  $22^{\circ}C$  'den yukarı çıkmamalıdır. Bu teste çözelti ve metal parçalar hareket ettirilmemelidir. Bakır sülfat çözeltisi, 35 gram bakır sülfat kristalinin  $100 cm^3$  saf suda çözülmesi

suretiyle hazırlanır. Çözeltinin nötrleştirilmesi için, beher litreye 1 gram bakır karbonat veya bakır hidrat yahut ta siyah bakır oksit ilave olunur.

Galvanizleme testine tabi tutulacak yüzeyin beher  $cm^2$  'si için en az  $6 cm^3$  çözelti bulundurulmalıdır. Numunenin herhangi bir parçası ile kabın, yan yüzeyleri arasındaki en kısa mesafe  $2.5 cm$  'den az olmamalıdır. Her daldırılıştan sonra numune yıkanmalı ve akar su altında, fırçalanmalıdır. Son daldırılış hariç olmak üzere dikkatlice kurulan bu parçalar derhal çözeltiliye tekrar batırılmalıdır.

4. daldırılıştan sonra deney parçaları yüzeyine yapışmış ve akar su altında fırça ile giderilemeyen kırmızı metal bakır kalıntıları bulunmamalıdır. 3. veya 4. daldırılıştan sonra keskin açılarda görülebilecek mevzii kalıntılar nazarı itibare alınmaz.

## 2.6. Tekrarlanacak Testler

Boyutların doğrulanması, sıcaklık değişimi, 24 saatlik mekanik dayanıklılık, kısa süreli elektromekanik kırılma yükü, mekanik kırılma yükü, delinme, gözeneklilik, galvanizlenme niteliği testlerinde olumsuz sonuç alınması halinde, tekrarlanacak testler için alınacak numune sayısına uygun şekilde tekrar numune ayrılır ve testler yeniden uygulanır.

### 2.6.1. Zincir İzolatörlerde Termik-Mekanik Dayanıklılık Testi ve Mekanik Dayanıklılık Testi

"Anma gerilimi 1000 V 'tan daha yukarı bulunan elektrik hava hatları için porselen ve cam izolatör testleri" konulu 383 No.lu IEC yayını, yük ve sıcaklık değişimi altında izolatörlerin aldığı durumu araştırmaya yarayan herhangi bir testi kapsamamaktadır. Halbuki işletmede izolatörlerin güvenilirliği açısından birinci derecede önemli olan bu bilgiyi, uygulanan uzun süreli testler veya dayanıklılık testleri verebilmektedir.

575 No.lu IEC yayını, izolatörler için termik-mekanik tipte bir tip testi önermektedir. Ayrıca, bir numune testi olarak önerilen, yük değişimi ile birlikte yürütülen mekanik bir testi de kapsamaktadır.

### 2.6.2. Termik-Mekanik Dayanıklılık Testi

Bu testin ilk bölümünde sıcaklık değişim deneyi ile birlikte mekanik yükleme ve yük sıfırlama, son bölümünde ise izolatörün kırılma testi yer almaktadır. Son bölüm daha önce anlatılmış bulunan elektromekanik veya mekanik kırılma yükü testinin aynısıdır. Böyle bir kırılma yükü testi, test sonuçlarını değerlendirmede termik-mekanik dayanıklılık testinin temelini oluşturur. Testin ilk bölümünde; izolatör elemanlarına 24 saatlik dört çevirim halinde soğutma ve ısıtma işlemleriyle birlikte, beyan edilen elektromekanik veya mekanik kırılma yükünün % 60 'ına eşit bir gerilme yükü uygulanır. Gerilme yükü, izolatöre oda sıcaklığında ve ilk ısıl çevirime başlamadan önce uygulanır.

Aksi söz konusu olmadıkça, 24 saatlik ısıl çevirim; sıcaklığın  $-30 \pm 5$  °C 'ye düşürülmesi ve  $+40 \pm 5$  °C 'ye yükseltilmesi şeklinde olur. Sıcaklık değerleri çevre hava sıcaklığını göstermektedir. İşlem, önce soğutma sonra ısıtma biçiminde yapılır. Test cihazları birbirini takip eden en düşük ve en yüksek sıcaklıkların her birini en az dört saat süreyle sağlayabilmelidir. Sonuncu ısıtma işlemi dışında, her ısıtma işlemi sonuna doğru gerilme yükü tümüyle sıfırlanır ve yeniden uygulanır. Dördüncü 24 saatlik çevirimin tamamlanmasından ve sıcaklığın oda sıcaklığına düşürülmesinden sonra, gerilme yükü sıfırlanır. Bu yükün sıfırlanmasından sonra, aynı gün izolatörler üzerinde tek tek daha önce anlatılmış bulunan elektromekanik veya mekanik kırılma yükü testi uygulanır. Elde edilen kırılma yükü değerleri ve kırılma biçimleri, termik-mekanik dayanıklılık deneyinin son bölümünde alınan test sonuçlarıyla karşılaştırılarak izolatörlerin dayanıklılığı karara bağlanır.

### 2.6.3. Mekanik Dayanıklılık Testi

Bu test, daha önce anlatılmış olan IEC standardında kaldırılmış bulunan 24 saatlik mekanik test yerine geçmek üzere ve numune testi taleplerini karşılamak amacıyla daha basit bir dayanıklılık testi olarak eklenmiştir. Önemli imalat hataları söz konusu olduğunda bu mekanik dayanıklılık testinin, bilinen elektromekanik veya mekanik kırılma yükü testinin ötesinde bir etkinliği olduğu görülmektedir.

Bu testin ilk bölümünde mekanik yükleme ve yük sıfırlama, son bölümünde ise izolatorün kırılma testi yer almaktadır. Sonuç bölümü, bilinen elektromekanik veya mekanik kırılma yükü testinin aynısıdır. Böyle bir kırılma yükü testi, test sonuçlarını değerlendirmede mekanik dayanıklılık testinin temelini de oluşturur.

Testin ilk bölümünde, izolator elemanlarına, beyan edilen elektromekanik veya mekanik kırılma yükünün % 60 'ına eşit bir gerilme yükü uygulanır. Aksi söz konusu olmadıkça gerilme yükü ani olarak dört defa arka arkaya uygulanır ve sıfırlanır. Aynı gün, yükleme ve yük sıfırlama işleminden sonra izolatorler üzerinde tek tek bilinen elektromekanik veya mekanik kırılma yükü testi uygulanır. Elde edilen kırılma yükü değerleri ve kırılma biçimleri, termik-mekanik dayanıklılık testinde alınan sonuçlarla karşılaştırılarak izolatorlerin dayanıklılığı karara bağlanır.

## 2.7. Kir Altında Yüksek Gerilim İzolator Test Yöntemleri

Kirli şartlar altında izolator davranışını en iyi şekilde ölçmeyi sağlayacak çeşitli test yöntemlerinin geliştirilmesi için birçok ülkede yıllardan beri çalışmalar yapılmaktadır. İzolator kirliliği test yöntemleri "suni" ve "tabii" olmak üzere ikiye ayrılabilir.

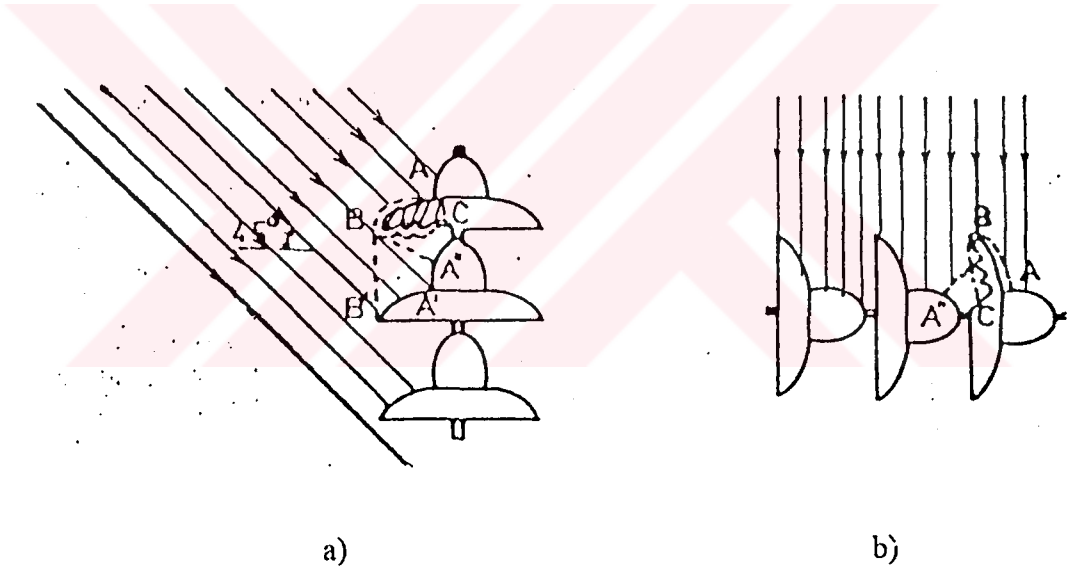
### 2.7.1. Sun 'i Kir Kaplama Test Yöntemleri

Laboratuar testleri olarak da bilinen bu testlerin başlıca faydaları ucuz, çabuk ve tekrarlanabilir olmalarıdır. Tenkit edilen tarafları ise servis şartlarının böyle bir ortamda

temsil edilemeyişi, test geriliminin bazı hallerde servis geriliminden farklı olması hususlarıdır. Sun 'i test yöntemlerinin başlıcaları aşağıda verilmiştir.

### 2.7.1.1. Yağmur testi

Yaşta atlama deneyi olarak da bilinen bu test hemen hemen bütün standartlarda mecburi test olarak kaydedilmekte ve uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Teste tabi tutulacak izolatörler önce yıkanır, kurulanır ve standartların koyduğu kayıtlar dahilinde servis şartlarına en uygun tarzlarda düzenlenir. Bu şekilde düzenlenen izolatörlere homogen tarzda ince yağmur püskürtülür. Düşey zincir halinde püskürtme  $45^\circ$  'lik açı altında, yatay zincir halinde ise düşey doğrultuda yapılır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Yağmur altında izolatör testi.

Yağmur suyunun direncinin, atlama gerilimi üzerinde oldukça etkisi vardır. Kullanılan suyun spesifik iletkenliği oda sıcaklığında  $10000 \text{ Ohm/cm} \pm \%10$  ve yağmur düşme oranı dakikada  $3 \text{ mm} \pm \%10$  olmalıdır. Düşme oranının ölçmesi için standart

meteorolojik kaplar kullanılabilir. İzolatör zinciri uzun olması durumunda ölçmenin uç bölgelerinde ve birçok noktalarda yapılması ve bulunan değerler arasındaki farkın %25 'den fazla olmaması gerekir. Bu şartlar altında izolatöre standartla belirtilen yaşta test geriliminin önce 2 dakika süre ile yarısı, müteakiben 10 saniye içinde tam değere yükseltile test gerilimi bir dakika süre ile tatbik edilir. İzolatör bu test altında delinmemeli ve atlama olmamalıdır. Bu testten sonra izolatöre bir dakikalık yaşta test geriliminin %75 değerinde bir gerilimden başlayarak ve de kademe kademe arttırılan gerilim, atlama oluncaya kadar tatbik edilir. Gerilimin tatbik süresi 5 saniyeden az olmamalı ve test 10 defa tekrarlanarak ortalama yaşta atlama gerilimi hesaplanmalıdır. Atlama gerilimi ve deşarjın yüzey boyunca gelişmesi, yağmurun şiddetine, iletkenliğine ve izolatörün boyut ve konumuna bağlıdır. Düşey zincirde şemsiyeden akan su iplikçikleri nedeniyle deşarj BB 'yolunu takip edebilir. Yağmur suyu iletkenliği artınca deşarj ABC boyunca yayılmaya meyleder (Şekil 2.1a).

Aynı izolatör zinciri yatay konumda teste tabi tutulursa farklı davranış gösterir. Bu durumda, izolatörün şemsiye altındaki kısımları düşey konuma nazaran daha kolaylıkla ıslanır ve deşarj ABC yolunu takip eder. Yağmur iplikçikleri etekler arasını birleştireceğinden deşarj şemsiye altındaki oyuklardan daha çok, etekler arasında havadan su iplikçiklerini takip eder (Şekil 2.1b).

Yukarıda detaylı olarak açıklanan yağmur deneyi ile izolatörün kirli şartlar altında davranışı ölçülmek istenir. Ancak yağmur testi pratik şartları yeterince temsil edemez. Servis şartlarında bir izolatör yüzeyinde biriken kir tabakasının dağılımı ve karakteristikleri, yağmur altında izolatör yüzeyinde oluşan iletken elektrolitik tabakanın dağılımı ve özelliklerinden çok farklıdır. Devamlı izolatör yüzeyinde açığa çıkan ısıyı uzaklaştırarak ıslak (iletken) tabakayı yenilerken, pratikte kirli izolatör yüzeyi boyunca kaçak akımlar nedeniyle açığa çıkan enerji, kir tabakasında birikir ve değişmelere yol açar. Bunlardan başka yağmur altında başarılı davranış gösteren birçok izolatör tiplerinin işletme şartlarında tamamen ters sonuç gösterdiği tesbit edilmiş bulunmaktadır. Bu nedenlerle şebeke frekansında yaşta atlama testinden vazgeçilmesi ve standartlardan çıkarılması fikri gittikçe yaygınlaşmaktadır.

### 2.7.1.2. Kizelgur ve Metilen Testleri

Kirlenme atlamalarının ciddi bir işletme problemi olarak belirmesi nedeniyle araştırmacılar çeşitli ve daha uygun test yöntemlerinin geliştirilmesine çalışmışlardır. Bu maksatla kurulan test merkezlerinde yapılan araştırmalar sonucu yeni birçok yöntem ortaya çıkmıştır. Bunlar arasında en çok ilgi toplayan, Almanya 'da geliştirilen "Kizelgur" ve "Metilen" yöntemleri aşağıda incelenmiştir. Her iki yöntemin ortak tarafı izolatörün suni kirle homojen olarak kaplanmasıdır. "Kizelgur deneyi" diye bilinen bu testin gayesi, endüstriyel tür kir altında çalışan hat ve cihaz izolatörlerinin davranışlarını tesbit etmektir. Kizelgur deneyinin iki çeşidi Almanyada 'ki Studiengesellschaft für Höchstspanungsanlagen (SFH) ve Siemens Schuckert Werke (SSW) tarafından geliştirilmiştir. Kizelgur testi 1963 'den beri Almanya 'da standart test olarak kabul edilmiş ve Almanya normlarına (BDE 0448 / 1-63) alınmıştır.

Kullanılan suni kir 10 birim damıtık su, 1 birim kizelgur ve 0,1 birim dekstrin karışımıdır. Dekstrin çözeltiye yapışkanlık özelliği verir. Arzulanan spesifik iletkenlik, karışıma yeterli miktarda sofr tuzu katılarak sağlanır. 1000 gram damıtık su başına 1-35 gram tuz katılması halinde elde edilecek spesifik iletkenlikler yaklaşık olarak 1900-40000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  olur. İzolatör önce gres cinsinden yapışkan kirleri giderici bir çözücü ile iyice temizlendikten sonra düşük spesifik iletkenliği haiz (500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  'den az) su ile iyice çalkalanır. Temizlenmiş izolator önce 60-80 °C 'ye kadar ısıtılır. Yukarıda belirtildiği tarzda hazırlanmış suni kir gayet ince (atomize) hale getirici olarak püskürtücülerle ısıtılmış izolator yüzeyine homojen olarak püskürtülür. Yüzey sıcak olduğundan püskürtülen suni kir kısa zamanda kuruyarak izolator yüzeyi kuru bir tabaka halinde kaplanmış olur. Kir tabakasının kalınlığı kolayca ayarlanabilir. Homojen bir kir kaplama temini için izolatorün simetri ekseni boyunca döndürülmesi tavsiye edilir.

Kuru kir tabakası ile kaplanmış izolatorün ıslatılması ve deneyin bundan sonraki safhası, SSW ve SFH yönteminde farklı şekilde yapılmaktadır. SSW yönteminde kuru kir tabakası ile kaplanmış izolator önce soğuk bir odaya ve arkasından yüksek sıcaklıkta ve nemli bir odaya alınarak "kondanse" suretiyle kir tabakası nemlendirilir. Kir tabakasının iletkenliği artarak bir doyma iletkenliğine erişir. Kir tabakası iletkenliği alçak gerilim altında ölçülerek doyma iletkenliği  $G_0$  tespit edilir. Doyma iletkenliğine erişme süresi 15

dakikadan az olmamalıdır. Kir tabakasının ısıtılması buharla veya su püskürtülerek de yapılır. Doyma iletkenliğine varıldıktan sonra dayanma gerilimine yakın değerde şebeke frekanslı sinüzoidal bir gerilim izolatöre aniden tatbik edilir. SFH yönteminde ise anma gerilimi nemlendirme başlamadan veya nemlendirme sırasında tatbik edilir. Test geriliminde düşme beher amper yük akımı başına % 4 'den fazla olmamalıdır.

Test gerilim kaynağının kısa devre akımının değeri önemli olup standartla belirtilen değerden (genellikle 10-20 A) az olmamalıdır. Deney boyunca test gerilimi ve akım, kaydedicilerle (osiloskop) kaydedilmelidir. Bu tarzda, verilen bir doyma iletkenliği için dayanım gerilimi (atlama yapmayan maksimum gerilim) tesbit edilir. Hazırlanmış bir izolatör üzerindeki kir tabakası yenilenmeden, ıslatma yenilenecek deney en fazla 4 defa tekrarlanabilir. Dört defada da atlama olmazsa izolatör temizlenir ve yeniden kir tabakası ile kaplanır. Deney, farklı doyma iletkenlikleri için yeniden tekrarlanır. Deney sonuçları dayanım gerilimi ( $V_g$ , kV-effektif), yüzeysel iletkenlik ( $\sigma_s$ ,  $\mu S$ ) eğrisi şeklinde gösterilir.

Yüzeysel iletkenlik  $\sigma_s$ , doyma iletkenliği  $G_o$  ve izolatörün form faktörü F yardımı ile hesaplanır.

$$\sigma_s = G_o.F \quad (2.1)$$

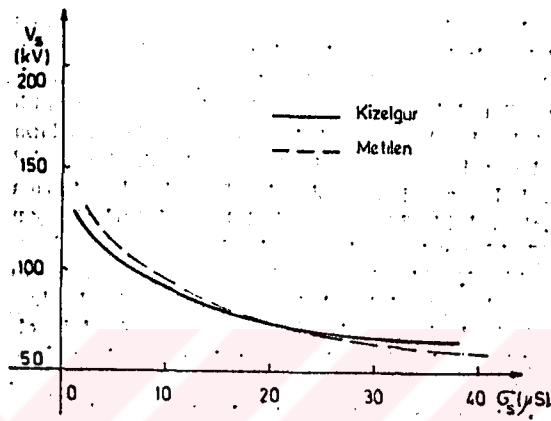
Form faktörü F, izolatör boyutlarına bağlıdır ve aşağıdaki formül yardımı ile grafik veya sayısal yöntemler ile bulunur.

$$F = \int_0^L \frac{dl}{\pi D} \quad (2.2)$$

Bu bağıntıda L; toplam sızma boyunu, dl; sızma yüzeyi boyunca uzunluk elemanını, D ise dl 'ye tekabül eden izolatör çapını gösterir.  $V_s(\sigma_s)$  eğrisi verilen bir kirlenme derecesi için izolatörde atlama yapan ve yapmayan gerilim sınırını gösterir.

AEG tarafından geliştirilen ve "Metilen Yöntemi" denilen bir yöntemde suni kir 1 litre damıtık suya 30 gram metil selüloz, 25 gram tebeşir tozu katılarak yapılır. Karışım iki gün bekletilmelidir. Tebeşir tozu, solüsyona renk vermek ve tuz ise iletkenlik sağlamak içindir. İzolatör bu kirle daldırma veya püskürtme ile homogen olarak kaplanmaktadır. İstenen kir iletkenliği, tabaka kalınlığı ve tuz miktarı değiştirilerek

kolayca sağlanmaktadır. Kizelgur yönteminde olduğu gibi izolator soğutma-ısıtma ameliyesine tabi tutulmaksızın seçilen deney gerilimi izolatöre iletkenlik ölçüldükten sonra tatbik edilir ve benzer tarzda dayanım gerilimi tayin edilir. Gerilimin tatbikinden sonra en az 5 dakika beklemeli ve her gerilim tatbikinden sonra izolator temizlenerek yeniden kirle kaplanmalıdır. Her iki yöntemle bulunan sonuçlar arasında uygunluk sağlanmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. VKL İzolatörün Kizelgur ve Metilen yöntemleri ile bulunan dayanım gerilimi iletkenlik eğrileri.

Metilen yönteminin, Kizelgur yöntemine göre üstünlüğü soğutma-ısıtmayı gerektirmediğinden dolayı daha az ekipmanla, daha çabuk ve kolay şekilde sonuç vermesidir. Ayrıca kirin izolatöre tatbik edilmesi ve temizlenmesi çok daha kolay olmakta ve püskürtülme sırasında püskürtücülerde bir tıkanıklık söz konusu olmamaktadır. Metilen yönteminde izolator kirle kaplandıktan sonra bekletilmeden teste tabi tutulmaktadır. Kuruma halinde kir tabakasının higroskopik olmayışı nedeni ile tekrar ısıtılması zor olmaktadır.

En son olarak geliştirilen diğer bir yöntemde ise, suni kir olarak 1 litre damıtık suya katılmış 20 gram silika parçacıkları (cab-o-sil) ve 1 gram kadar ıslatıcı bir madde (photo-flo.600) karışımı kullanılmaktadır. İzolatör alçak basınçlı püskürtücülerle bu tür suni kirle kolayca kaplanabilmektedir. Test gerilimi, kirlendirmeyi müteakip 3-5 dakika içerisinde tatbik edilmelidir.

Almanya 'da yapılan çalışmalarda çeşitli tip izolatörlerin  $V_s$  ( $\sigma_s$ ) grafikleri hazırlanmış bulunuyor. Bir bölgede kullanılacak izolatörlerin seçiminde, önce bu bölgede yapılan ölçmelerle kirlenme derecesi (kir yüzeysel iletkenliği,  $\sigma_s$ ) tespit edildikten sonra  $V_s$  ( $\sigma_s$ ) grafikleri yardımıyla dayanım gerilimleri bulunarak izolatör seçimi, tüm bu verilere göre yapılmaktadır.

### 2.7.1.3. Tuzlu sis testi

Kizelgur veya diğer suni kir kaplama yöntemleri endüstriyel bölgelerde kullanılacak izolatörlerin davranışlarını yeterli sayılabilecek şekilde tespit edebildikleri halde, tuzlu deniz sis etkisinde kalan sahil bölgelerde kullanılacak izolatörlerin davranışlarını tatminkar olarak tespit edememektedirler.

Sahil bölgelerinde atlamaya yol açan kirlenme durumu endüstriyel bölgelerden daha farklı olmaktadır. Endüstriyel bölgelerde izolatör yüzeyine biriken kir bileşimi çok çeşitlidir. Sahil bölgelerindeki kir bileşimi ise genellikle tuzdan ibarettir. Temiz bir izolatör sis veya bir fırtına anında denizden esen rüzgarın etkisi ile iletken tuz çözeltisi ile kaplanarak atlama yapabilir.

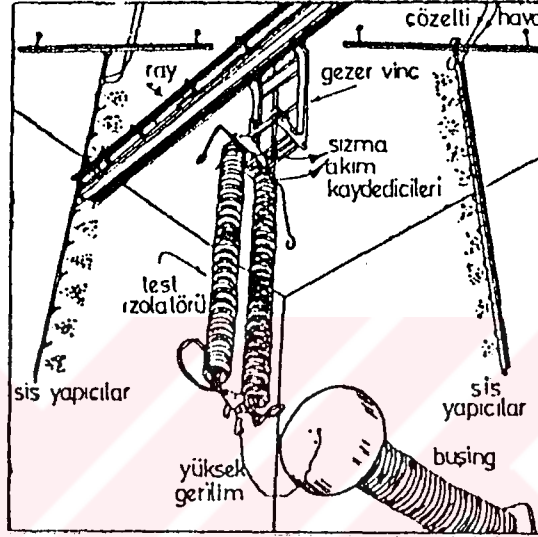
Bu tür atlamaları laboratuvar ortamında en iyi şekilde temsil etmek üzere tuzlu sis testi geliştirilmiştir. Bu test ilk defa İngiltere Elektrik İdaresi Araştırma laboratuvarlarında (CERL) yapılan çalışmalarla geliştirilmiş ve 1964 yılında açıklanmıştır. Test sonuçlarının uygunluğu karşısında 1965 yılında İngiliz (CEGB), Fransız (Edf) ve İtalyan (ENEL) milli Elektrik kurumları arasında resmi işbirliği yapılarak yöntemin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

Bu testte, temizlenmiş izolatörler sis odasında servis şartlarındaki duruma en uygun tarzda düzenlenirler. Şekil 2.3, bir sis odasında izolatör test düzeni ile ilgili görüntüyü temsil etmektedir. Sis odası tuzluluk derecesi bilinen sisle doludur. Teste tabi tutulan izolatörün yüzeysel iletkenliği kullanılan tuz çözeltisinin tuzluluk derecesi ile kabaca orantılı olur.

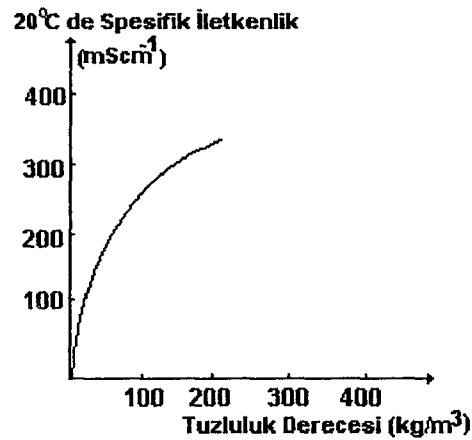
Şekil 2.4 'de bir tuz çözeltisinin 20 °C 'de spesifik iletkenliğinin tuzluluk derecesi (birim hacminde tuz miktarı) ile değişimi çizilmiştir.

Bu eğri yardımı ile istenen iletkenlikteki çözelti kolayca hazırlanabilir.

Test servis gerilimi altında yapılır. Deney bir saat boyunca sürer ve bu süre içinde atlama yapmayan maximum tuzluluk derecesi "Dayanım tuzluluk derecesi" diye adlandırılır ve bu izolator davranışı için bir kriter olarak kabul edilir. Bu test yardımıyla, izolatorlar birbirleri ile mukayese edilebilir ve iyilik derecelerine göre sınıflandırılabilirler. Kizelgur yöntemi ve tuzlu sis yöntemi en çok ilgi çeken iki suni test yöntemidir.



Şekil 2.3. Bir sis odasında izolator test düzeni



Şekil 2.4. Tuz çözeltisi iletkenliğinin tuzluluk derecesi ile değişimi

### 3. İZOLATÖRLERDE GERİLİM DAĞILIMI

#### 3.1. Genel Bilgi

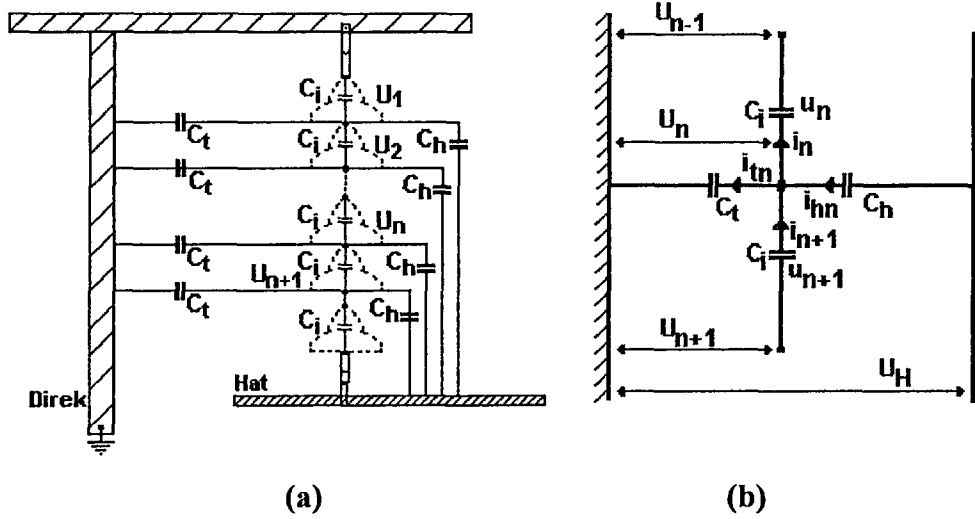
Bir zincir izolatörde oluşan gerilim dağılımı; yani izolatör zincirini oluşturan elemanların toprağa göre gerilimleri veya bu elemanlara düşen gerilimlerin zincir boyunca dağılımları çeşitli hesap yöntemleri yardımıyla bulunabilir.

Temiz veya kuru kir ile kaplı bir izolatörün yüzey direnci ve geçiş direnci yüksek olduğundan, izolatör kapasitif bir etki gösterir. Bu nedenle bir izolatörün elektriksel eşdeğer şeması bir kapasite ( $C_i$ ) ile temsil edilebilir. Dolayısıyla uzayda bir zincir izolatörün eşdeğer şeması, seri bağlı kapasitelerden oluşan bir kondansatör zinciri şeklinde ele alınabilir. Bu durumda hat gerilimi elemanlara eşit bir şekilde dağılır; yani, gerilim dağılımı lineerdir.

Buna karşılık yüksek gerilim enerji sistemlerinde direğe asılı bulunan bir zincir izolatörde, elemanların  $C_i$  öz kapasitelerinden başka; bu elemanların başlıkları ile direk (ve dolayısıyla toprak) arasındaki  $C_t$  toprak kapasiteleri ve yine bu başlıklarla iletim hattı arasındaki  $C_h$  hat kapasiteleri gerilim dağılımını etkiler. Gerilim dağılımı az veya çok lineerlikten uzaklaşır.

Böyle bir izolatörün elektriksel eşdeğeri Şekil 3.1-a 'da ki gibi alınır. Bazı hallerde  $C_t$  'nin ve bazı hallerde  $C_h$  'nin etkisi ihmal edilebilir.

Bir zincir izolatörde gerilim dağılımı; diferansiyel denklemler, basit hesap yöntemi veya sayısal yöntemler (Sonlu Farklar, Sonlu Elemanlar, Sınır Elemanları gibi) ile bulunabilir.



Şekil 3.1. a) Zincir tipi izolatörlerden oluşan bir izolatör zinciri ve kapasiteler  
b) Elektriksel eşdeğeri

### 3.2. Gerilim Dağılımının Diferansiyel Denklemler Yardımıyla Bulunması

Hesaplamalarda Şekil 3.1-b 'deki eşdeğer devreden yararlanılacak, ayrıca  $C_i$ ,  $C_t$  ve  $C_h$  kapasitelerinin kendi aralarında eşit oldukları kabul edilecektir. Şekil 3.1-b 'de n. düğüm noktasındaki akım denklemlerinden,

$$i_n = \omega C_i (U_n - U_{n-1})$$

$$i_{n+1} = \omega C_i (U_{n+1} - U_n)$$

$$i_{tn} = \omega C_t U_n$$

$$i_{hn} = \omega C_h (U_H - U_n)$$

$$i_{n+1} + i_{hn} - i_n - i_{tn} = \omega C_i (U_{n+1} - U_n) + \omega C_h (U_H - U_n) - \omega C_i (U_n - U_{n-1}) - \omega C_t U_n = 0$$

$$(C_h + C_t)U_n - C_h U_H = C_i (U_{n+1} - 2U_n + U_{n-1}),$$

diferansiyel denklemi elde edilir. Bu diferansiyel denklem, eleman sayısı sonsuz ve birbirini izleyen elemanlar arasındaki gerilim farklarının sonsuz küçük olması halinde,

aşağıdaki diferansiyel denkleme dönüştürülebilir.

$$C_i = \frac{d^2 U_n}{dn^2} = (C_h + C_t)U_n - C_h U_H$$

Bu diferansiyel denklem çözülecek olursa;

$$U_n = \frac{U_H}{\beta^2 \text{sh}(\beta z)} \left[ \frac{C_t}{C_i} \text{sh}(\beta n) + \frac{C_h}{C_i} \text{sh}\beta(n-z) + \frac{C_h}{C_i} \text{sh}(\beta z) \right] \quad (3.1)$$

Burada  $\beta = \sqrt{\frac{C_t + C_h}{C_i}}$  olup, buna Zayıflama (zincirleme) faktörü denir ve

$\beta^2 = 0,01 \dots 0,1$  mertebesindedir.

$z$  ise, zincirdeki eleman sayısıdır.

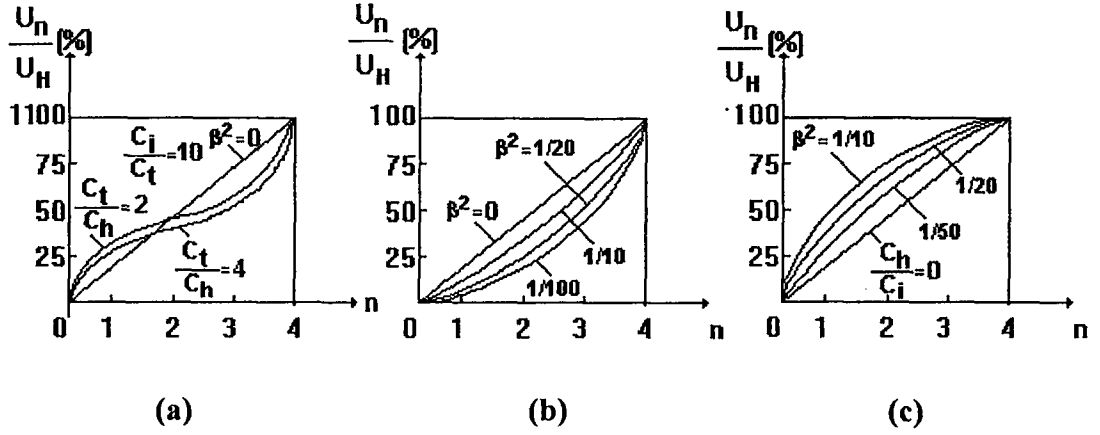
a) Hat kapasitesinin ihmal edildiği durumlarda:  $C_h \ll C_t$

$$\beta = \sqrt{\frac{C_t}{C_i}}, \quad U_n = U_H \frac{\text{sh}(\beta n)}{\text{sh}(\beta z)} \quad (3.2)$$

b) Toprak kapasitesinin ihmal edildiği durumlarda;  $C_t \ll C_h$

$$\beta = \sqrt{\frac{C_h}{C_i}}, \quad U_n = U_H \left[ 1 - \frac{\text{sh}\beta(z-n)}{\text{sh}(\beta z)} \right] \quad (3.3)$$

elde edilir.  $\beta$  'nın çeşitli değerleri için (3.1), (3.2) ve (3.3) ifadelerine ilişkin eğriler, sırasıyla Şekil 3.2- a,b,c 'de verilmiştir.



**Şekil 3.2.** a) En genel durumdaki  $U = f(n)$  gerilim dağılımı eğrileri  
 b)  $C_h \ll C_t$  için  $U = f(n)$  gerilim dağılımı eğrileri  
 c)  $C_t \ll C_h$  için  $U = f(n)$  gerilim dağılımı eğrileri

Burada,  $\beta = 0$  haline karşı düşen eğri; (3.1), (3.2) veya (3.3) ifadelerinde pay ve paydanın türevleri alınarak bulunur. Bu durumda;

$$U_n = U_H \frac{n}{z} \quad (3.4)$$

ifadesi elde edilir ki bu da lineer bir gerilim dağılımı verir. Bu (ideal olarak) uzayda asılı veya büyük bir hacim mesela büyük boyutlu bir laboratuvar içinde yan etkilerin ihmal edildiği bir duruma karşı düşer.

Bu yaklaşımla elde edilen sonuçlar şöyle sıralanabilir:

- 1-  $\beta = 0$  olması halinde (toprak ve hat kapasiteleri ihmal edildiğinde) gerilim dağılımı  $U_n = f(n)$  bir doğru verir. Zincir elemanlarına eşit gerilimler düşer.
- 2- Yalnız toprak kapasitelerinin dikkate alınması halinde  $\beta$  ne kadar büyük olursa hat tarafındaki elemana düşen gerilim o kadar büyük olur. Yalnız hat kapasitesinin dikkate alınması halinde ise bunun tersi olur.
- 3- Toprak ve hat tarafında bulunan koruma boynuz veya çemberleri ve armatürler de aynı şekilde etkiler.

Eleman gerilimlerinin dağılımı için; mesela yalnız toprak kapasitesinin gözönüne aldığı durumu ele alırsak:

$$u_n = \frac{U_H}{Sh(\beta z)} [Sh(\beta n) - Sh\beta(n-1)] = U_H \frac{2Sh(\beta/2)}{Sh(\beta z)} Cosh\beta(n-0,5) = f(n) \quad (3.5)$$

ifadesi elde edilir.

Hatta bağı en alttaki elemana ( $n = z$ ) düşen gerilim (3.5) ifadesinden

$$u_z = U_H \left[ 1 - \frac{Sh\beta(z-1)}{Sh(\beta z)} \right] = f(z) \quad (3.6)$$

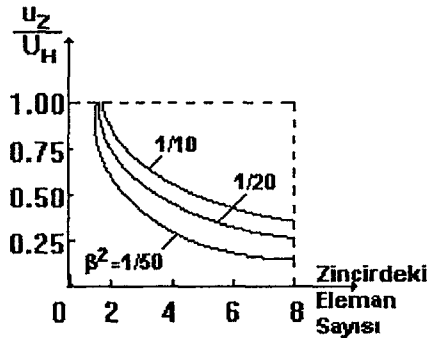
elde edilir.

Şekil 3.3 'de  $\beta^2$  'nin çeşitli değerleri için  $u_z = f(z)$  eğrileri verilmiştir. Bu eğrilerden de görüleceği üzere,  $z$  eleman sayısı arttıkça  $u_z$  küçülmekte fakat bu küçülmenin hızı  $z$  'nin belirli bir değerinden sonra, mesela  $z=5$  'den sonra, yavaşlamaktadır. Mesela,  $\beta^2$  'nin  $1/10$ ..... $1/20$  değerleri için  $u_z$  ;  $u_z = U_H (0,20$ ..... $0,25)$  arasında değişir. Zincirdeki eleman sayısının sonsuz olması halinde;

$$(u_z)_{z \rightarrow \infty} = U_H (1 - e^{-\beta}) \quad (3.7)$$

ifadesi elde edilir. Bu bağıntı bize, eleman sayısı sonsuz olan zincirde hatta bağı en alttaki elemana düşen gerilimin, zincirin  $z$  eleman sayısına değil, sadece  $\beta = \sqrt{\frac{C_t}{C_i}}$  zincirleme

faktörüne bağı olacağını gösterir.



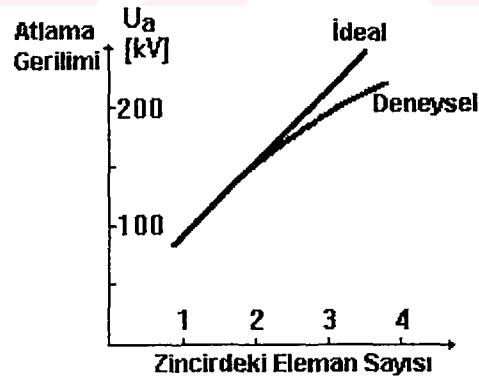
Şekil 3.3.  $\beta$  'nin çeşitli değerleri için  $u_z = f(z)$  eğrileri

Bir elemanın atlama gerilimi  $u_a$  olduğuna göre, en alttaki eleman gerilimi  $u_z \geq u_a$  olduğu zaman, bu elemanda atlama meydana gelir. En alttaki elemanda atlama olması zincirin geri kalan kısmına  $U_H$  hat geriliminin uygulanması demektir. Aynı durum tekrarlanacağından zincirleme bir atlama olayı meydana gelir ve bu olay tüm zincirin atlamasıyla sonuçlanır.

Bu da bize çok elemanlı bir zincirin atlama geriliminin ve dolayısıyla hat geriliminin, izolatör zincirine yeni izolatör elemanı eklemekle yükseltilemeyeceğini; bunun ancak, zincir elemanlarının, atlama gerilimi ( $u_a$ ) daha büyük olan tipleri ile değiştirilerek sağlanabileceğini gösterir. Bilindiği üzere bir zincirdeki elemanlar işletme, teknoloji ve rezerve bakımından aynı türden seçilir.

Diğer taraftan zincirin genel ifadesinden gidilerek yapılacak bir inceleme, zincirdeki gerilim dağılımı eğrisinin bir minimumundan geçeceğini gösterir.

Uygulamada, bir zincirdeki  $U_a$  atlama gerilimi, bir elemanın  $u_a$  atlama gerilimi ve  $z$  eleman sayısından gidilerek  $U_a = u_a \cdot z$  çarpımı ile bulunamaz. Zincirlerin atlama gerilimleri, deneysel olarak bulunur. Zincirlerin atlama gerilimleri, zincirdeki eleman sayısına göre daha az büyür. Bu durum Şekil 3.4. 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Bir zincirin atlama geriliminin eleman sayısına göre değişimi

### 3.3. Basit Hesap Yöntemiyle Gerilim Dağılımının Bulunması

a) Örnek olarak yalnız  $C_t$  toprak kapasitesinin ele alındığı özel durumu ele alalım.

Şekil 3.1 'den yararlanılarak elemanların toprağa karşı gerilimleri ve eleman gerilimleri:

$$u_1 = u_1$$

$$U_1 = u_1$$

$$u_2 = (i_1 + i_{t1}) \frac{1}{wC_i} = u_1 + \frac{U_1 w C_t}{w C_i} = u_1 + \frac{C_t}{C_i} u_1 = (1 + \frac{C_t}{C_i}) \cdot u_1 = (1 + \beta^2) u_1$$

$$U_2 = U_1 + u_2 = (2 + \frac{C_t}{C_i}) \cdot u_1 = (2 + \beta^2) u_1$$

$$u_3 = \frac{i_2 + i_{t2}}{wC_i} = u_2 + \frac{U_2 w C_t}{w C_i} = (1 + 3\beta^2 + \beta^4) u_1$$

$$U_3 = U_2 + u_3 = (3 + 4\beta^2 + \beta^4) \cdot u_1$$

$$u_4 = (1 + 6\beta^2 + 5\beta^4 + \beta^6) u_1$$

$$U_4 = U_3 + u_4 = (4 + 10\beta^2 + 6\beta^4 + \beta^6) \cdot u_1$$

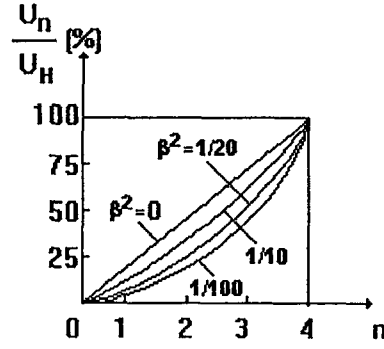
bağıntıları elde edilir.

Mesela  $n = 6$  elemanlı bir zincirde  $U_H = U_6$  hat gerilimi olduğuna göre  $\beta^2 = 0,1$  ve  $U_6 = 100 \text{ kV}$  için 3. elemanın toprağa karşı  $U_3$  gerilimi bulunmak istenirse;

$$\frac{U_3}{U_6} = \frac{3 + 4\beta^2 + \beta^4}{6 + 35\beta^2 + 56\beta^4 + 36\beta^6 + 10\beta^8 + \beta^{10}}$$

$$U_3 = 0,338 U_6 = 33,8 \text{ kV}$$

Şekil 3.5 'de 4 elemanlı bir zincirde basit hesap yöntemiyle elde edilen eğri gösterilmiştir.



Şekil 3.5. 4 elemanlı bir zincirde basit hesap yöntemi ile hesaplanan gerilim dağılımı eğrileri

b)  $n$  elemanlı bir zincir izolator için gerilim değeri;

$$U_{n-1} = U_{n-2} + \frac{C_t}{C_i} (U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + \dots + U_{n-1}) \quad (3.8)$$

şeklinde de yazabiliriz.

İletkenin bulunduğu taraftan itibaren izolator elemanlarına gelen gerilimler  $U_1 \langle U_2 \langle U_3 \langle U_4 \dots \langle U_n$  şeklindedir. Bu da izolator zincirindeki bütün elemanların eşit gerilim altında bulunmadığını gösterir. Denklemlerin çözümlenerek her bir izolator elemanına isabet eden gerilimlerin hesaplanabilmesi için;

$$U_f = \frac{U}{\sqrt{3}} = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 \quad (3.9)$$

denklemden yararlanılır. ( $U$  = fazlar arası gerilim )

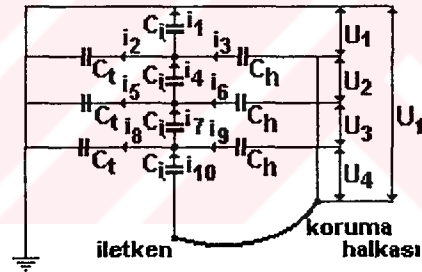
Yukarıda ki eşitsizliğin tetkikinden görüleceği üzere iletkene en yakın izolator elemanı gerilim bakımından en çok zorlanan elemandır. Hat geriliminin büyük bir kısmı bu elemana düşer. Böyle bir sistemde izolator üniteleri için bir zincir verimi yazıldığında,

verimin  $\eta = \frac{U_f}{n U_n}$  olduğu görülür. Burada,  $U_f = \frac{U}{\sqrt{3}}$  faz-nötr gerilimi,  $(n)$  zincirdeki

izolatör eleman sayısını ve  $U_n$  ise iletkene en yakın olan üniteye düşen gerilimi gösterir.

Bu hesaplamalar ancak kuru hava şartlarında geçerlidir. İzolatör yüzeyi nemlenir ya da kirlenirse kapasitif elemanlardan daha büyük yüzey boyunca kaçak akımlar meydana gelir ve gerilim dağılımı tamamen değişir. Orta derecede kirlenme genellikle izolatör üzerinde daha düzgün gerilim dağılımına sebebiyet verdiği halde aşırı derecede kirlenme kuru-band ve elektriksel deşarjlar meydana getirir.

İzolatörde zincir verimi oldukça düşüktür. Bu bakımdan iletkene yakın olan izolatör üniteleri diğer ünitelere nazaran daha büyük gerilim altında bulunarak zorlanır. Bunun önüne geçmek için zincir verimini düzeltici tedbirler alınır. Örneğin koruma halkaları kullanılarak verimin yükseltilmesi sağlanır. Koruma halkası kullanılması halinde sistem eşdeğer şeması Şekil 3.6 'daki gibi olur.



Şekil 3.6. Zincir tipi bir izolatörün koruma halkası bağlı elektriksel eşdeğeri

Her düğüm noktası için Kirchoff kanunu uygulanarak  $U_1, U_2, U_3, U_4$  gerilimleri hesaplanabilir. Bu durumda gerilimler arasındaki farkların, koruma halkası kullanılmadığı zaman ki duruma nazaran daha küçük olduğu dolayısıyla zincir veriminin düzeldiği görülür.

Bu durum, 4 üniteli zincir izolatörü kullanılan 35 kV 'luk bir taşıma hattında koruma halkasız ve koruma halkalı durumlara göre bir örnekle incelenmiştir.

Mesela 35 kV 'luk 3 fazlı bir enerji taşıma hattında iletkenlerin aşılması için 4 adet izolatör ünitesi kullanılmaktadır. Her bir ünitenin kapasitesi 40 pF ve direğe karşı

kapasitesi 4 pF olduğuna göre ayrıca sistemde bir koruma halkası bulunduğu takdirde hatta göre kapasiteleri yukarıdan itibaren sırasıyla 1, 2 ve 3 pF ise; koruma halkalı ve koruma halkasız durum için izolatörler üzerindeki gerilim dağılımını ve verimleri inceleyelim.

Gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra;

Koruma halkasız durum için;

$$U_1 = 3992,85 V$$

$$U_2 = 4392,85 V$$

$$U_3 = 5230,63 V$$

$$U_4 = 6592,19 V \text{ olarak bulunur. İzolatör zincir verimi ise;}$$

$$\eta = 0,766 \text{ olarak bulunur.}$$

Koruma halkalı durum için;

$$U_1 = 4573,02 V$$

$$U_2 = 4639,45 V$$

$$U_3 = 5010,93 V$$

$$U_4 = 5984,44 V$$

$$\eta = 0,844 \text{ olarak bulunur.}$$

Buradan görüleceği üzere böyle bir zincir izolatörde koruma halkası kullanılması durumunda zincir veriminde % 7,79 'luk bir artma olmaktadır. Ayrıca koruma halkalı durumda gerilim değerlerinde;

1. izolatör için; % 14,53 artma
2. izolatör için; % 5,63 artma
3. izolatör için; % 4,38 azalma
4. izolatör için; % 10,15 azalma

olduğu görülmektedir.

### 3.4. Rezonans Frekansı

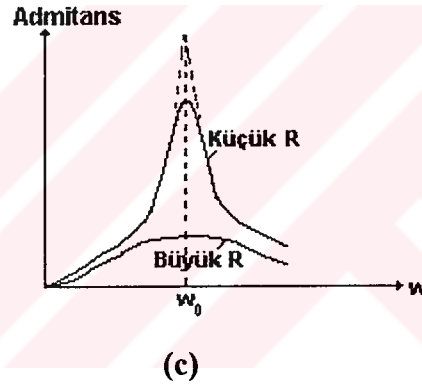
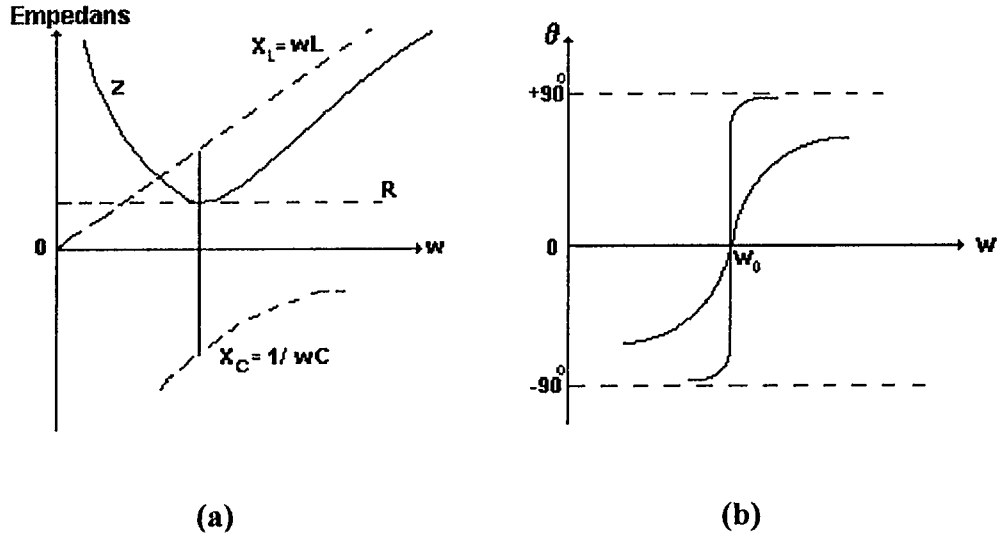
Sürekli halde RLC elemanlarından oluşan bir pasif devrede uygulanan gerilim  $V$  ile ortaya çıkan akım  $I$  aynı fazda ise devre rezonanstadır denir. Böylece rezonanstada devrenin kompleks empedansı yalnız bir  $R$  direncini içerir.  $V$  ile  $I$  aynı fazda olduklarından, rezonans devresinin güç katsayısı 1 'dir.

#### 3.4.1. Seri Rezonans

Seri RLC devresinin karmaşık empedansı  $Z = R + j(\omega L - 1/\omega C) = R + jX$  tir. Devre  $X = 0$  da, yani  $\omega L = 1/\omega C$  ya da  $\omega = 1/\sqrt{LC} = \omega_0$  iken rezonanstadır. O halde,  $\omega = 2\pi f$  olduğundan, rezonans frekansı;

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ Hz.} \quad (3.10)$$

olur.



Şekil 3.7.  $\omega$  'nin empedans, admitans ve  $\theta$  açısına bağlı değişimleri

Şekil 3.7-a 'da  $Z$  'nin mutlak değeri ve bunun üç bileşeni  $R$ ,  $X_C$ ,  $X_L$ ,  $\omega$  'nin fonksiyonu olarak çizilmiştir.  $\omega = \omega_0$  iken endüktif ve kapasitif reaktanslar eşit ve  $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$  olduğundan  $Z = R$  'dir. Böylece  $Z$  empedansı rezonansa minimum olur.  $I = \frac{V}{Z}$  olduğundan akım maksimumdur.  $\omega_0$  'in altındaki frekanslarda, kapasitif reaktans, endüktif reaktanstan büyüktür ve empedansın açısı negatiftir. Direnç

küçükken açı frekansa bağlı olarak çok hızlı değişir. Şekil 3.7-b 'de bu gösterilmiştir.  $\omega$  sıfıra giderken  $Z$  'nin açısı  $-90$  dereceye yaklaşır.  $\omega_0$  'ın üstündeki frekanslarda, endüktif reaktans kapasitif reaktansı geçer.  $Z$  'nin açısı pozitif olur ve  $\omega \gg \omega_0$   $+90$  dereceye yaklaşır. Şekil 3.7-c 'de seri devre admitansı  $Y = 1/Z$   $\omega$  'nin fonksiyonu olarak çizilmiştir.  $I = VY$  olduğundan bu şekil aynı zamanda  $\omega$  'ya karşı akımın bir gösterimidir. Böylece Şekil 3.7-c maksimum akımın  $\omega_0$  'da olduğu ve direnç düşerken akımın arttığını gösterir. Çizgili eğri  $R = 0$  'da limit durumu göstermektedir. Admitansın açısı Şekil 3.7-b 'deki empedansın açısının negatiftir ve çizilmesine gerek görülmemiştir.

### 3.5. Kirliliğin Gerilim Dağılımına ve Kaçak Akıma Etkisi

#### 3.5.1. Giriş

Kirlilik ve nemin bileşik hareketinin sebep olduğu yüksek gerilim izolatorlerindeki atlama, açık hava nakil sistemlerinin yapılması kadar eski zamanlardan bilinmektedir. Kuru havada kirliticiler, izolator yüzeyinde birikmektedirler. Yüzeyler nemlenince, bazı kirliticiler çözülmekte (erimekte) ve yüzeyler elektrik iletmeye başlamaktadır. Kurak yerlerdeki kirlilik durumları ciddidir ve endüstriyel kirlilikten ve de deniz kirliliğinden farklıdır. Elektrik tesisinin performansı, esas itibarıyla kirlilik tabakasının yüzey tabakasının geçirgenliğine bağlıdır. Elektrik tesislerini işletme tecrübeleri izolatorlerin yüksek gerilime dayanma yeteneğinin, yapıldıkları yerlere göre birinden diğerine değiştiğini göstermiştir. Ağır kirlilik yoğunluğu ve yüksek rutubet, kirlenmiş izolatorlerin atlaması için en etkili şarttır.

İzolatorler, değişik doğal kirlilik çeşitlerine maruz kalmaktadır. Bunlardan bazıları;

#### a) Çöl Kirliliği:

Çöl kirliliğinin kimyasal analizi, çözülebilir tuzun ağırlıklı olarak %18 oranında sülfat ve kloritlerden, %10  $\text{CaSO}_4$ , %3  $\text{NaCl}$  ve %0.5  $\text{KCl}$  'den oluştuğunu göstermiştir.

### **b) Endüstriyel Kirlilik:**

Endüstri bölgelerindeki izolatörlerde oluşan kirlilik tabakasının, dumanın kimyasal bileşiklerini, fabrikaların dumanlarını ve çimento tozunu içerdiği tespit edilmiştir.

### **c) Deniz Kirliliği:**

Denizden gelen rüzgar, izolatör yüzeylerinde tortulaşan tuz partikülleri taşımaktadır. Bu kirlilik yoluyla tabaka oluşması deniz kıyısı ile izolatörlerin yeri arasındaki mesafe ile rüzgarın hızına bağlıdır. İletim hatları izolatörlerinin kirlenmiş yüzeylerinin ıslanma sürecinin, iletim hattı izolatörlerinin atlama gerilimleri ve geçirgenlikleri üzerinde büyük bir etkisi vardır. Geceleri ani sıcaklık düşüşüyle ve nem oranının %100 'e yaklaştığı zamanda da çığ oluşabilir.

### **3.5.2. Deneysel Çalışmalar**

KHALIFA, M., EL-MORSHEDY, A., GOUDA, O.E., HABIB, S.E.D., (1988), kaçak akımlarla ilgili olarak, Mısır 'daki kirlilik şartlarını laboratuvarında simule ederek birçok testler yapmışlardır.

Testler, iki test transformatörü kullanılarak uygulanmıştır ve aynı kontrol devresinden beslenmektedirler. Transformatörlerden birisi 40 kV,  $R/X = 0.15$  eşdeğerinde ve IEC 'ye tam uyumludur. Diğer transformatör, 250 kV,  $R/X = 0.2$  ve kısa devre akımı 1.5 amperdir.

Yüksek gerilim bölgesindeki devre kısımlarını birleştirmede korona etkilerinin azaltılması için 1.5 cm 'lik alüminyum boru iletkenler, kullanılmıştır. Verilen gerilim, çıkış gerilimi 0 'dan 400 V 'a değişebilen bir 28 kVA indüksiyon gerilim regülatörüyle kontrol edilmiştir.

IEC şartına göre kirletici karışım ترکیbi 1000 gr. Kieselguhr, her 1000 ml. su için 10 gr. yüksek derecede dağıtılmış silikon dioksittir. Kieselguhr ithalatına alternatifler olarak çimento, alçı taşı ve kireç kirlilik tabakasındaki rutubeti muhafaza etmek için yerel malzemeler olarak denenmiştir. Kireç tozu, Mısırdaki 'ki kirliliği simule edecek en uygun maddedir. Mahalli izolatörlerdeki doğal kirleticilerin örneklerinin kimyasal analizleri, 40° ye kadar Kalsiyum Oksit içerdiğini göstermiştir.

Kirlilik tabakasının oluşturulmasında IEC 'nin önerdiği metod kullanılmıştır, yani <Katı Tabaka Metodu >. Kirlilik tabakasının geçirgenliğini ölçmek için 1 kV, A.C., 50 Hz. test altında izolatöre uygulanmıştır. Kirlilik tabakası, izolatörü karışıma batırarak izolatöre tatbik edilmiştir. İzolatörler, uygun şekilde temizlenmiş ve daha sonra en az 24 saatte birkaç defa ayrılan karışıma batırılmıştır. Oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Her testteki tabaka iletkenliği nisbete göre hesaplanmıştır.

$$K=I_m*FF/V$$

K 'nın yüzey tabaka iletkenliği olduğu yerde,

$I_m$ ; Maksimum kaçak akımı,

V; Uygulanan gerilim,

FF; Oluşturucu faktördür.

### 3.5.3. Kirlilik Tabakasının İletkenliğini Etkileyen Faktörler

#### 3.5.3.1. Kirlilik Tabakası İletkenliğinde Kirlilik Maddesinin Etkisi

Kirlilik tabakasının iletkenliği ve atlama geriliminin dönüşü, kirlilik tabakasının tipine bağlıdır. Bu kısımda, çimento fabrikaları yakınındaki endüstriyel kirliliği ve çöl kirliliği simule edilmektedir. Her tabakanın kirlilik tabakası iletkenliği ölçülmektedir.

### a) Endüstriyel Kirliliğin Simülasyonu

Çimento tozundan farklı olan ve fabrikaların ürettiği Portland çimentosu, ana bacadan kaçabilir. Bu sebepten kirlilik tabakası oluşturmada portland çimentosu kullanan önceki araştırmacıların testleri, çimento fabrikaları yakınındaki yüksek gerilimli enerji iletim hatlarının kirli izolatörlerini simule etmeye yeterli değildirler. Kahire 'nin güneyindeki endüstri bölgesinden toplanan, çimento tozunun kimyasal analizi Tablo 3.1. 'de verilmiştir. Bu çimento tozu, testler altında izolatörlerin kirletilmesinde kullanılan bir solüsyonu hazırlamak için kullanılmıştır. Kirlilik tabakası, izolatörü karışıma batırarak izolatöre tatbik edilmiştir. Yüzey tabaka iletkenliği, IEC metodu kullanılarak ölçülmüştür. Test edilen izolatörlerin kirlilik yüzey yoğunluğu,  $0.0625 \text{ gm/cm}^2$  'den  $0.31 \text{ gm/cm}^2$  'ye kadar değişmiştir. Şekil 3.8, kirlilik tabakası yüzey yoğunluğu ile yüzey tabaka iletkenliği arasındaki ilişkiyi vermektedir.

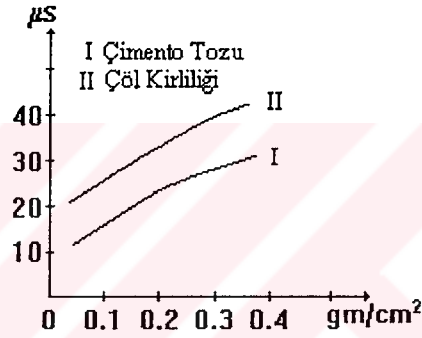
Beklenildiği gibi kirlilik tabakası yoğunluğunun artması, yüzey tabaka iletkenliğini arttırmaktadır. Sebep şudur; çimento tozu yoğunluğunun artması, Tablo 3.1. 'de verilen belli başlı tuz taşıyıcıların artması demektir. İyonik oynaklık (mobilité) ve ayrılma derecesi, test altındaki izolatör yüzeyinde oluşan kirlilik tabakasının emebildiği su miktarının artmasıyla artmaktadır.

### b) Çöl Kirliliğinin Simülasyonu

66 mm 'den daha az ağır olan doğal kum, sülfat ve kloritleri içermektedir. %10  $\text{CaSO}_4$ , %3 NaCl ve %0.5 KCl çöldeki izolatör yüzeylerinden toplanmaktadır. Kum mekanik yöntemlerle test altında üniteye dağıtılmıştır. Kum yoğunluğu  $0.3 \text{ gm/cm}^2$  'den  $0.31 \text{ gm/cm}^2$  'ye kadar değişmiştir. İletkenlik, IEC metodu kullanılarak ölçülmüştür. Yüzey tabaka iletkenliği ile kirlilik tabakası yoğunluğu arasındaki ilişki Şekil-3.8. 'de verilmiştir. Bu şekilde çöl kirliliği simülasyonu durumundaki iletkenliğin çimento tozuyla kirletilen izolatörlerin iletkenliğinden daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Sebep, belkide çöl kirliliğinde NaCl 'nin bulunmasından ve su buharını emme yeteneğindedir.

Tablo 3.1. Çimento Tozunun Kimyasal Analizi

Kimyasal Element	Yüzde %
SiO <sub>2</sub>	9.29 - 10.25
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.66 - 2.79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.62 - 1.44
CaO	18.80 - 30.38
MgO	1.49 - 2.17
SO <sub>3</sub>	12.96 - 7.24
Ma <sub>2</sub> O	6.12 - 4.68
K <sub>2</sub> O	2.13 - 1.87
CL <sup>-</sup>	5.31 - 6.58



Şekil 3.8. Yüzey tabaka yoğunluğu ve yüzey tabaka iletkenliği

### 3.5.3.2. Kirlenmiş Tabaka İletkenliğinde Kirli İzolatörü İslatma Metodunun Etkisi

Değişik hava hareketlerini simule edecek izolatörleri ıslatmak için burada üç farklı metod kullanılmıştır.

Metod A 'da, IEC 'ye göre izolatörler sadece sisle ıslatılmıştır. Metod B 'de, izolatörler çığla ıslatılmıştır. Laboratuvar da çığ oluşturmak için izolatörler 24 saat yaklaşık 4 °C 'de bir soğutucuya konularak 25 °C sıcaklıktaki sis odasının içine asılmıştır. İletkenlik ölçümlerinde sis odası içindeki nisbi rutubet %60-80 olacak şekilde kontrol edilmiştir. Nihai olarak son metod metod C 'de izolatörler simultane sis ve çığla ıslatılmıştır. Bu metod da, izolatörler 24 saat yaklaşık 4 °C 'de soğutucuya bırakılmış ve

sonra izolatörler sis odasında her iki noktadaki doymuş yoğunluktaki buharla sis odasının içine asılmıştır. Son metod da test edilen kirli izolatör tabakasının emdiği su miktarı hem A hem de B metodundakinden daha fazladır ve bu nedenle kirli tabakanın iletkenliği Şekil-3.9. 'daki gibi C durumunda daha yüksektir. Bu emilen su artışının çözülebilirliği ve iyonlaşma yeteneğini birkaç kat arttırmasındandır. Aynı sebepten metod B ile ıslatılan kirli tabakanın iletkenliği A metoduyla ıslatılardan daha yüksektir. Şekil-3.9. 'dan test edilen oranda (0-100 gm/lt) kirli solüsyondaki tuz konsantresi ile yüzey tabaka iletkenliği arasındaki ilişki yaklaşık olarak lineerdir.

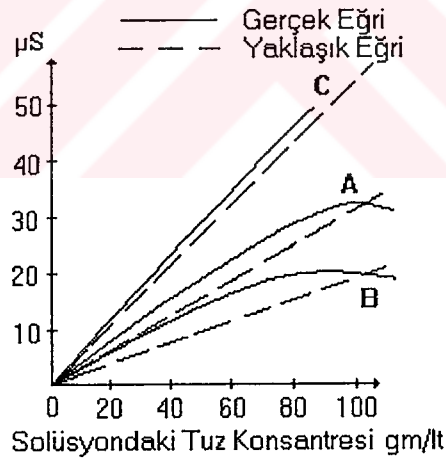
Bu ilişki, test edilen izolatörler A, B, ve C metodlarıyla ıslatılırken aşağıdaki gibi açıklanabilir:

A metoduyla ıslatma durumunda  $K=0.3 S$

B metoduyla ıslatma durumunda  $K=0.2 S$

C metoduyla ıslatma durumunda  $K=0.45 S$

K 'nın kirli tabaka iletkenliği olduğu yerde, S tuz konsantresidir.



A-IEC sis testi

B-Sadece çığ simülasyonu

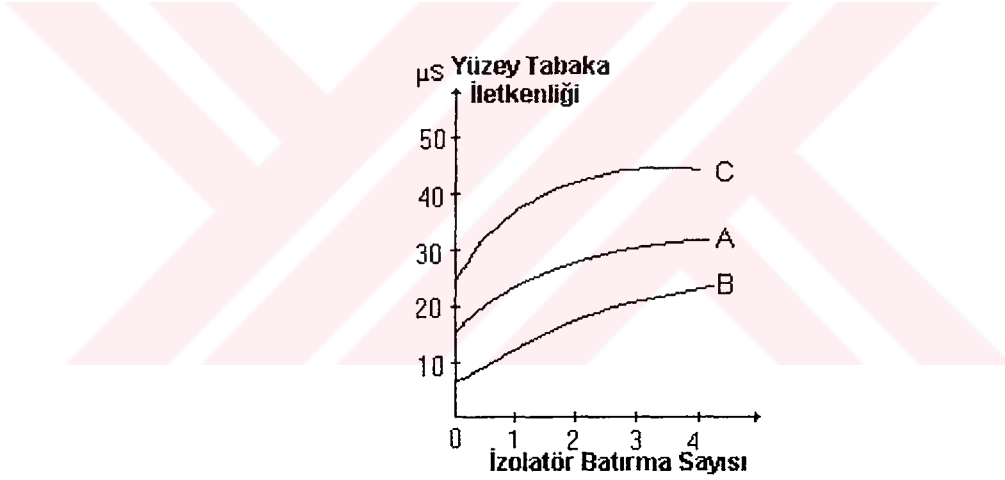
C-Çığ+sis simülasyonu

Şekil 3.9. Tuz konsantresi ile yüzey tabaka iletkenliği arasındaki ilişki

### 3.5.3.3. Yüzey Tabaka İletkenliğinde Kirlilik Tabakası Yoğunluğunun Etkisi

İzolator batırma sayısının artırılması, aynı NaCl konsantresi için yüzey tabaka iletkenliğini arttırmaktadır (Şekil 3.10). Daldırma sayısı arttıkça iletkenliğin artma oranının azaldığı da açıktır. Bu, izolatorü üç defa batırdıktan sonra kirli tabakanın doymuş olmasından olabilir.

Bu durum, test edilen izolatorün kirli tabakasının emdiği su miktarındaki değişmeden dolayı B ıslatma metodunda diğer metodlardakinden (A ve C) daha fazladır. Şekil-3.11. 'den  $\mu\text{S}$  'deki ilgili tabaka iletkenliği ile ms/cm olan solüsyon iletkenliği arasındaki ilişkinin lineer olduğu açıktır ve bu, IEC 'ye uymaktadır. Aynı zamanda, izolator tabakasının doyuma ulaştığı dalış sayısı artarken artışın daha az olduğu gözlenmiştir.



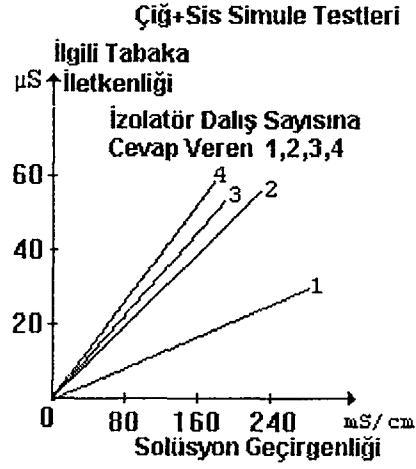
A- IEC testi

B- Sadece çiğ simule edecek testler

C- Çiğ+ sis simule edecek testler

Tuz konsantresi 100 gm/litre

**Şekil 3.10.** İzolator dalışları ( kirlilik tabakası yoğunluğunun artması ) ile yüzey tabaka iletkenliği arasındaki ilişki



Şekil 3.11. İlgili tabaka iletkenliği ve solüsyon iletkenliği .

#### 3.5.4. Test Süreci

Araştırılan izolatörler, homojen bir tabakayla kaplanmıştır. Kirlilik derecesi, izolatör yüzeyinin ünitesi başına çimento tozunun ağırlığıyla hesaplanmıştır.

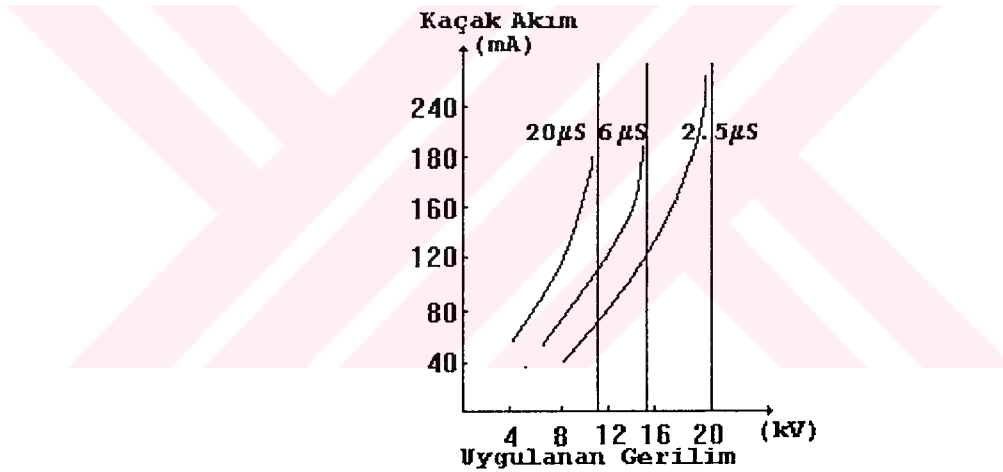
Test edilen kirli izolatörlerin kirlilik yüzeyi yoğunluğu,  $0.062 \text{ gm/cm}^2$  'den  $0.31 \text{ gm/cm}^2$  'ye kadar değişkendir. IEC sis testini, çığ oluşumunu ve çığ+sis oluşumunu simule etmek için daha önce bahsedilen üç farklı methodla izolatörler ıslatılmıştır. Tatbik edilen gerilim, beklenen değer %50 'si idi. Sonra atlama meydana gelinceye kadar artırılmıştır. Tablo 3.2, üç farklı test süreçleri durumunda 10 'dan fazla testin atlama geriliminin ortalama değerini vermektedir.

Tablo 3.2. Atlama geriliminin ortalama değeri

	Yüzey Tabaka Yoğunluğu Test Çeşidi $\text{gm/cm}^2$		
	0.0625	0.18	0.31
	Atlama Gerilimi kV		
IEC Testi	16	7.5	6
Çiğ Simulasyonu	22	17	8
Çiğ+Sis	14	7	5

### 3.5.5. Yüzey Kaçak Akımı ve Özellikleri

Kirli izolatörlerin yüzeyi oda içindeki nemli havadan nemi emdiği zaman kir tabakası iletken olur. Her izolatöre bir Y.G. uygulanması ile, bu kaçak akımların yüzeyi yüzlerce miliampere kadar dayanır ve birkaç kalite için devam eder. Bu kaçak akımlarının joule sıcaklığıyla yüzey etrafında şekillenen bazı nem ve ince (kuru) bantlar buharlaşır. Bilindiği gibi deşarjlar kaçak akımının yerini tutan patlamalar ile kısmi arkların yükselmesine sebep olan ince (kuru) bantların içinde meydana gelir. Bir örnekteki gibi 13.5 'lik bir gerilim (yüzeysel atlama geriliminin % 90 'ını) 6  $\mu$ S bir yüzeye tabaka iletkenliği ile bir izolatöre uygulandığında, kaçak akımı 150 mA 'e yükselir. Benzer sonuçlar 20 ve 2.5  $\mu$ S tabaka iletkenliğine sahip izolatörler için Şekil 3.12 'de verilmiştir.



**Şekil 3.12.** Yüzey tabaka iletkenlikleri 2.5, 6 ve 20  $\mu$ S olan kirli izolatörlere uygulanan gerilim değerlerine göre kaçak akımında ki değişim

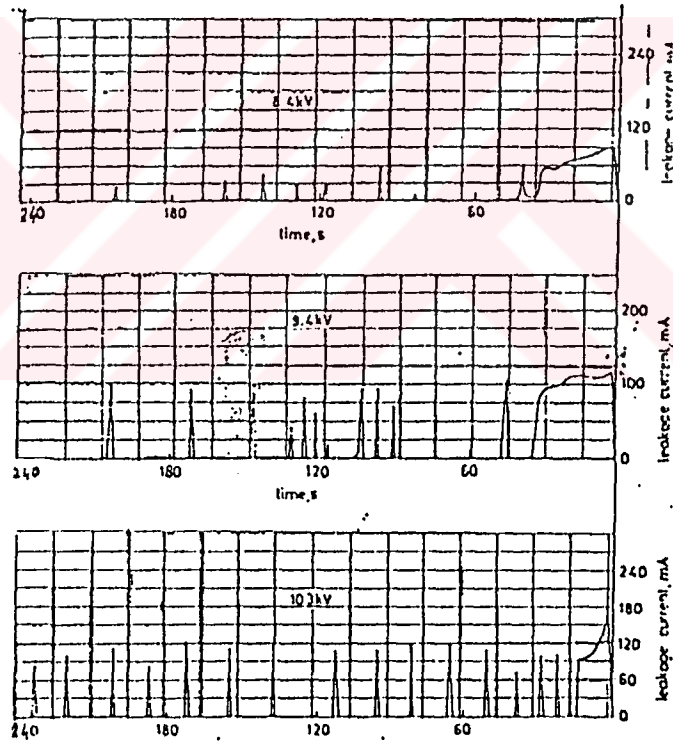
Bu şekilde verilen farklı yüzey tabaka iletkenliği ile kirlenen izolatörler için uygulanan gerilimler ve ilk kaçak akımlarının büyüklükleri arasındaki ilişki gösterilir.

Kaçak akımları izolatörlerin yüzeysel atlama geriliminin % 90 'da ve uygulanan gerilim 70, 80 'de tutulurken grafik kaydedici tarafından kaydedilmiştir. Şekil 3.13 'de 8.4, 9.4 ve 10.3 kV ' un altında uygulanan gerilimler kirlenilen izolatörlerde kaçak akımında meydana gelen patlamaların pekçok zaman kayıtlarının bir numunesi

verilmiştir. Yüzey tabaka iletkenliği  $20 \mu\text{S}$  ve her bir testin zaman süresi 5 dakikadır. Şekil 3.13 'de bu izolator yüzeyinde kuru bandın şekillendiği sürece, birkaç ikinci kalite için süren kaçak akımının ilk patlamasına dikkat edilmelidir. Sonradan kaçak akımı 1 mA. kademesinin çok küçük bir değerine düşer. Şekil 3.13 'de gösterildiği gibi uygulanan gerilimlerin yükseltilmesi için bu gibi ilk patlamaların zaman süresi düşürülmüştür.

Kuru bandın oluşmasından sonra ve süresince sağlam izolator yüzeyindeki kirli tabakada sis odası içindeki nemli havadan bir miktar rutubet şüphesiz absorbe edilmiştir.

Yine uygulanan yüksek gerilim ile aralıklı kısmi arklar izolator içinde meydana gelmiştir, şiddetlice yüksek genlik herbiri yalnız birkaç devir için süren ve kısa süreli kaçak akımı tarafından aynı anda vuku bulmuştur. Bu gibi kısa süreli patlamaların zaman boyunca kuru bantların oluşmasına benzediği ilk patlamadakinden çok daha kısa kısmi arklar tarafından meydana getirilmiştir.



Şekil 3.13. Farklı gerilim seviyeleri altında  $20\mu\text{S}$  yüzey tabaka iletkenliğinde test izolatorleri için kaçak akım kayıtları

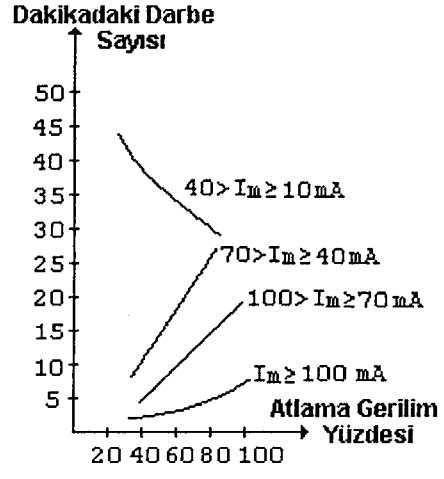
Çimento fabrikaları yakınındaki kirli izolatörlerin performansı ile ilgili yeterli veriyi elde etmek için kaçak akımı, izolatörleri ıslatmak için kullanılan değişik test prosedürleri altında dijital bir aletle gözlenmiştir. Test prosedürleri, sadece test simule etmek, IEC sis testini simule etmek ve çığ+sis simulesi idi. Uygulanan gerilim, atlama geriliminin yüzdesiydi. Şekil 3.14, verilen gerilimin herbirinde 100, 70, 40 ve 10 mA 'yı aşan bollukla birlikte dakikadaki kaçak akım darbesinin (pulse) sayısını vermektedir. Çimento tozu yoğunluğu  $0.31 \text{ gm/cm}^2$  'idi. Bu şekilde verilen sonuçlar, sis+çığ durumunu simule etmektedir.

Bu sonuçlardan, kaçak akımı  $\geq 100 \text{ mA}$ ,  $\geq 70 \text{ mA}$ ,  $\geq 40 \text{ mA}$  darbe sayısının, akım gerilim yüzdesinin artmasıyla birlikte arttığı aşıkardır. Fakat kaçak akım darbesinin  $\geq 100 \text{ mA}$  olduğu durumda böyle değildir. Bu yüksek gerilim durumunda 40 mA 'yı aşan bollukla kaçak akım darbesinden verilen joule ısının izolatörlerin yüzeyini kurutmasından dolayıdır. Bunu, daha az genişlikte daha az sayıda darbe izlemektedir. Uygulanan gerilim düşük olduğunda, 40 mA 'yı aşan genişlikteki kaçak akım darbesi sayısı küçüktür ve kirli izolatörlerin yüzeyi hala ıslak olduğundan kurutulması için daha fazla joule ısı gereklidir ve düşük genişlikte daha çok sayıda darbe üretilmelidir.

### 3.5.6. Sonuçlar

Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar şöyle açıklanabilir:

- 1- Kirli tabaka iletkenliği kirletici maddeye, ıslatma metoduna ve kirlilik tabakası yoğunluğuna bağlıdır.
- 2- Çimento fabrikaları yakınındaki kirlenmiş yüksek gerilim izolatörlerinin durumlarını simule edecek bir metod önerilmektedir.



Şekil 3.14. Kaçak akım darbe sayısı ve atlama geriliminin yüzdesi (5 kV)

## 4. UYGULAMA

### 4.1. Genel Bilgi

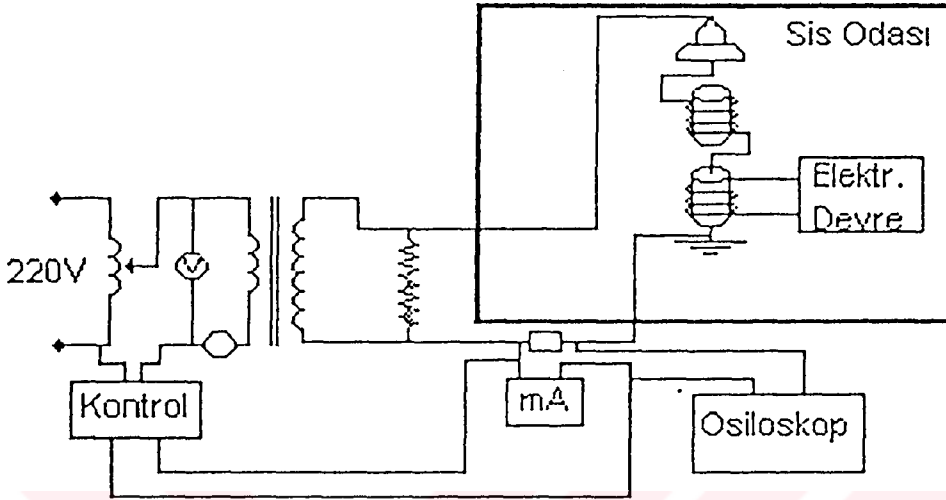
Bütün açık hava izolatörleri güç sistem teçhizatında doğal kirlenmeye maruzdur. İşletme gerilimi altında çalışırken ortam şartlarından etkilenirler. Yüksek gerilim izolatörlerinde rutubet ve atmosferik kirlenmenin birleştirici etkisine sebep olan yüzeysel atlama endüstriyel bölgelerde, sahil bölgelerinde ve çöl bölgelerinde büyük bir taşıma problemine sebep olur. Kirlenme sonucunda izolatör yüzeyinde oluşan kir tabakası, belli bir iletkenliğe sahip olur. Bu kir tabakasının iletkenliği, çevre şartlarına bağlı olarak, çiseleme, nem gibi durumların artması halinde artar. Dolayısıyla direnci de düşer. Bunun sonucunda izolatör üzerinden geçen rezistif kaçak akımlarının değeri de artar. Bu akım değerinin fazla olması izolatör yüzeyi üzerinde kısmi arkları meydana getirir. Arkların sonucunda kuru bantlar oluşur. Zamanla bu kuru bantlar üzerinde ön deşarjlar ve sürekliliği halinde yüzeysel atlamaya sebep olan kısmi deşarjlar meydana gelir. Bu da izolatörlerin tahrip olmasına, enerjinin kesilmesine, kısaca güç sisteminin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olur.

### 4.2. Test Odası ve Ekipmanı

Deneyle için bir test odası oluşturuldu. Burada;

- 1- 80 kV a.a. ve 120 kV d.a. gerilim üretebilen BAUR marka Biddle cihazı,
- 2- Türkiye Elektrik Sisteminde kullanılan cam izolatörler,
- 3- Kirlenmeyi sağlayacak olan çeşitli kir numuneleri,
- 4- Farklı sarımlara sahip olan bobinler,
- 5- Deşarj değerini sayan elektronik sayıcı,
- 6- Kaçak akım değerlerini görüntüleyebilen hafızalı osiloskop kullanıldı.

Test odasının yapısı Şekil 4.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Test odası

### 4.3. Uygulanan Testler

Test odasında, deney için seçtiğimiz izolatöre seri bir 1700 sarım ve 0.25 mm kesite sahip bir gerilim bobini bağlandı. Bu bobin yüzeyden geçen kaçak akımları gerilim bilgisine dönüştürerek elektronik devreye gönderir. Elektronik devreye gelen bu gerilim bilgisi, önceden ayarlanmış referans değeri aşan kare dalgaları sayar. Sayılmak istenen belli seviyedeki kare dalga sayısı, devreye farklı değerlerde zener diyot bağlayarak gerçekleştirilebilir. Farklı sarım sayılarına (1000, 2000, 4000, 6000 ) ve 0.75 mm kesite sahip bobinler izolatöre seri bağlandı. İzolatörün iletken bağlanan kısmına, 5 kV 'tan başlayan ve 5 kV aralıklarla gerilimler uygulandı. Gerekli bağlantılar yapılarak hafızalı osiloskopta izolatör yüzeyi üzerinden geçen kaçak akımın oluşturduğu dalga şekli ve

değeri elde edildi.. Elektronik sayıcı yardımı ile bu kare dalgaların sayısı ve ortalamaları alınarak ölçümler yapıldı. Yapılan bu testler, temiz ve kirli izolatlörlere ayrı ayrı uygulanarak sonuçlar elde edildi.

#### 4.3.1. Temiz İzolatör Testleri

Askıya asılan temiz izolatlöre, 1700 sarımlık gerilim bobini ve farklı sarım sayılarına sahip kaçak akımını sınırlamaya çalışan bobinler bağı durum için, uygulanan farklı gerilim değerlerinde elde edilen, yüzey kaçak akım dalgasının görüntüsü şekiller halinde, kaçak akım değerleri, elektronik devreden sayılan darbe sayıları ve ortalamaları tablolar halinde aşağıda verilmiştir.

a) Askıya asılan temiz izolatlörden geçen kaçak akım bilgisinin elde edilmesi için gerekli olan 1700 sarıma sahip gerilim bobini devrede iken farklı zener gerilim değerleri için elde edilen sonuçlar Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 'de verilmiştir.

**Tablo 4.1. Temiz izolatlöre ait sonuçlar  
(5,7 V 'luk zener için)**

Uygulanan Gerilim (kV)	Yüzey Kaçak Akımı (mA)	Sınır Değeri Aşan Darbe Sayılarının Ortalaması
5	0.118	211.8
10	0.180	401.8
15	0.380	544.7
20	0.540	636.6
25	0.72	780.2
30	0.910	1400



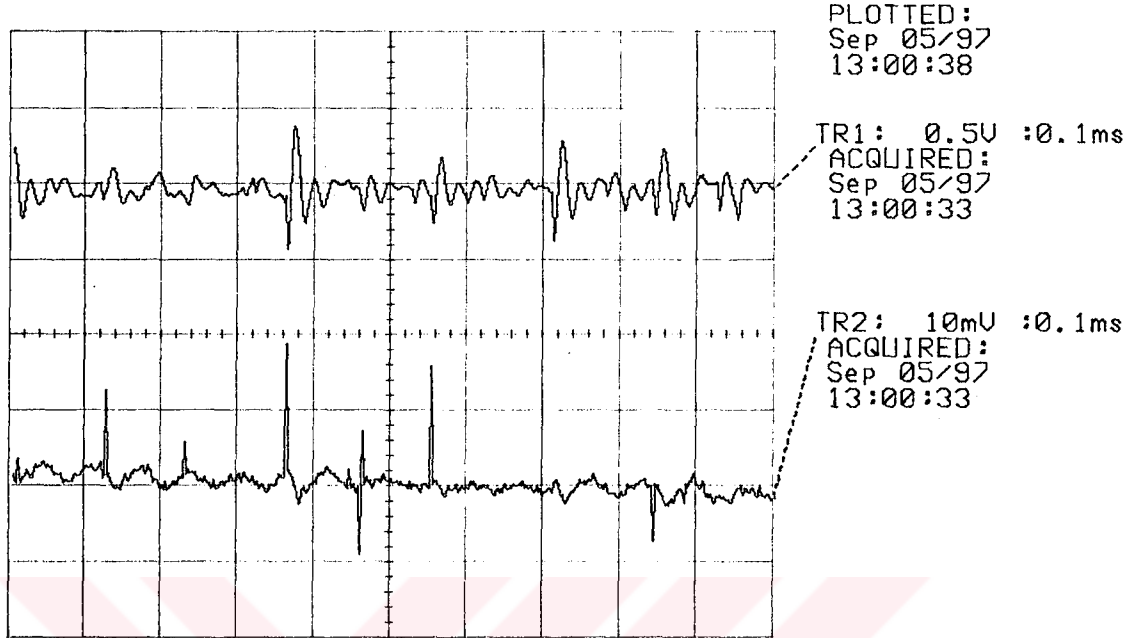
**Tablo 4.2.** Temiz izolatöre ait sonuçlar  
(8,4 V 'luk zener için)

Uygulanan Gerilim (kV)	Yüzey Kaçak Akımı (mA)	Sınır Değeri Aşan Darbe Sayılarının Ortalaması
5	0.110	86.8
10	0.290	110.6
15	0.478	218.1
20	0.658	273
25	0.71	346.7
30	0.900	527.8

b) İzolatöre 1000 sarıma sahip bobin bağlı durum için elde edilen değerler, 5,7 V zener için Tablo 4.3 'te ve kaçak akım dalga şekli, Şekil 4.2 'de verilmiştir.

**Tablo 4.3.** Temiz izolatöre ait sonuçlar  
(1000 sarımlı bobin, 5,7 V 'luk zener)

Uygulanan Gerilim (kV)	Yüzey Kaçak Akımı (mA)	1 sn. de Sayılan Sınır değeri Aşan Darbe Sayıları ve Ortalamaları
5	0.122	(15,14,12,12,14,17,15,11,10,11)=13.10
10	0.178	(10,10,24,18,13,24,12,14,12,11)=14.80
15	0.376	(17,15,35,14,32,22,12,21,16,13)=19.70
20	0.562	(45,30,23,23,13,22,17,13,18,32)=23.60
25	0.730	(43,35,30,27,23,47,42,27,26,30)=33.00
30	0.910	(38,40,36,33,71,36,34,46,36,43)=41.30

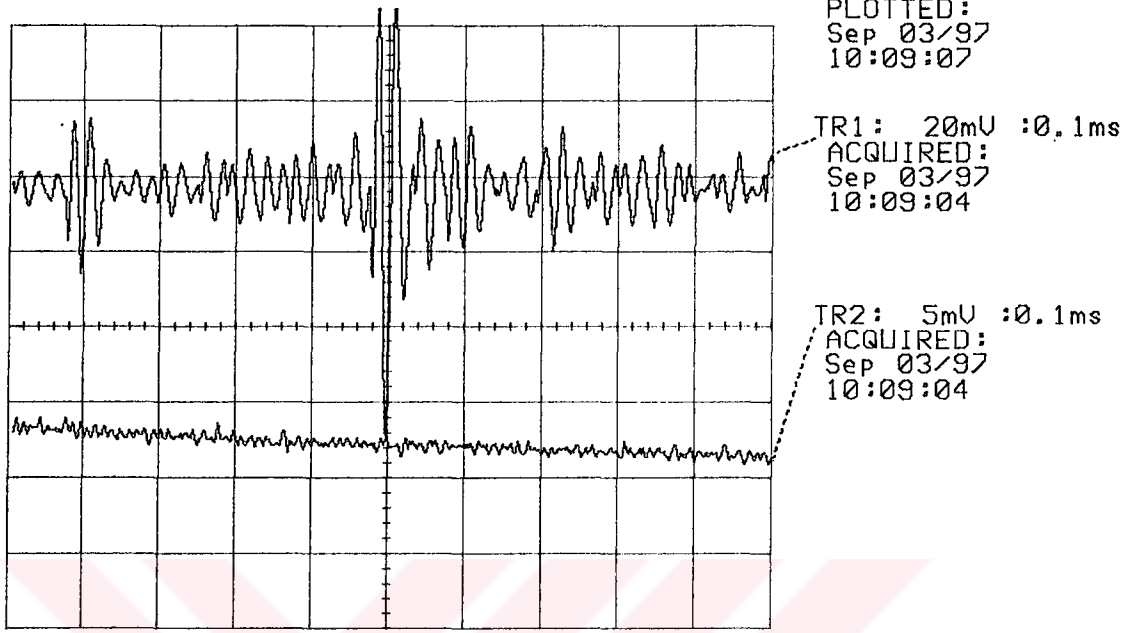


**Şekil 4.2.** 1000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli  
( 5,7 V 'luk zener için, 25 kV )

c) İzolatöre 2000 sarıma sahip bobin bağlı durum için elde edilen değerler, 5,7 V zener için Tablo 4.4 'te, kaçak akım dalga şekli, Şekil 4.3 'de, 8,7 V zener için Tablo 4.5 'de ve kaçak akım dalga şekli, Şekil 4.4 'de verilmiştir.

**Tablo 4.4.** Temiz izolatöre ait sonuçlar  
(2000 sarımlı bobin, 5,7 V 'luk zener)

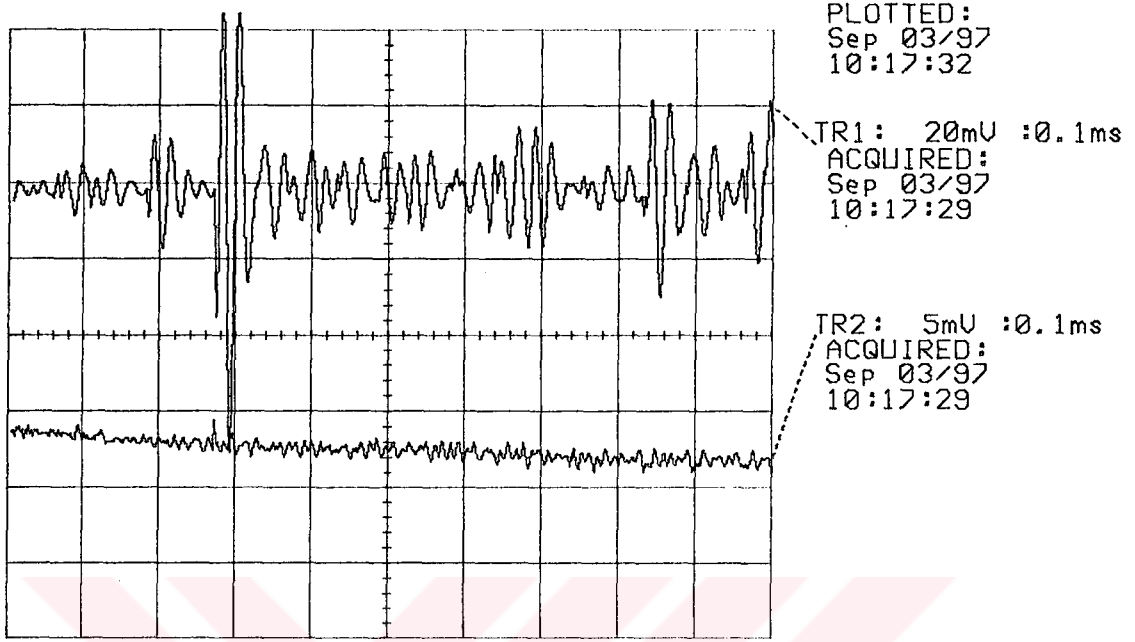
Uygulanan Gerilim (kV)	Yüzey Kaçak Akımı (mA)	1 sn. de Sayılan Sınır değeri Aşan Darbe Sayıları ve Ortalamaları
5	0.122	(8,4,4,7,4,4,3,3,4,3,5) 4.45
10	0.178	(4.3.5.6.4.10.8.7.5.6.4) 5.63
15	0.358	(7,16,9,3,7,3,9,5,4,8,8) 7.18
20	0.544	(6,7,7,11,8,8,7,10,14,15,19) 10.18
25	0.718	(6,17,20,16,15,17,17,7,18,14,8) 14.09
30	0.900	(17,28,10,11,50,16,12,15,5,17,18) 18.0



Şekil 4.3. 2000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli  
( 5,7 V 'luk zener için, 25 kV )

Tablo 4.5. Temiz izolatöre ait sonuçlar  
(2000 sarımlı bobin, 8,4 V 'luk zener)

Uygulanan Gerilim (kV)	Yüzey Kaçak Akımı (mA)	1 sn. de Sayılan Sınır değeri Aşan Darbe Sayıları ve Ortalamaları
5	0.121	(7,4,7,7,5,7,7,8,7,6,4) 6.27
10	0.190	(5,8,4,7,4,4,5,7,7,16,17) 7.63
15	0.358	(6,4,5,7,10,8,7,18,5,7,18) 8.63
20	0.538	(7,4,7,7,5,8,22,7,11,22,29) 11.72
25	0.718	(7,17,8,27,10,19,14,10,10,16,17) 14.09
30	0.918	(10,9,17,8,7,15,41,9,18,26,10) 15.45

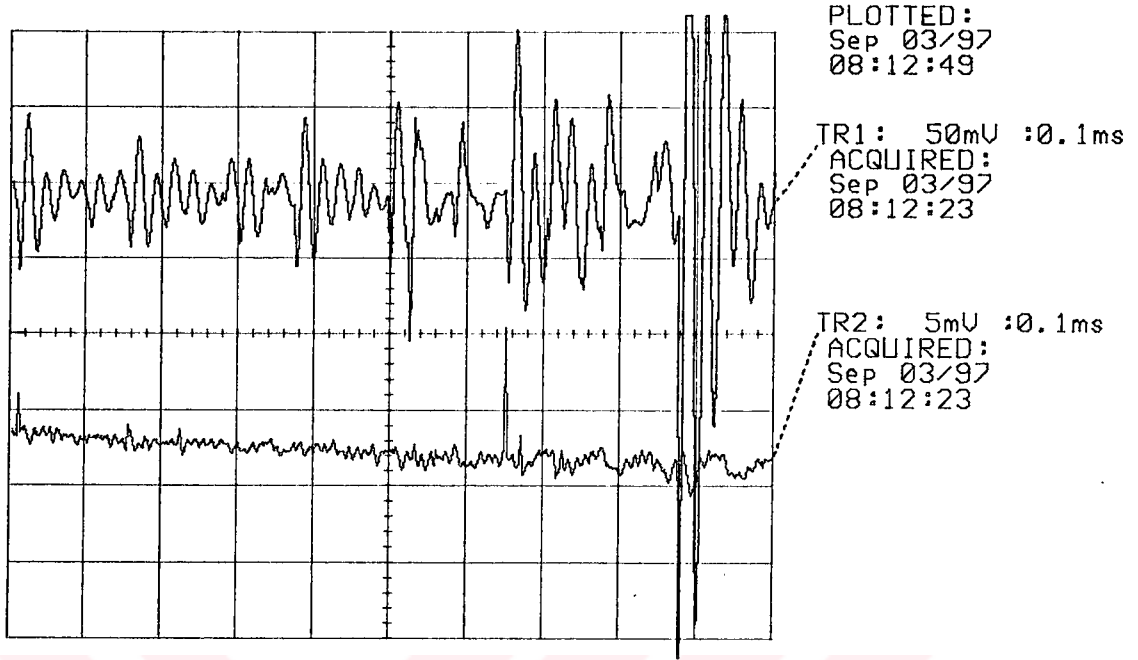


Şekil 4.4. 2000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli  
(8,4 V 'luk zener için, 25 kV )

d) İzolatöre 4000 sarıma sahip bobin bağlı durum için elde edilen değerler, 5,7 V zener için Tablo 4.6 'da, 8,7 V zener için Tablo 4.7 'de ve kaçak akım dalga şekli, Şekil 4.5 'de verilmiştir.

Tablo 4.6. Temiz izolatöre ait sonuçlar  
(4000 sarımlı bobin, 5,7 V 'luk zener)

Uygulanan Gerilim (kV)	Yüzey Kaçak Akımı (mA)	1 sn. de Sayılan Sınır değeri Aşan Darbe Sayıları ve Ortalamaları
5	0.130	(7,4,11,10,7,7,6,5,5,7) 6.90
10	0.190	(7,7,7,7,10,8,5,11,7,11) 8.00
15	0.328	(7,5,10,7,4,6,10,11,12,11) 8.30
20	0.522	(5,7,7,5,7,17,8,14,10,8,22) 10.00
25	0.710	(7,28,7,8,6,12,10,9,7,11,9) 10.36
30	0.910	(20,17,28,7,6,7,16,9,17,11,20) 14.20



Şekil 4.5. 4000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli  
(5,7 V 'luk zener için, 30 kV)

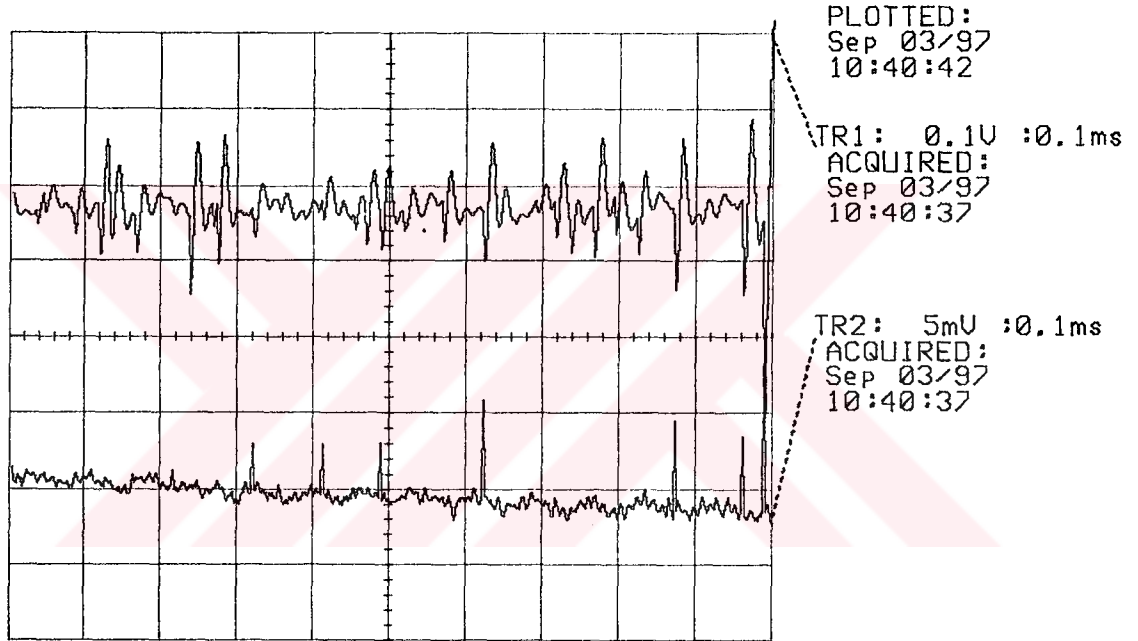
Tablo 4.7. Temiz izolatöre ait sonuçlar  
(4000 sarımlı bobin, 8,4 V 'luk zener)

Uygulanan Gerilim (kV)	Yüzey Kaçak Akımı (mA)	1 sn. de Sayılan Sınır değeri Aşan Darbe Sayıları ve Ortalamaları
5	0.132	0
10	0.182	0
15	0.358	0
20	0.543	(5,7,16,6,7,7,16,9,8,8,10) 9.00
25	0.722	(8,5,7,34,8,4,11,12,10,22,15) 12.36
30	0.910	(16,7,16,6,8,7,8,40,15,6,21) 13.63

e) İzolatöre 6000 sarıma sahip bobin bağlı durum için elde edilen değerler, 5,7 V zener için Tablo 4.8 'de ve kaçak akım dalga şekli, Şekil 4.6 'da verilmiştir.

**Tablo 4.8.** Temiz izolatöre ait sonuçlar  
(6000 sarımlı bobin, 5,7 V 'luk zener)

Uygulanan Gerilim (kV)	Yüzey Kaçak Akımı (mA)	1 sn. de Sayılan Sınır değeri Aşan Darbe Sayıları ve Ortalamaları
5	0.120	(4,7,7,4,10,6,7,5,6,8) 6.40
10	0.181	(5,21,5,25,10,4,10,6,4,6) 9.60
15	0.350	(7,12,18,11,5,7,9,6,18,17) 11.00
20	0.538	(16,7,10,7,8,7,27,8,15,8) 11.30
25	0.718	(17,17,6,8,14,8,21,10,12,21) 13.40
30	0.900	(10,8,17,11,16,4,22,22,19,13) 14.20



**Şekil 4.6.** 6000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli  
(5,7 V 'luk zener için, 30 kV)

#### 4.3.2. Kirli İzolatör Testleri

Bu testte de, temiz bir izolatör kir numunesi ile kirletilerek, iletkenliğin artması için kirle kaplı izolatör yüzeyi nemlendirilmiştir. Yine aynı şekilde izolatöre 1700 sarımlık gerilim bobini ve farklı sarım sayılarına sahip kaçak akımını sınırlamaya çalışan bobinler

bağlı durum için, uygulanan farklı gerilim değerlerinde elde edilen, yüzey kaçak akım dalgasının görüntüsü şekiller halinde, kaçak akım değerleri, elektronik devreden sayılan darbe sayıları ve ortalamaları tablolar halinde aşağıda verilmiştir.

a) Askıya asılan kirli izolâtörden geçen kaçak akım bilgisinin elde edilmesi için, gerekli olan 1700 sarıma sahip gerilim bobini devrede iken farklı zener gerilim değerleri için elde edilen sonuçlar Tablo 4.9 ve Tablo 4.10 'da verilmiştir.

**Tablo 4.9.** Kirli izolâtöre ait sonuçlar  
(5,7 V 'luk zener için)

Uygulanan Gerilim (kV)	Yüzey Kaçak Akımı (mA)	Sınır Değeri Aşan Darbe Sayılarının Ortalaması
5	0.118	337.5
10	0.210	473.6
15	0.361	677.6
20	0.540	699.6
25	0.720	848.7
30	0.900	950.8

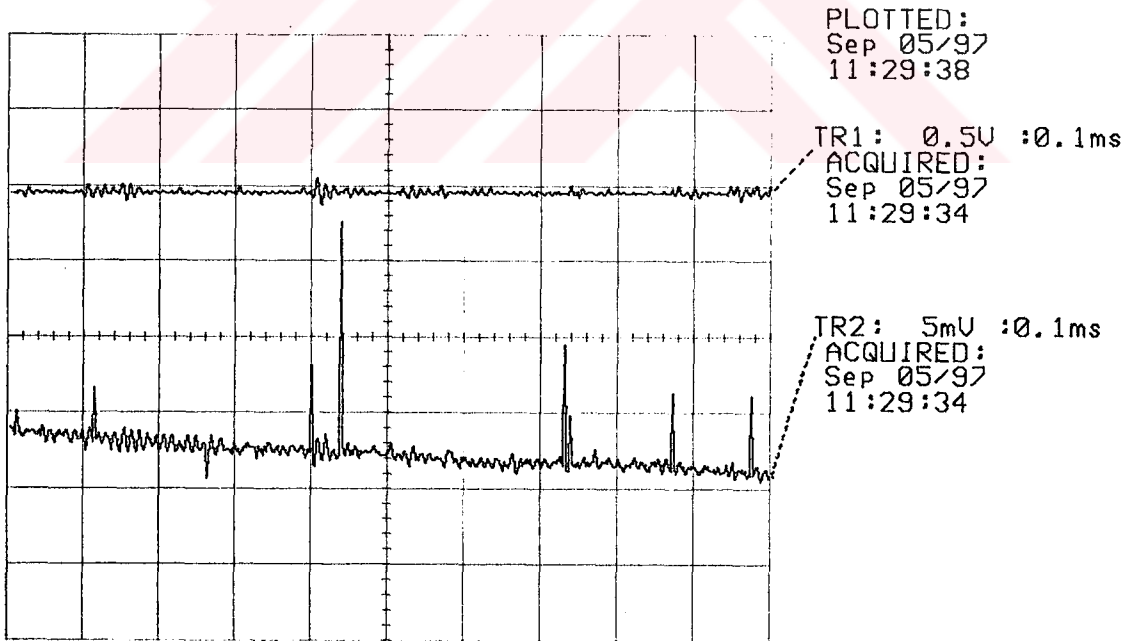
**Tablo 4.10.** Kirli izolâtöre ait sonuçlar  
(8,4 V 'luk zener için)

Uygulanan Gerilim (kV)	Yüzey Kaçak Akımı (mA)	Sınır Değeri Aşan Darbe Sayılarının Ortalaması
5	0.112	96.6
10	0.190	125.8
15	0.345	241.8
20	0.520	348.6
25	0.710	467.7
30	0.900	690.6

b) Kirli izolatöre 2000 sarıma sahip bobin bağılı durum için elde edilen değerler, 5,7 V zener için Tablo 4.11 'de ve kaçak akım dalga şekli, Şekil 4.7 'de verilmiştir.

**Tablo 4.11.** Kirli izolatöre ait sonuçlar  
(2000 sarımlı bobin, 5,7 V 'luk zener)

Uygulanan Gerilim (kV)	Yüzey Kaçak Akımı (mA)	1 sn. de Sayılan Sınır değeri Aşan Darbe Sayıları ve Ortalamaları
5	0.122	(7,17,7,20,8,16,8,17,25,8) 13.30
10	0.220	(34,16,27,22,43,53,37,48,23,34) 33.70
15	0.358	(90,57,54,78,77,67,64,61,143,150) 84.1
20	0.545	(245,420,350,347,227,220,450,324,350,408) 334.10
25	0.710	(850,585,650,855,751,682,455,713,520,680) 674.10
30	0.910	(973,750,640,895,935,1230,880,580,870,1015) 876.80

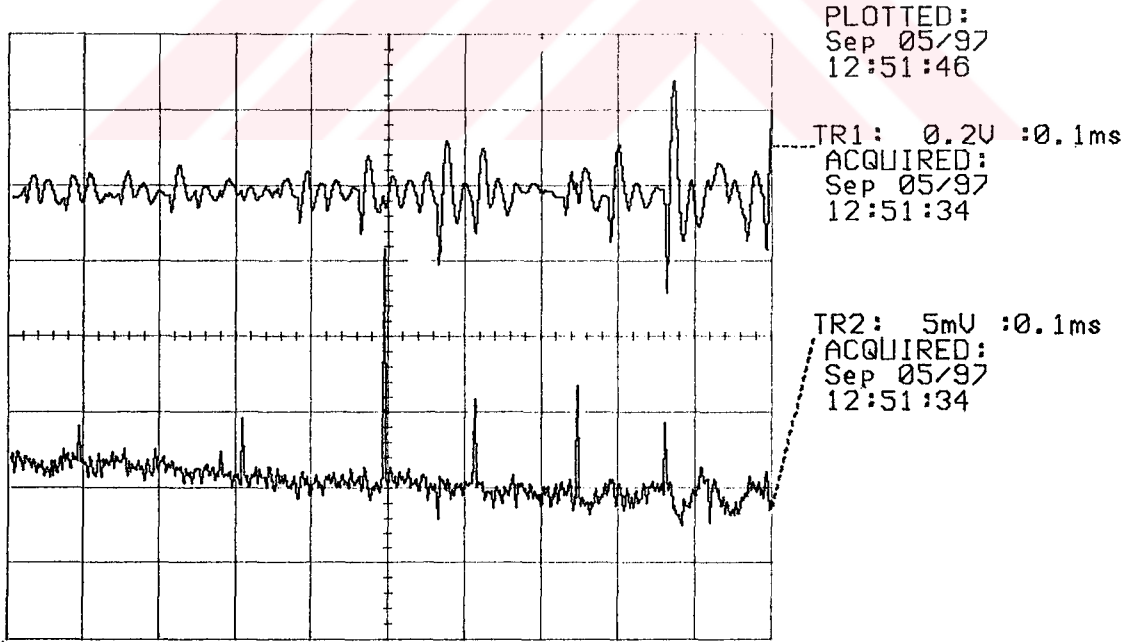


**Şekil 4.7.** 2000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli  
(5,7 V 'luk zener için, 30 kV)

c) Kirli izolatöre 4000 sarıma sahip bobin bağılı durum için elde edilen değerler, 5,7 V zener için Tablo 4.12 'de ve kaçak akım dalga şekli, Şekil 4.8 'de verilmiştir.

**Tablo 4.12.** Kirli izolatöre ait sonuçlar  
(4000 sarımlı bobin, 5,7 V 'luk zener)

Uygulanan Gerilim (kV)	Yüzey Kaçak Akımı (mA)	1 sn. de Sayılan Sınır değeri Aşan Darbe Sayıları ve Ortalamaları
5	0.130	(8,7,8,6,11,14,14,14,7,18) 10.70
10	0.185	(20,43,37,42,36,35,44,26,25,28) 33.60
15	0.360	(90,66,78,27,64,61,124,81,48,46) 68.5
20	0.530	(220,96,66,371,364,600,100,121,492,285) 271.50
25	0.710	(550,140,810,410,206,530,510,310,456,630) 455.20
30	0.900	(756,400,530,600,600,776,770,920,650,587) 658.90

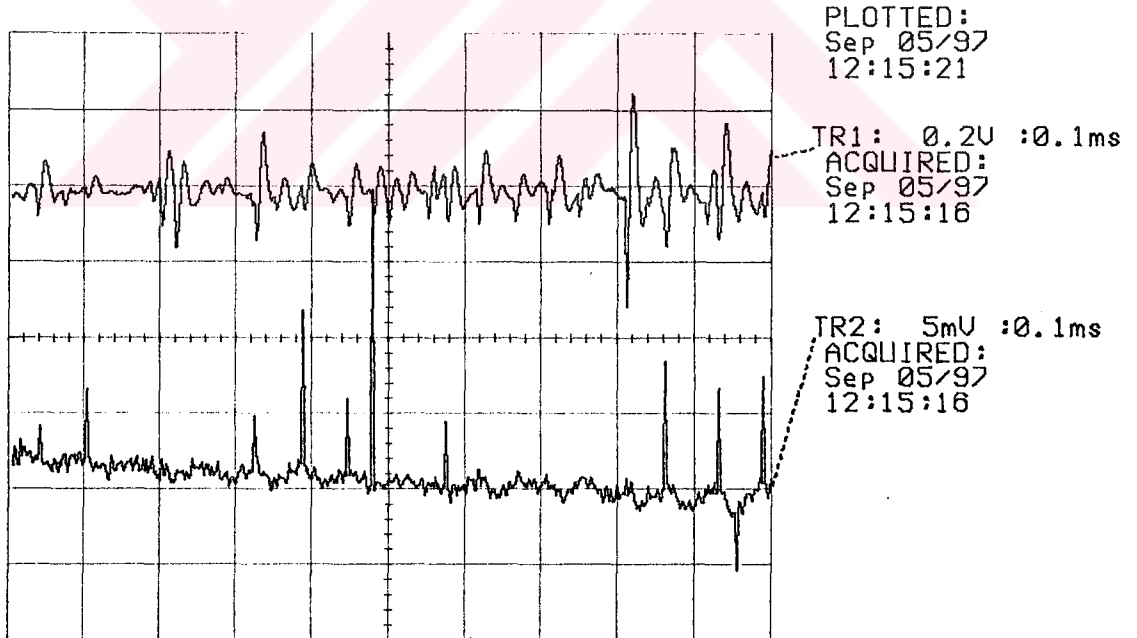


**Şekil 4.8.** 4000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli  
(5,7 V 'luk zener için, 30 kV)

d) Kirli izolatöre 6000 sarıma sahip bobin bağılı durum için elde edilen değerler, 5,7 V zener için Tablo 4.13 'de ve kaçak akım dalga şekli, Şekil 4.9 'da verilmiştir.

**Tablo 4.13.** Kirli izolatöre ait sonuçlar  
(6000 sarımlı bobin, 5,7 V 'luk zener)

Uygulanan Gerilim (kV)	Yüzey Kaçak Akımı (mA)	1 sn. de Sayılan Sınır değeri Aşan Darbe Sayıları ve Ortalamaları
5	0.130	(8, 6, 7, 6, 7, 21, 6, 7, 8, 10) 8.60
10	0.190	(13, 12, 18, 25, 40, 41, 26, 20, 18, 12) 22.50
15	0.338	(18, 14, 26, 72, 24, 43, 76, 37, 26, 30) 36.60
20	0.515	(73, 67, 71, 47, 120, 41, 130, 85, 63, 100) 79.70
25	0.710	(200, 120, 142, 226, 260, 210, 250, 100, 190, 210) 190.80
30	0.910	(390, 263, 790, 344, 500, 720, 310, 620, 630, 530) 509.70



**Şekil 4.9.** 6000 sarımlı bobinin yüzey kaçak akımının dalga şekli  
(5,7 V 'luk zener için, 30 kV)

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada; Yüksek gerilim izolatörlerinin performansının, temiz ve kirli durumlar için nasıl değiştiği ve oluşan kaçak akım değişmelerinin önlenmesi için laboratuvar şartlarında bir deneysel yöntem incelenmiştir.

Yüksek gerilim izolatörlerinin temel görevleri; güç sisteminde gerilim altındaki kısımları izole etmek ve taşımaktır. Taşıma işlemini başarı ile sağladıkları halde, izolasyonu yeterince yapamamaktadırlar. Bunun sebebi de ; Yüksek gerilim izolatörlerinin doğal kirlenme altında olmalarıdır. Rutubet ve atmosferik kirlenmenin birleştirici etkisi, izolatör yüzeyinde iletkenlik meydana getirmekte ve yüzeysel atlamalara sebebiyet vermektedir.

Laboratuvar ortamında, askıya asılan temiz izolatöre farklı gerilimler uygulanması ile elde edilen yüzey kaçak akım değerleri ve sınır değeri aşan darbe sayılarının ortalamaları Tablo 4.1-2 'de, izolatöre 1000, 2000, 4000, 6000 sarımlı bobinler ayrı ayrı seri olarak bağlandığında elde edilen değerler, Tablo 4.3-8 'de ve kaçak akım dalga şekilleri 'de Şekil 4.2-6 'da incelenecek olursa elektronik sayıcı tarafından sayılan darbe sayılarında, bobin bağlı durumlar için azalma görülmektedir. Bobin sarım sayısı arttıkça bu darbe sayılarında azalma olduğu ve kaçak akım dalga şeklinde ki pik değerlerin düştüğü görülmektedir.

İzolator, kir numunesi ile suni olarak kirlendiğinde elde edilen değerler, Tablo 4.9-10 'da, bobin bağlı durumlar için elde edilen değerler, Tablo 4.11-13 'de ve yüzey kaçak akım dalga şekilleri Şekil 4.7-9 'da incelenecek olursa temiz izolatöre göre darbe sayılarının arttığı ve kaçak akım dalga şekillerinde piklerin yükseldiği gözlenebilir.

Deneyler ve incelemeler sonucunda, elde edilen değerleri şöyle izah edebiliriz:

- a) Bir izolatöre uygulanan gerilim değeri arttıkça, üzerinden geçen kaçak akım değeri artmaktadır.
- b) Temiz bir izolatörden geçen kaçak akım değeri, kirli bir izolatörden geçen kaçak akım değerinden düşüktür.
- c) Temiz veya kirli bir izolatöre seri bir bobinin bağlanması durumunda, üzerindeki kapasitif kaçak akım geçişi azalmaktadır.

d) Bu bobinlerin sarım sayıları arttıkça, rezonans durumu gözönünde tutularak, kapasitif kaçak akım geçişi azalmaktadır.

e) İzolatöre seri bir bobin bağlamak suretiyle, yüzeysel atlama gerilim değeri yükseltilmiş olur.

Bu çalışmadan destek almak suretiyle yüzeyindeki kir tabakasının iletkenliği sonucunda meydana gelebilecek yüzeysel atlamalar, bobin bağlamak suretiyle engellenmiş olur. Bundan dolayı ortam şartlarına ve üzerinde ki gerilim seviyesine göre seçilen izolatörler, uygun değerlerde bobin bağlanmak suretiyle, daha kötü ortam şartlarında ve daha fazla gerilim seviyesi altında kullanılabilirler.



**KAYNAKLAR**

KHALIFA, M., EL-MORSHEDY, A., GOUDA, O.E., HABIB, S.E.D., (1988), A new monitor for pollution on power line insulators-part 2:Simulated field tests **IEE Proc.** Vol.135,PT.c,No1,January

ÇANAKÇI, M., (1993), **Sonlu Elemanlar Yöntemi Yardımıyla Yüksek Gerilim İzolatörlerinde Yüzey Alan Dağılımının Hesabı**, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

ZHICHENG, G., RENYU, Z., (1990), Calculation of dc and ac Flashover Voltage of Polluted Insulators, **IEEE Trans. on Electrical Insulation**, Vol.25, No.4, pp.723-729.

ÖZKAYA, M., (1988) **Yüksek Gerilim Tekniği**, İTÜ, İstanbul.

PILLING, J., BERNDT, L., (1983), The Problem of Determining The Layer Conductivity of Polluted Insulators Under Service Conditions, **Fourth Int. Symp. on HV Engineering**, Athens-Greece, 46.13,pp.1-9.

ULUSOY, H., (1993) **Yüksek Gerilim Elektrik Malzemeleri ve Testleri**, BİRSEN, İstanbul.

DENGİZ, H. H., (1991) **Enerji Hatları Mühendisliği**, KARDEŞ, Ankara.

GOUDA, O. E., (1990) Influence of Pollution on H.V. Insulators, Cairo University, Faculty of Engineering, Electrical Engineering Dept., **IEEE Trans. Pas**, Vol. 87-1986.

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
EĞİTİM VE ARAŞTIRMA BAKANLIĞI