

65868

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNİN KİRLENME ATLAMA  
DAVRANIŞLARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ  
YARDIMIYLA BELİRLENMESİ**

Muhsin Tunay GENÇOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ

1997

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNİN KİRLENME ATLAMA  
DAVRANIŞLARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ  
YARDIMIYLA BELİRLENMESİ**

Muhsin Tunay GENÇOĞLU

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 KİRLENME ATLAMA  
DAVRANIŞLARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ  
YARDIMIYLA BELİRLENMESİ**

Muhsin Tunay GENÇOĞLU

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

1997, Sayfa: 81

Yüksek gerilim izolatörlerinin, enerji iletim sistemlerinde sürekli ve emniyetli bir yalıtım sağlaması istenir. Ancak izolatörlerin yüzeyinde oluşan kir tabakası, izolatörlerden beklenen performansı ve görevleri olumsuz yönde etkileyerek yüzeysel atlamalara ve dolayısıyla kısa devre arızalarına neden olur. Bu durum, enerji iletim problemlerinin en önemlilerinden biridir.

Kirli bölgelerde kullanılacak izolatörlerin yüzeysel atlama performansını belirlemek üzere birçok tabii ve suni test yöntemleri geliştirilmiştir. Ayrıca modeller üzerinde analitik hesaplamalar yapılmıştır. İzolatör yüzeyinde oluşan kir tabakası, AR modeli ile temsil edilebilir. Bu model, izolatör yüzeyini sızma uzunluğu boyunca açarak bir düzlem haline getiren gerçek modeldir. İzolatörün yüzeysel atlama performansını belirleyen arka seri kir direncinin hesabı, modeller üzerinde ve bilgisayar yöntemleri kullanılarak yapılabilir.

Bu çalışmada kirlenme atlamasının önemi, tanıtımı ve fiziksel mekanizması açıklanarak izolatörlerin atlama davranışlarının tabii ve suni testler yoluyla nasıl belirlendiği ve izolatör eşdeğer modelleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ele alınan 5 tip izolatörün arka seri direnç değişimlerini hesaplamak üzere önce izolatörlerin AR modelleri ayrı ayrı bulunmuş ve bu modellere SEY uygulanarak direnç değişimleri bilgisayar yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** İzolatör, Sonlu Elemanlar Yöntemi, AR modeli, Kirlenme atlama, Kir direnci.

**SUMMARY**

Master Thesis

**Determination of Pollution Flashover Behaviour of High Voltage Insulators  
by The Finite Element Method**

Muhsin Tunay GENÇOĞLU

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

1997, Page: 81

High voltage insulators are supposed to provide a continuous and safety insulation in energy transmission systems. However, pollution layer that occurs on the surface of insulator, decreases the performance of insulators and causes surface flashovers and therefore short circuit failures.

Several natural and artificial test methods had been developed to determine the surface flashover performance of the insulators, which will be used in polluted region. In addition, analytical calculations have been carried out on the models. AR model can be used to model the surface pollution layer of the insulator. AR model is a real model that open the surface of the insulator along the leakage length to a plane. Calculation of the pollution resistance serial to the discharge which determines the surface flashover performance can be carried out on the models and using computer methods.

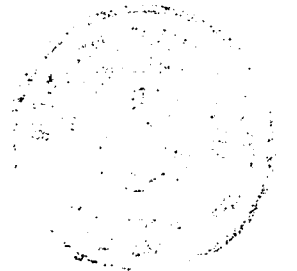
In this work, pollution flashover and physical mechanism of it have been defined and its importance has been explained. Determination of the flashover behaviour of the insulators via natural and artificial tests and insulator equivalent models have been examined, comparatively. In order to calculate the variation of the resistance serial to the flashover, AR models of the insulators has been constructed seperately for 5 insulators that has been examined and later their resistance variations have been calculated applying FEM analysis to the models. Computational results are compared with the experimental results.

**Key Words:** Insulator, Finite Element Method, AR model, Pollution flashover, Pollution resistance.



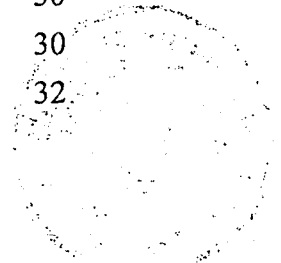
## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőması sũresince ilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez yœneticim, Sayın Doç.Dr. Mehmet CEBECİ 'ye katkılarından dolayı teőekkũr ederim. Ayrıca her tũrlũ yardımlarından dolayı ODTũ Őğretim Őyelerinden Sayın Prof.Dr.Ahmet RUMELİ 'ye Őũkranlarımı arzederim.

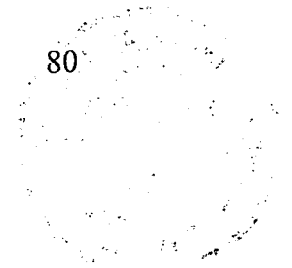


## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iii
SUMMARY .....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
SİMGELER .....	viii
ŞEKİLLER VE TABLOLAR .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. İZOLATÖRLERDE ATLAMA OLAYININ GENEL TEORİSİ .....	3
2.1. İzolatörlerde Fiziksel Kirlenme .....	3
2.2. Kirlenme Atlaması .....	5
2.3. Atlama Gelişiminin Fazları .....	6
2.3.1. Deşarjın oluşmadığı safhalar .....	8
2.3.2. Deşarj safhaları .....	8
2.3.3. Ark büyümesi .....	9
2.4. Atlama Denklemi .....	12
2.5. Nemin Atlama Olayına Etkisi .....	14
3. İZOLATÖR TESTLERİ .....	16
3.1. Genel Bilgi .....	16
3.2. Gözle Muayene .....	17
3.3. Yüksek Gerilim İzolatör Testleri .....	17
3.3.1. İmalat testleri .....	17
3.3.1.1. Mekanik test .....	17
3.3.1.2. Yüksek frekans testi .....	17
3.3.1.3. Şebeke frekanslı test .....	18
3.3.2. Tip testleri .....	18
3.3.2.1. Birinci grup testler .....	19
3.3.2.2. İkinci grup testler .....	24
3.3.2.3. Tekrarlanacak testler .....	28
3.4. Kir Altında Yüksek Gerilim İzolatör Test Yöntemleri .....	30
3.4.1. Suni kir kaplama test yöntemleri .....	30
3.4.1.1. Yağmur testi .....	30
3.4.1.2. Kizelgur ve metilen testleri .....	32



3.4.1.3. Tuzlu sis testi .....	34
3.4.2. Tabii testler .....	35
<b>4. İZOLATÖR EŞDEĞER MODELLERİ .....</b>	<b>36</b>
4.1. Genel Bilgi .....	36
4.2. Wilkins Modeli .....	36
4.3. Rumeli Modeli .....	37
4.4. Wilkins ve Rumeli Modellerinin Karşılaştırılması .....	38
4.5. Dairesel Şerit Model .....	40
4.6. Dinamik Model .....	43
4.7. Hesaplamalarda Doğruluğu Etkileyen ve Çözümü Zorlaştıran Faktörler .....	46
4.7.1. Düzensiz kir dağılımı .....	46
4.7.2. Ön deşarjların tutuşmasını ve karakteristiğini etkileyen faktörler .....	47
4.7.3. Uygulanan gerilimin zamanla değişimi .....	48
4.7.4. Kir tabakası direncindeki değişimler .....	48
<b>5. ARK 'A SERİ KİR DİRENCİ DEĞİŞİMİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (SEY) İLE HESABI .....</b>	<b>50</b>
5.1. Genel Bilgi .....	50
5.2. SEY 'nin AR modeline uygulanması .....	50
5.3. Direnç Hesaplama Programı .....	51
5.4. Programın Akış Diyagramı .....	51
5.5. Direnç Hesabı .....	55
5.6. Kirlenmiş İzolatörlerin Atlama Performanslarının Tayini .....	56
5.7. Ölçme Yöntemi .....	62
<b>6. UYGULAMA .....</b>	<b>63</b>
6.1. 7K3 İzolatörü .....	64
6.2. BULLERS İzolatörü .....	66
6.3. 80AL146W İzolatörü .....	68
6.4. 80F140W İzolatörü .....	70
6.5. F7 İzolatörü .....	72
6.6. Sonuçların Karşılaştırılması .....	74
<b>7. SONUÇ .....</b>	<b>78</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>80</b>



## SİMGELER

$a$	: Model eni (cm)
$A_{,n}$	: Deşarj gradyan sabit katsayıları
$d_{eff}$	: Efektif izolatör çapı (cm)
$dl$	: Sızma boyunca uzunluk elemanı
$D(l)$	: İzolatör çapı (cm)
$I$	: Akım (A)
$J$	: Akım yoğunluğu ( $A/cm^2$ )
$L$	: Sızma (kaçak) boyu (cm)
$L_a$	: Kuru band uzunluğu (cm)
$R$	: Deşarja seri kir bölgesi direnci ( $k\Omega$ )
$r_d$	: Deşarj ucu yarıçapı (cm)
$\rho$	: Yüzey tabakasının öz direnci ( $\Omega mm^2/m$ )
$\sigma_c$	: Soğuk yüzeysel iletkenlik (S)
$\sigma_s$	: Yüzeysel iletkenlik (S)
$V$	: Uygulanan gerilim (V)
$V_d$	: Dayanım gerilimi (kV)
$V_e$	: Deşarj anod ve katod gerilim düşümleri toplamı (V)
$X$	: Deşarj boyu (cm)
$E$	: Elektrik alanı (V/cm)
$r$	: Efektif öz direnç ( $k\Omega/cm$ )
$X_c$	: Kritik deşarj uzunluğu (cm)
$I_c$	: Kritik akım (mA)
$V_c$	: Kritik gerilim (kV)





## ŞEKİLLER VE TABLOLAR

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. : Kir tutulmasının şekille değişimi .....	4
Şekil 2.2. : Kirlenme atlamasının safhaları .....	7
Şekil 2.3. : Ark büyümesinin değişik safhalarında ark hızı .....	9
Şekil 2.4. : Bir kısmi ark deşarjı için ideal model .....	10
Şekil 2.5. : İdeal modelin gerilim eğrileri .....	11
Şekil 3.1. : Yağmur altında izolatör testi .....	31
Şekil 3.2. : Tuz çözeltisi iletkenliğinin tuzluluk derecesi ile değişimi .....	34
Şekil 4.1. : İzolatör RW ve AR yarı modelleri .....	39
Şekil 4.2. : Atlama oluşumu için değişik başlangıç noktaları .....	39
Şekil 4.3. : Dairesel şerit model .....	40
Şekil 4.4. : Dönüştürülmüş dairese şerit .....	41
Şekil 4.5. : Kirlenmiş izolatörlerde ark yayılımı .....	44
Şekil 5.1. : Ana programın akış diyagramı .....	53
Şekil 5.2. : Direnç hesabı .....	56
Şekil 5.3. : $f(i)$ eğrileri .....	61
Şekil 5.4. : $F_m(I_m)$ minimum noktalar eğrisi .....	61
Şekil 6.1. : Hesaplamalar için seçilen izolatörler .....	63
Şekil 6.2. : 7K3 izolatörü için AR modelinin üçgen elemanlarla bölmelenmiş hali .....	64
Şekil 6.3. : 7K3 izolatörü için ölçülen ( $r_d=0,15$ cm) ve hesaplanan $R(x)$ değişimleri .....	65
Şekil 6.4. : 7K3 izolatörü için ölçülen ( $r_d=0,3$ cm) ve hesaplanan $R(x)$ değişimleri .....	65
Şekil 6.5. : 7K3 izolatörü için $f(i)$ ve $F_m(I_m)$ eğrileri ( $r_d=0.15$ cm) .....	65
Şekil 6.6. : 7K3 izolatörü için $f(i)$ ve $F_m(I_m)$ eğrileri ( $r_d=0.3$ cm) .....	66
Şekil 6.7. : BULLERS izolatörü için AR modelinin üçgen elemanlarla bölmelenmiş hali .....	66

Şekil 6.8. : BULLERS izolatorü için ölçülen ( $r_d=0.15$ cm)	
ve hesaplanan $R(x)$ değişimleri .....	67
Şekil 6.9. : BULLERS izolatorü için ölçülen ( $r_d=0.3$ cm)	
ve hesaplanan $R(x)$ değişimleri .....	67
Şekil 6.10. : BULLERS izolatorü için $f(i)$ ve $F_m(I_m)$ eğrileri ( $r_d=0.15$ cm) .....	67
Şekil 6.11. : BULLERS izolatorü için $f(i)$ ve $F_m(I_m)$ eğrileri ( $r_d=0.3$ cm) .....	68
Şekil 6.12. : 80AL146W izolatorü için AR modelinin	
üçgen elemanlarla bölmelenmiş hali .....	68
Şekil 6.13. : 80AL146W izolatorü için ölçülen ( $r_d=0.15$ cm)	
ve hesaplanan $R(x)$ değişimleri .....	69
Şekil 6.14. : 80AL146W izolatorü için ölçülen ( $r_d=0.3$ cm)	
ve hesaplanan $R(x)$ değişimleri .....	69
Şekil 6.15. : 80AL146W izolatorü için $f(i)$ ve $F_m(I_m)$ eğrileri ( $r_d=0.15$ cm) .....	69
Şekil 6.16. : 80AL146W izolatorü için $f(i)$ ve $F_m(I_m)$ eğrileri ( $r_d=0.3$ cm) .....	70
Şekil 6.17. : 80F140W izolatorü için AR modelinin	
üçgen elemanlarla bölmelenmiş hali .....	70
Şekil 6.18. : 80F140W izolatorü için ölçülen ( $r_d=0.15$ cm)	
ve hesaplanan $R(x)$ değişimleri .....	71
Şekil 6.19. : 80F140W izolatorü için ölçülen ( $r_d=0.3$ cm)	
ve hesaplanan $R(x)$ değişimleri .....	71
Şekil 6.20. : 80F140W izolatorü için $f(i)$ ve $F_m(I_m)$ eğrileri ( $r_d=0.15$ cm) .....	71
Şekil 6.21. : 80F140W izolatorü için $f(i)$ ve $F_m(I_m)$ eğrileri ( $r_d=0.3$ cm) .....	72
Şekil 6.22. : F7 izolatorü için AR modelinin	
üçgen elemanlarla bölmelenmiş hali .....	72
Şekil 6.23. : F7 izolatorü için ölçülen ( $r_d=0.15$ cm)	
ve hesaplanan $R(x)$ değişimleri .....	73
Şekil 6.24. : F7 izolatorü için ölçülen ( $r_d=0.3$ cm)	
ve hesaplanan $R(x)$ değişimleri .....	73
Şekil 6.25. : F7 izolatorü için $f(i)$ ve $F_m(I_m)$ eğrileri ( $r_d=0.15$ cm) .....	73
Şekil 6.26. : F7 izolatorü için $f(i)$ ve $F_m(I_m)$ eğrileri ( $r_d=0.3$ cm) .....	74
Şekil 6.27. : 0.15 cm sonda yarıçapı için hesaplanan direnç değerleri .....	74

Şekil 6.28. : 0.3 cm sonda yarıçapı için hesaplanan direnç değerleri .....	75
Tablo 2.1. : Alt kısımda kir tutulması .....	4
Tablo 2.2. : Atlama olayının gelişimi .....	7
Tablo 3.1. : Hava yoğunluğu düzeltme katsayısı .....	21
Tablo 6.1. : Hesaplamalar için seçilen izolatörlerin karakteristikleri .....	64
Tablo 6.2. : İncelenen izolatörler için hesaplanan değerler .....	77



## 1. GİRİŞ

İzolatörlerin temel görevi enerji iletim sisteminin yüksek gerilim altındaki kısımlarını izole etmektir. Bunun dışında ikinci önemli görevi de mekanik yükleri taşımaktır. İzolatörler, genellikle taşıma görevini başarı ile yaptıkları halde, izolasyon görevini bazen yapamazlar ve enerjili kısmın toprağa kısa devresi ile sonuçlanan atlamalara neden olurlar.

İzolatörlerde kısa devreye yol açan arızalar başlıca üç nedenle meydana gelmektedir.

a) İzolatörün delinmesi : İzolatör elektrik, mekanik ve termik zorlanmalar sonucu normal fonksiyonunu yapamaz hale gelebilir. Dielektrik delinme olarak bilinen bu tür arıza daha çok imalat hatası ile ilgili olup seyrek meydana gelir.

b) Aşırı gerilim atlamaları : Yıldırım ve diğer nedenlerle oluşan aşırı gerilimler izolatörlerde atlamalar yaparlar. Bu tür arızalar alçak ve orta gerilim sistemlerinde önemli olup; gerilim, dolayısıyla izolasyon seviyesi arttıkça azalmaktadır.

c) Kirlenme atlaması : Kirlenme atlamaları, aşırı gerilim atlamalarının tersine, gerilim arttıkça önem kazanmaktadır. Bu tür arızalar özellikle endüstriyel sahil bölgelerindeki yüksek gerilim izolatörlerinde sık sık görülmektedir. Enerji iletim gerilimlerinin süratle yükselmesi, endüstrileşme sonucu kirli bölgelerin çoğalması ve sahil bölgelerinde santral ve enerji iletim sistemlerinin yapılması nedenleriyle izolatörlerde kirlenme atlaması ciddi bir problem olarak belirmektedir.

İzolatör yüzeyinden kapasitif-rezistif özellikli bir kaçak akım akmasını sağlayarak alan dağılımını bozan yüzeysel kirlenmeler, yüksek gerilim izolatörlerinde sık sık kısa devre olaylarına sebep olmakta ve dolayısıyla istenmeyen enerji kesintileri ve ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Bu durum, çevresel kirlenmelerin yoğun olduğu bölgelerdeki en önemli işletme problemi olup, sürekli bakım ve hatalı izolatörlerin yenileri ile değiştirilmeleri gereğini ortaya çıkarır. Bu ise zahmetli ve çok pahalı bir işlemdir. Konu ile ilgili olarak yıllardan beri araştırmalar yapılmasına rağmen problemin genel bir çözümü henüz yoktur. Bu durum karşısında bir yandan arızaları önleyici geçici tedbirler alınırken, diğer taraftan kirli şartlarda daha iyi davranış gösterecek izolatörlerin



yapımına çalışılmaktadır. Bu nedenle güç sistem mühendisleri daima tasarımlarını iyileştirerek, yüksek gerilim izolatörlerinin işleyiş ömürlerini uzatmayı amaçlamışlardır.

Alternatif akımda dinamik elektrik alanı özelliği gösteren kirlenme probleminin incelenmesi için Laplace veya Poisson denklemlerinin çözülerek, potansiyel dağılımının belirlenmesi ve buna bağlı olarak direnç değerlerinin hesaplanması gereklidir. Ayrıca bilgisayarla modelleme ve sayısal yöntemler kullanılarak kirliliğin direnç değişimine etkileri ve böylece izolatörün işletme şartları altında göstereceği performans incelenebilir.

Alan dağılımlarının incelenmesi için geliştirilen sayısal yöntemlerden biri olan SEY, son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntemin uygulanmasında problem bölgesinin, özellikle eğrisel kenarlı ve karmaşık yapıların üçgen, dörtgen, izoparametrik vb. elemanlar ile tanımlanabilmesi hesaplamalarda kolaylık, hız ve doğruluk açısından önemli üstünlükler sağlar. Yöntemin en önemli olumsuz yanı, problem bölgesiyle ilgili giriş verilerinin hazırlanmasındaki zorluktur. Problem bölgesindeki eleman sayısının sonuçların doğruluğuna etkisi büyük olduğundan, programın gerektirdiği elemanları belirleyen düğümlerin numaraları ve koordinatları, her bir eleman içindeki malzeme özellikleri ve başlangıç değerleri gibi bilgilerden oluşan verilerin el ile hazırlanması ve bilgisayara girilmesi büyük zorluklara, zaman kaybına ve yazım hatalarına yol açmaktadır. Ancak SEY için geliştirilmiş olan otomatik veri üretim programlarından yararlanmak suretiyle yöntemin bu olumsuzluğunu gidermek mümkündür.

Bu çalışmanın amacı; izolatörlerin eşdeğer modellerinden yararlanarak, kirlenme altındaki atlama davranışlarını incelemektir. Bu incelemenin adımları aşağıda açıklanmıştır:

- İzolatör eşdeğer modellerinin elde edilmesi
- Model üzerinde ark 'a seri kir direncinin SEY ile hesaplanması
- Direnç değerlerinden yararlanarak dayanım gerilimlerinin bulunması



## 2. İZOLATÖRLERDE ATLAMA OLAYININ GENEL TEORİSİ

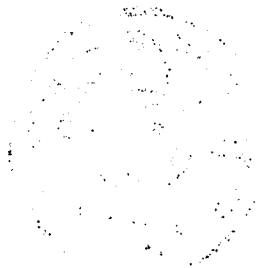
### 2.1. İzolatörlerde Fiziksel Kirlenme

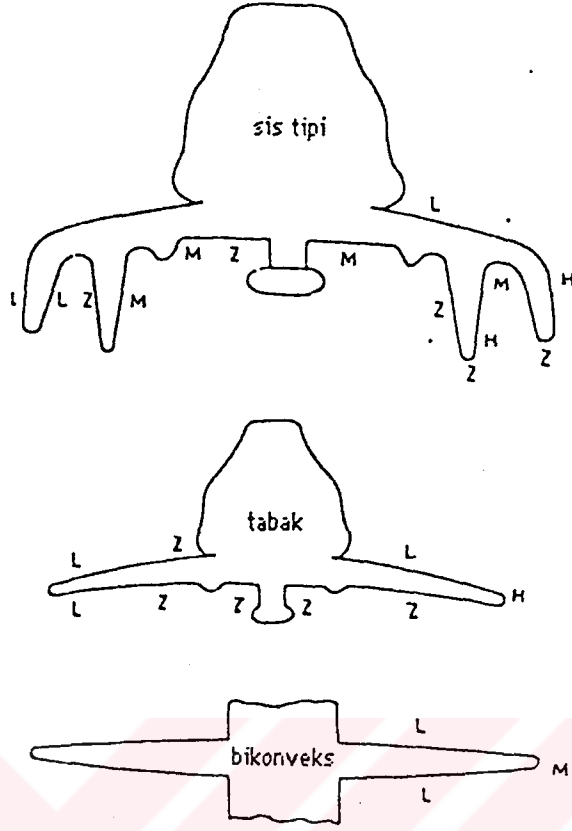
Kirlilik teriminin izolatör yönünden özel bir anlamı vardır. Çünkü kirlilik, izolatör yüzeyinde iletkenliği artırarak izolatör performansını düşüren ve zaman zaman arızalara yol açan bir etkidir. Atlamaya yol açacak kadar fazla deniz orjinli kirle kaplı izolatörler çok yakından bakılsa bile temiz görülebilir. Bununla birlikte endüstriyel tozlar veya çimento ile ağır biçimde kirlenmiş izolatörler, elektriksel bakımdan yeni izolatör gibi davranabilir. Bunun nedeni atlamaya sebep olan yüzey iletkenliğinin miktar yönünden önemsiz olmasıdır. Atlama, tuz ya da endüstriyel asit gibi kirlerin suyla çözünmesiyle meydana gelir. Yaklaşık olarak  $0.1 \text{ mg/cm}^2$  'lik kir yoğunluğu atlama için yeterlidir.

İzolatör yüzeyindeki artıklar performansı önemli ölçüde etkiler. Deniz ve göl tuzları, petrokimya endüstrisi artıkları ve asit üreten tesis artıkları gibi suda çözünen kirler daha önemlidir. Hem çözünen, hem de çözünmeyen kirler harekete geçmek için su gerektirirler. Bu nedenle sis, çığ ve kırağı kirlenme atlaması yönünden önemli artıklardır. Karbon, bazı metal oksitler veya metal içeren tozlar su yok iken dahi iletken hale gelebilirler.

Maddeleri izolatör yüzeyine taşıyan temel etkiler; yerçekimi kuvveti, yüklü parçacıkların elektrostatik çekimi, yüksek permitiviteli parçacıkların büyük elektrik alan yoğunluklu bölgelere göçü, çözelti veya süspansiyonların buharlaşıp aerodinamik olarak tutulmaları şeklinde sayılabilir.

İzolatör yüzeyinin kirlenmesinde, aerodinamik tutulma en önemli etkidir. Havada asılı parçacıklar, izolatör yüzeyine aktığında izolatör şekline bağlı olarak özellikle akışın ikiye ayrıldığı noktalarda oluşan durgun bölgede ve daha ağır olan parçacıklar girintilerde tutulurlar. D.E.J.Walsh rüzgar tünellerinde kirlenme deneylerini yapmıştır. Böyle bir deneyle kirletilen bazı izolatörlerin kir dağılımı Şekil 2.1 'de verilmiştir. Şekiller üzerindeki harfler kir yoğunluklarını göstermektedir (H:Ağır M:Orta L:Hafif Z:Sıfır) (Looms, 1988).





Şekil 2.1. Kir tutulmasının şekille değişimi

Şekil 2.1 ve Tablo 2.1 'den görülebileceği gibi kir, rüzgarın doğrudan çarptığı yüzeylerde ve girintilerde daha çok olmaktadır. Farklı yapıdaki izolatörlerin kir tutma miktarları çok değişmektedir. Üst yüzeylerde az kir toplanmakla beraber, özellikle endüstriyel bölgelerdeki karbon ve bazı metal tozları bu yüzeylerde alt kısımlara göre daha fazla bir iletkenlik oluşturabilir.

Tablo 2.1. Alt kısımda kir tutulması

<u>9 m/sn 'de</u>		<u>1.5 m/sn 'de</u>
630	sis tipi	150
390	tabak tipi	10
10	bikonveks	ihmal edilebilir

## 2.2. Kirlenme Atlaması

Yüksek gerilim harici tip izolatörler; kıyıya yakın bölgelerde tuzdan, endüstriyel alanlarda toz ve kimyasal artıklardan dolayı kirlenmeye maruz kalırlar. Böyle bir izolatör kuru iken çok küçük bir kapasitif kaçak akım geçer ve gerilim dağılımı basit olarak elektrostatik alanla tanımlanır.

Kir tabakasının yağmur, sis, rutubet vb. etkenlerle ıslanması sonucu iletken hale gelen kirli yüzey boyunca akan kaçak akımlar yüzeyde enerji kaybına sebep olurlar. Enerji kayıp yoğunluğunun büyük olduğu, özellikle izolatörün dar kısımlarındaki kirli bölgeler daha fazla ısınarak kurur ve "kuru band" denilen kısımların oluşmasına yol açarlar. Bunun sonucunda yüzey boyunca gerilim dağılımı bozularak, homojen olmayan bir yapıya dönüşür. Kuru band bölgelerindeki gerilim düşümü havanın dayanımını aşınca ön deşarjlar oluşur. Ön deşarjlar çoğunlukla söner; bazı şartlarda ise, yüzeye yayılarak kısa devre ile sonuçlanan atlama olayını meydana getirirler. Atlama sonucu meydana gelen yüksek akımlı ark enerjinin kesilmesine, birçok izolatörün tahrip olmasına ve hatta enerji nakil hattının eriyerek kopmasına sebep olabilir.

Bir yüksek gerilim izolatöründe kirlenme atlaması için üç ana şart veya beş kademe gereklidir.

- 1- İzolatör yüzeyinde iletken kir filminin teşekkülü
  - a) İzolatör yüzeyinin kir tabakası ile kaplanması
  - b) Kir tabakasının rutubet tesiri ile ıslanması
- 2- Kirli izolatör yüzeyinde ön deşarjların teşekkülü
  - a) Kuru bandların oluşması
  - b) Kuru bandlar boyunca ön deşarjların tutuşması
- 3- Ön deşarjların yüzey boyunca yayılması ve kısa devre

Eğer bu beş kademedен herhangi biri tamamen kontrol altına alınabilirse, kirlenme atlaması problemi kesin olarak çözülecektir.

Pratikteki gözlemlerden izolatör yüzeyinde kaçak akımın 100-200 mA değerine ulaşması halinde atlamanın meydana geldiği görülmüştür. Ancak sızma akımının değeri ile atlamanın meydana gelip gelmeyeceği arasında kesin bir bağıntı kurmak mümkün değildir (Rumeli, 1973).





### 2.3. Atlama Gelişiminin Fazları

İzolasyon üzerinde atlama, yani yüksek iyonizeli arkın tamamlanması Tablo 2.2 'de özetlenen birkaç aşamada meydana gelir. Bu durum Şekil 2.2 'de şematik olarak açıklanmıştır.

Atlama aşamaları şunlardır :

- 1- Yüzey tabakasının ısınması, iletkenlik ve akımın artmasına sebep olur (Şekil 2.2.a).
- 2- Devam eden ısı, yüzey tabakasında kısmi kurumalara yol açar (Şekil 2.2.b-c).
- 3- Daha fazla ısınma, kuru bandlar oluşturur (Şekil 2.2.d).
- 4- Kuru bandlar 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 bandlar boyunca yana doğru değiştirmelerine sebep olur (Şekil 2.2.d-e-f).

Ark sönümü, parıltı başlangıcı ve kuru bölgeler üzerinde hareketli deşarjların başladığı yerler en yüksek gerilim değişimlerine sahiptir. Bu safha kirli izolatörlerden yayılan yoğun radyo gürültülerinin sebebi olup, şekilde gösterilmemiştir.

5.a- Birçok kısmi arkın birleşmesiyle, izolatörü kaplayan bir tek büyük ark oluşur. Bu ark ısı etki ile değişik yönlerde yayılır (Şekil 2.2.i). Bu arada ark sönümü ve dolayısıyla ikinci safhaya dönüş olabilir.

5.b- Ark uçlarının ıslak iletken tabaka boyunca hızlı süpürme hareketi, arkın tamamlanmasına ve atlamaya götürebilir (Şekil 2.2.m). Sızma aralığının köprülenen son kısmı kuru bir yol izlemez.

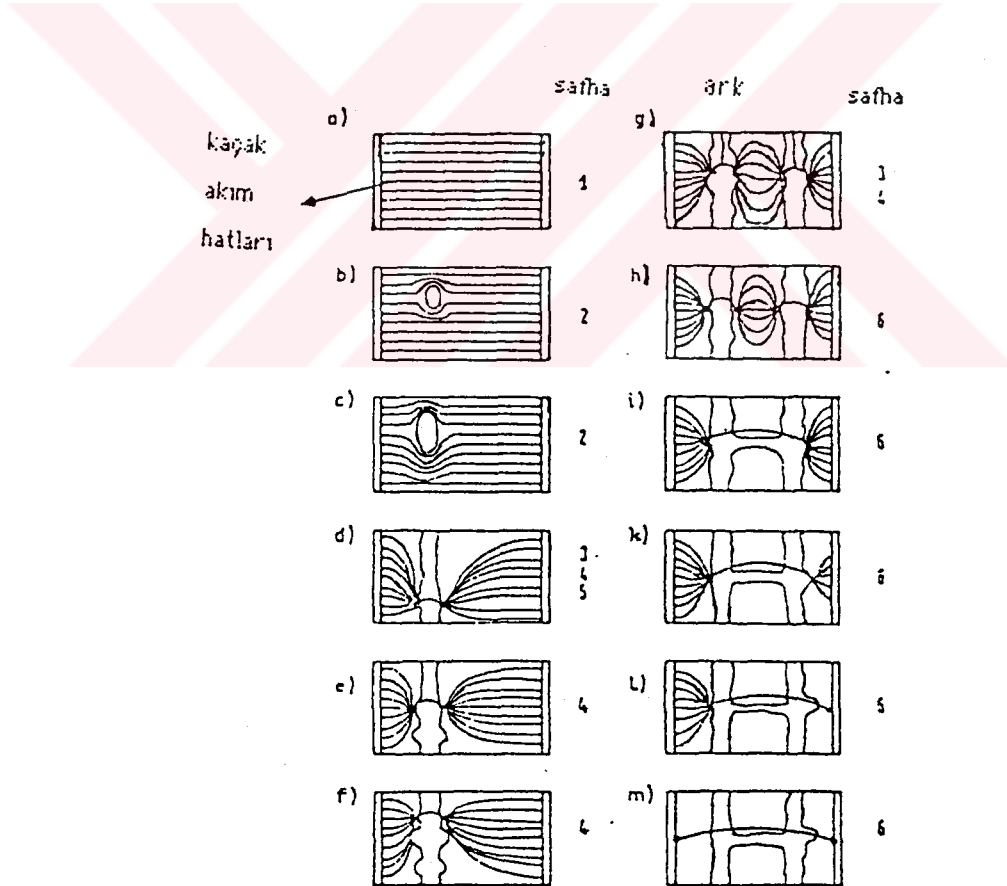
İlk dört safha kolayca anlaşılır. Çünkü dakikalar veya saatlerce sürebildiklerinden gözlenmeleri kolaydır. Son safha ise, her cm için birkaç yüz voltluk gerilimlerde sızma aralığı boyunca istenmeyen atlamalara sebep olur.

Son safhanın ilk kısmı ısı hareketlerle değerlendirilebilir. İkinci kısım için, son teorik açıklamalar deneysel sonuçlarla şaşırtıcı bir benzerlik sağlar. Sızma aralığı boyunca izolasyon dayanımını 200-400 V/cm 'ye düşüren de bu son safhadaki ark uçlarının hızlı süpürme hareketidir. Son safha elektrotlar arasındaki ark nedeniyle izolasyon şiddetinin düşmesinin sebebidir.

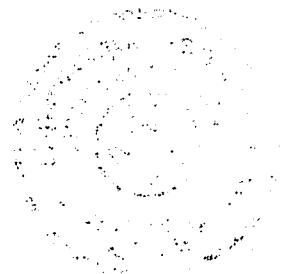


Tablo 2.2. Atlama olayının gelişimi

<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	Azalır
3 Kuru band şekillenir	Enine kısmi kuruma	Yok	Sıfır
4 Kısmi ark tutuşması	İletkenlik azalır	Enine ark	Yavaş artar
İşıltı ve buhar deşarjı	İletkenlik artar	İşıltı ve parazit	Küçük ve dalgalı
5.a Ark büyümesi;			
1°: ısı	Kuru band daha büyür	Ark büyür	Yavaş artış
2°: elektrostatik	Artık kurumaz	İzolatörde atlama	Hızla artar
5.b Atlama	Kısmen kurumuş	Ark	Kısa devre



Şekil 2.2. Kirlenme atlamasının safhaları



### 2.3.1. Deşarjın oluşmadığı safhalar

Deşarj oluşumunda önemli olan bileşen, ıslak kir ve iyonik iletimdir. Islak kirin önemli bir özelliği, iletkenliğinin ısının süresiz bir fonksiyonu olmasıdır. Bunun sebebi buharlaşmadır. İletkenlik önce akımın sebep olduğu ısıyla artar. Belirli sıcaklıkta suyun buharlaşması daha önemli olur ve çözelti tuzla aşırı doymuş hale gelir. Bu durumda iletkenlik artık artmaz ve tabaka kurumaya başladığında hızla azalır sıfıra düşer. İletkenlikteki bu geçici değişkenlik, kısmi iletkenliğin fonksiyonu olan akım yoğunluğuna bağlıdır. Isıtma işlemiyle nem tamamen kaybolduktan ve iletkenlik düştükten sonra, atmosferik şartlar yüzeyi nemlendirir. Bu durum suyun içinde olabilecek artık iletkenlikte yeni bir artış doğurabilir. Bu nedenle daha yüksek akım yoğunlukları ve nemin kaybı için daha çok ısı tüketimi meydana gelir. Bu periyodik değişim, işletme gerilimlerinde kirli izolatörlerin karakteristik davranışdır. Bu davranış iyonizasyon işlemiyle ve kuru bandların oluşmasından sonra meydana gelen yüzeye bitişik havanın kısmi delinmelerinin bir sonucu olan bölgesel arklarla daha da karmaşıklaşır (Çanakçı, 1993).

### 2.3.2. Deşarj safhaları

Tüm bir kuru band oluştuğundan sonra akımın kesilmesi veya havanın delinmesi bu bölgeyi köprüleyen ve akımı devam ettiren bir ark oluşturacaktır (Şekil 2.2.g). Bunun yanısıra arkın gaz plazmasındaki akım, yüzey tabakasındakinden tamamen farklı karakteristiklere sahiptir. Bunlardan en önemlisi ark akımının ısıyı, yüzey tabakasında olduğu gibi yüzeye dağıtmak yerine, ince bir kanalda çok yoğun bir şekilde yaymasıdır. Bu durum akımın en yoğun olduğu ark uçlarında kuru bandların uzamasına yol açar (Şekil 2.2.e). Bundan sonra şu üç durumdan biri meydana gelebilir :

- a- Ark ısı etkisi ile yanlara doğru hareket eder, uzunluğu azalır (Şekil 2.2.e-f).
- b- Arkın uzunluğu artabilir.
- c- Ark deiyonize olup akım geçici veya kalıcı olarak kesilebilir. Bu ihtimal Tablo 2.2 de açıklanan 4. safhadır.

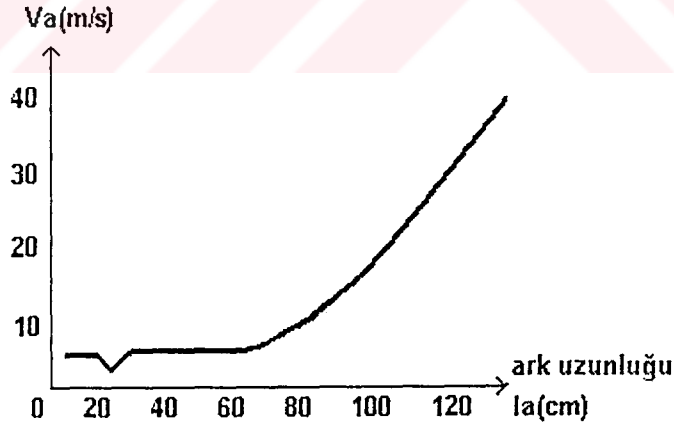


### 2.3.3. Ark büyümesi

Homojen alanlarda 30 kV/cm, homojen olmayan alanlarda ise 2-4 kV/cm seviyesinde dielektrik delinme olur. Kuru band oluşumu ve ardından ark köprülenmesi arkın nasıl meydana geldiğini açıklayabilir. Böyle birkaç ark birbiriyle birleşerek daha uzun bir ark oluşturabilir (Şekil 2.2.h-i).

Bu birleşme yavaş olur ve göz veya kamerayla izlenebilir. Hem birleşme ve hem de uzama akımın ısı etkilerinden dolayı oluşur. Ark büyümesinin ilk safhası uç kurumalarıyla ilgilidir (Şekil 2.2.k). Isıl etkilerle ark büyüdüktan sonra, sızma aralığının kalan kısmı da köprülenir (Tablo 2.2 'de 5.b safhası) ve ark, kuru bandlar oluşturmaksızın yüzey boyunca büyür (Şekil 2.2.l-m). Bu hızlı süpürme, gerilimin yarı periyodunda olur ve gözle takibi mümkün değildir.

Arkın yüzey boyunca yayılma hızı değişik tekniklerle ölçülmüştür. Şekil 2.3, atlama gelişiminin son safhasının tipik bir eğrisini verir. Tablo 2.2 'deki 4,5a ve 5b safhaları kolayca görülebilir. Ark boyundaki ani artış 5a 'dan 5b 'ye geçişin işaretidir. İzolasyon seviyesini çok hızlı düşüren, bu son geçiş safhasıdır.



Şekil 2.3. Ark büyümesinin değişik safhalarında ark hızı



Bu işlem aşağıda açıklanmıştır :

Şekil 2.4, başlangıçta homojen kirle kaplı olan, daha sonra kuru band oluşup ark ile köprülenen düz bir yüzeyde tutuşan arkın idealize edilmiş bir modelidir. Birçok araştırmacı bu modeli farklı yaklaşımlarla kullanıp, aynı sonuçlara ulaşmışlardır.

Yapılan kabuller şunlardır :

1- Ark uzunluğu kuru band uzunluğuna ( $L_a$ ) eşittir.

2- Kir direnci  $R$ , sadece yüzey tabakasının arksız kısmının bir fonksiyonudur. Yani,  $R=R(L_a)$  ve  $(\partial R/\partial L_a) < 0$  dir.

3- İncelemenin çok kısa bir zaman aralığında yapıldığı kabulüyle tabakanın ısınması ve nem değişimi ihmal edilmiştir.

4- Ark uçlarındaki düzensiz akım yoğunluğu dağılımının etkisi ihmal edilmiştir.

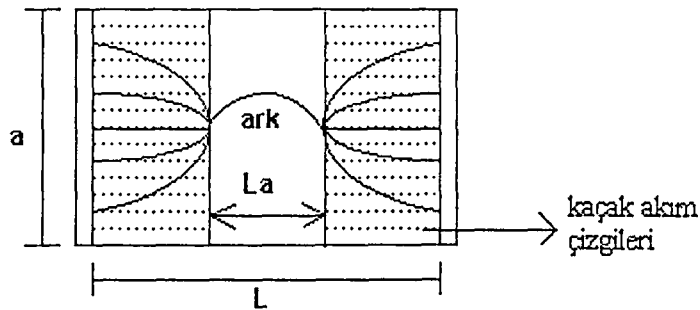
Uygulanan gerilim, tabaka ve ark arasında  $U= U_1+ U_a$  şeklinde bölünür.  $U_a=A.I^{-n}$  deneysel olarak tanımlandığından

$$U= I.R(L_a) + A.I^{-n} \quad (2.1)$$

olur.

$$R(L_a)= R_c(L - L_a) \quad (2.2)$$

şeklinde verilir. Bu bağıntı denk. (2.1) 'de yerine konulursa



Şekil 2.4. Bir kısmi ark deşarjı için ideal model



$$U = I.R_c(L - L_a) + A.I^n \quad (2.3)$$

olur.  $\rho$  yüzey tabakasının özdirenci ve  $b$  kir tabakasının eni olmak üzere;  $R_c = \rho/b$  dir.

Denk.(2.3) ile verilen fonksiyon, Şekil 2.5 'de şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde  $U_{L_a}$ ,  $L_a$  uzunluğundaki arkın üzerinde düşen gerilim;  $U_1$ ,  $(L-L_a)$  uzunluğundaki tabakada düşen gerilim;  $U_m$ , sabit bir  $L_a$  uzunluklu arkın devamı için gerekli minimum gerilim ve  $U$ , atlama gerilimidir.

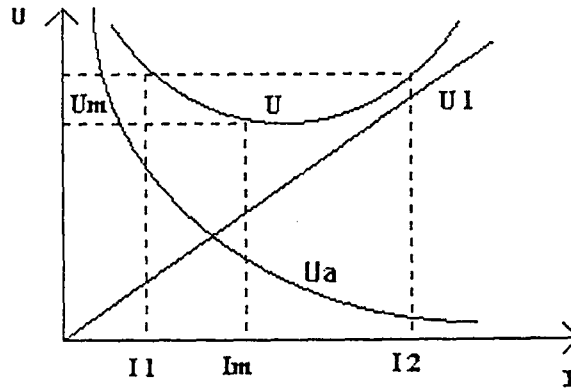
Uygulanan gerilim  $U_m$  değerinden aşağı düşerse ark söner. Bu minimum gerilim için böyle bir şartı gerçekleyen  $I_m$  akımı,  $U$  'nun  $I$  'ya göre türevini alıp sifıra eşitleyerek bulunabilir.

$$I_m = \left[ \frac{A.n.L_a}{R_c(L - L_a)} \right]^{\frac{1}{1+n}} \quad (2.4)$$

$I_m$  'nin bu değeri denk.(2.3) 'de yazılarak,

$$U_m = (1+n) (A.L_a)^{1/n+1} [R_c(L - L_a)/n]^{n/1+n} \quad (2.5)$$

elde edilir. Rizk tamamen farklı yaklaşımlar kullanarak aynı sonuca ulaşmıştır. Yaklaşımlardan biri enerji dengesi denkleminin çözümü, diğeri de boyut analizi üzerine kuruludur.



Şekil 2.5. İdeal modelin gerilim eğrileri



Ark büyümesiyle ilgili olarak Boylett ve Maclean, su banyoları kullanarak deşarj yayılımını incelemiştir. Deneylem aşağıdaki önemli ayrıntıları göstermiştir.

a- Arkın kir tabakasına bir tek bağlantı yaptığını varsayan basit kabul doğru değildir. Her iki polarite için de yüzey ve ark arasında birkaç temas vardır.

b- Büyümenin hem şekli ve hem de hızı polariteye çok bağlıdır. Verilen başlangıç şartları için hız, pozitif polarite durumunda yaklaşık 10 kat fazladır.

c- Pozitif deşarj dar ve birkaç dallıdır. Negatif deşarj ise geniş ve basittir.

d- Deşarj içerisinde alan şiddeti ilerleyen uca doğru artar.

e- Yüzey tabakasının direnci arttıkça hız azalır.

#### 2.4. Atlama Denklemi

Eksenel simetrik bir izolatörün,  $\sigma$  özel iletkenliğine ve  $h$  kalınlığına sahip homojen bir kir tabakası ile kaplanması durumunda  $\sigma_s$  yüzeyel iletkenliği

$$\sigma_s = \sigma \cdot h \quad (2.6)$$

ve yüzey özdirenci

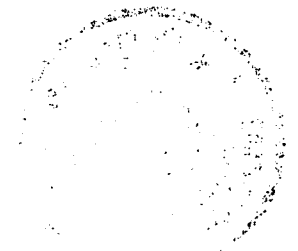
$$\rho_s = \frac{\rho}{h} \quad (2.7)$$

ile verilmiştir.

Yüzeyel iletkenlik  $\sigma_s$ , doyma iletkenliği  $G_0$  ve izolatörün form faktörü  $F$  yardımı ile de hesaplanabilir.

$$\sigma_s = G_0 \cdot F \quad (2.8)$$

Form faktörü  $F$ , izolatör boyutlarına bağlı, aşağıdaki formül yardımı ile grafik veya nümerik yöntemlerle bulunur.



$$F = \int_0^L \frac{dl}{\pi \cdot D(l)} \quad (2.9)$$

Burada L toplam sızma boyunu, dl sızma yüzeyi boyunca uzunluk elemanını, D(l) dl 'ye tekabül eden izolator çapını göstermektedir.

Bu durumda kir tabakasının direnci

$$R = \rho_s \cdot F \quad (2.10)$$

ile bulunur.

Bir izolator üzerindeki kir tabakasının yüzeysel iletkenliği düzensiz olabilir. Böyle bir izolatöre bir V gerilimi uygulandığında izolator yüzeyinden bir kaçak sızma akımı akacaktır. Eğer izolator, görülebilir yüzey iletkenliğine ( $\sigma_{sa}$ ) eşit olan sabit bir yüzey iletkenliğine sahip düzensiz bir kir tabakası ile kaplanmışsa aynı kaçak akım akacaktır. Görülebilir yüzey iletkenliği

$$\sigma_{sa} = \frac{F}{V} \quad (2.11)$$

ile bulunur.

Nümerik yöntemler kullanılarak, kuru band oluşumundan hemen önceki yüzeysel iletkenlik dağılımı ve görülebilir yüzeysel iletkenlik değerleri, tuz tortusu yoğunluğu, kir tabakasının kalınlığı, izolator geometrisi ve muhtemel sıcaklık dağılımı bulunabilir (Bendapudi, 1988).

Analitik çalışmalarda atlama problemi, çoğunlukla Şekil 2.4 'de gösterildiği gibi homojen kirle kaplı iki elektrotlu düzlemsel bir model üzerinde, bir doğru boyunca yayılan bir veya çok sayıda deşarjla temsil edilir. Uygulanan gerilim V, deşarjlar boyunca toplam gerilim düşümü  $V_a = A \cdot X \cdot I^n + V_e$ , deşarjlara seri kir bölgesinde gerilim düşümü  $V_R = I \cdot R$  ise

$$V = A \cdot X \cdot I^n + V_e + I \cdot R = f(I, X) \quad (2.12)$$

yazılabilir. Bu bağıntıya "atlama denklemi" denir.





Burada X toplam deşarj boyunu, I akımı,  $V_c$  elektrotların gerilim düşümünü (sabit), A ve n sabitler olmak üzere  $A.I^n$  deşarj gerilim gradyanını göstermektedir. A ve n katsayılarının değerleri deşarjın tutuştuğu ortama bağlıdır. İzolatör yüzeylerinde oluşan deşarjların hava ortamında tutuştuğu dikkate alınarak,  $A.I^n$  deşarj gerilim gradyanı V/cm olmak üzere, A=63 ve n=0.76 alınmaktadır. R deşarjlara seri toplam kir direncini göstermektedir. R için uygun bir bağıntının bulunması analitik hesaplamalarda karşılaşılan zorluklardan biridir (Rumeli, 1979).

## 2.5. Nemin Atlama Olayına Etkisi

Yüksek gerilim izolatörlerinde ve boşlukta nemin atlama olayına etkisi çok önemli bir konudur ve üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Atlama gerilimi; nem, çevre basıncı ve sıcaklığa bağlıdır. Atmosferik basınç ve sıcaklık, hava yoğunluğunu belirler. Hava yoğunluğu etkisinin fiziği iyi bilindiğinden, hava yoğunluğu düzeltme faktörü kullanılarak atlama gerilimi ile ilgili sonuçlar 760 mmHg ve 20 °C sıcaklığa indirgenebilir.

Şimdiye kadar nemin atlama üzerindeki etkisini gösterebilen doğru bir fiziksel model geliştirilememiştir. Bununla birlikte bazı amprik yöntemlerle birkaç düzeltme faktörü türetilmiş ve halen kullanılmaktadır. Fakat tam bir kesinlik ve değişik laboratuvarlarda elde edilen sonuçlar arasında uyum yoktur.

Atlama gerilimi seviyesi yükseldikçe nemin etkisi azalır. Laboratuvar çalışmalarında nem etkisinin polariteye göre değişmediği de görülmüştür. J.C.Zheng ve Y.M.Yang hava boşluğunda nemin atlamaya olan etkisini araştırırken  $10 \text{ gr/m}^3$  nemde atlama geriliminde artış,  $20 \text{ gr/m}^3$  'e kadar sabit bir değer,  $20\text{-}25 \text{ gr/m}^3$  arasında önemsiz bir azalış tesbit etmişlerdir.

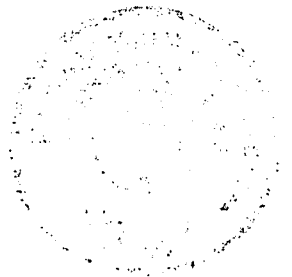
Sheshagiri (1989), nemin atlama gerilimleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla 11-400 kV ve 11-33 kV 'luk izolatörler üzerinde yaptığı deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır.



%30 ile %90 arasında değişen bağıl nem miktarı, atlama geriliminde; 11 kV 'luk izolatörler için %25, 400 kV 'luk izolatörler için ise %10 civarında bir azalmaya sebep olur.

Atlama olayında hesaba katılan nem düzeltme faktörü nemin etkisini tam anlamıyla dikkate alamaz. Yüksek gerilimlerde, nem için bir düzeltme faktörünün hesaba katılması sonuçları çok fazla değistirmeyecektir.

İzolatörlerin atlama gerilimleri üzerinde nemin etkisini daha iyi bir şekilde dikkate alan matematiksel bir modelin geliştirilmesine çalışılmalıdır Sheshagiri (1989).



### 3. İZOLATÖR TESTLERİ

#### 3.1. Genel Bilgi

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

İzolatörler, deşarj ve atlamalar sonucu ortaya çıkan termik zorlanmalara, açık hava tesislerinde kar, buz ve rüzgarın neden olduğu mekanik kuvvetlere, kirlenme neticesi sis ve çığın sebep olduğu elektriki izolasyon zayıflamasına maruz kalırlar. Bu nedenle izolatörler üzerinde yapılacak testlerle bu özellikler bakımından yeterli nitelikte olduklarının tahkik edilmeleri gerekmektedir.

Yüksek gerilim enerji nakil sistemlerinin arızalara ve ekonomik kayıplara sebep olmadan emniyetle çalışabilmeleri için uygun bir izolatör koordinasyonuna sahip olmaları gerekir. İzolatör koordinasyonunu planlayan mühendisler bölgelerinin atmosferik şartlarına en elverişli izolatör tipini seçmek isterler. Bunun için de bir izolatörün çeşitli şartlar altında nasıl bir davranış göstereceğinin önceden bilinmesi gerekir. Bu nedenle izolatör imalatçıları, imal ettikleri izolatörleri satışa arzetmeden önce çeşitli testlere tabi tutarlar.

İzolatör testleri çeşitli ülkeler ve milletlerarası kuruluşlarca kabul edilen standartlarda tarif edilmişlerdir. Muhtelif standartlarla farklı ve benzer şekilde tesbit edilmiş olan bu testlerin ortak amacı, izolatörün servis şartlarında karşılaşacağı elektrikselsel, mekanik, termik vb. zorlanmaları en iyi şekilde laboratuvarlarda temsil edebilmektir.

İzolatörler üzerinde yapılan standart testler imalat ve kalite kontrol vazifesi yanında yeni tiplerin geliştirilmesine de yardımcı olmaktadır. Böylece izolatör alıcısı ile imalatçısı arasında bir anlaşma ortamı da sağlanmış olur.

İzolatörler üzerinde genellikle aşağıda açıklanan standart muayene ve testler yapılmaktadır. Ancak bu testler çeşitli standartlarda ve genellikle farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır.



### 3.2. Gözle muayene

Bu muayene, izolator imalatının tamamlanmasından ve demirlerinin takılmasından sonra yapılır. Pişirme sırasında izolatorlerin oturduğu kısımlar dışındaki porselen yüzeylerin kaygan, sert, sırlanmış ve çatlak olup olmadığı, herhangi bir alet kullanılmadan gözle 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  $n/2 \text{ cm}^2$  'den en büyük olanını geçmemelidir. Burada d en büyük siperin cm cinsinden çapı ve n siperlerin sayısıdır. Sırlama hatalarından hiçbirinin alanı  $0.5 \text{ cm}^2$  'yi geçmemelidir.

### 3.3. Yüksek Gerilim İzolator Testleri

#### 3.3.1. İmalat testleri

##### 3.3.1.1. 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 1 dakika süre ile uygulanır.

##### 3.3.1.2. Yüksek frekans testi

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



### 3.3.1.3. Şebeke frekanslı test

Bu testte 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. Gerilim kap ile izolatörün tesbit yuvasının hemen hemen tepesine kadar doldurulmuş olan su arasına uygulanır. Porselenin elektriksel dayanımını azaltmamak kaydıyla, su yerine metal elektrodlar da 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.

### 3.3.2. Tip Testleri

Tip testlerinin amacı; izolatörün şekil, büyüklük ve teçhizatının özelliklerini tesbit etmektir.

Her tip izolatör 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 bir kaçını, testler için yeter sayıda numuneler üzerinde yapmış ve standartlara uygun sonuçlar elde etmiş olmalıdır.

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

Tip testleri için numuneler; birinci grup, ikinci grup ve tekrarlanacak testlere ait ve ayrı ayrı olmak üzere üç şekilde alınır.

Birinci grup tip testleri için; izolatör partilerinin yalnız bir tanesinden, bu partideki izolatörlerin %0.15 'i oranında ve en az 12 numune gelişigüzel ayrılır. Bu numunelerden

boyutların doğrulanması testinde uygun sonuç veren 4 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, en az 12 numune gelişigüzel 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 ilk alınan numunenin iki katı kadar yeni numune alınır. Bu testlerde yine bir numune uygun sonuç vermezse, 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.

### 3.3.2.1. Birinci grup testler

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

Bazı standartlarda bu gruba dahil edilen, izolatörün korona durumunu, radyo ve televizyon parazitlerine neden olup olmadığını anlamaya yarayan "görülebilir deşarj testi", karanlıkta ve izolatör tipine göre standartlarda belirtilen gerilim altında ve sürelerde yapılır.

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

Birinci yöntemde, zincir izolatörlerden taşıyıcı izolatör zincirleri normal çalışma şartlarına uygun olarak metal parça ve kısımları takıldıktan sonra metal bir konsola düşey durumda asılır. Konsol, izolatör zincir boyunun en az 1.5 katı ve zincir ekseninden her iki tarafta bir metreden az olmayan uzunlukta bulunmalıdır. Başka bir cisim, izolatör zincirine bir metreden az olmamak kaydıyla izolatör boyunun 1.5 katı

kadar bir mesafeden daha yakında olmamalıdır. Zincirin kullanılacağı işletmedeki iletken çapına yakın çaptaki bir iletken, yatay düzlemde ve ekseni konsol ile  $90^0$ 'lik bir açı yapacak şekilde tesbit edilir. Bu iletken, en az izolatör zincir uzunluğunun 1.5 katı boyunda olmalı ve zincir ekseninden her iki tarafa en az birer metre uzanmalıdır. İletkenin uçlarından konsola atlama olmaması için gerekli tedbirler alınmış olmalıdır. Bu durumda test gerilimi iletken ile konsol arasına uygulanır.

Zincir izolatörlerden 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 bağlanır. Diğer ucundaki iletken bağlama klemensindeki iletken 1000 kg 'lık bir çekme kuvveti uygulanarak izolatör zinciri yatay konuma getirilir. Klemense bağlanan iletkenin çapı 10 mm 'den daha küçük olmamak üzere işletmedeki iletken çapına yakın olmalı ve uzunluğu, zincir uzunluğunun en az 1.5 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 konsola tesbit olunur. Sonra izolatörün iletken yuvasına, çapı 5mm 'den 10 mm 'ye kadar olan bir iletken yerleştirilir. Bu iletken, 1 mm çapında ve iletkenin üzerine izolatör üst çapının iki katı uzunluğunda sarılan yuvarlak bir bakır tel ile izolatöre bağlanır. İzolatör yuvasına yerleştirilen iletken mümkün olduğu kadar yatay konumda olmalı ve konsol ile  $90^0$  'lik bir açı yapmalıdır. Test gerilimi iletken ile toprak arasına uygulanır.

İkinci yöntemde, zincir izolatörü ve izolatör zincirleri mesnetlerine düşey olarak en az bir metre uzunluğunda topraklanmış tel halat veya uygun bir iletkenle asılır. İzolatör zincirine başka cisimlerin uzaklığı, bir metreden az olmamak üzere zincir boyunun 1.5 katından daha yakın olmamalıdır. İzolatör zincirinin iletken bağlanacak tarafına yatay düzlemde tesbit olunacak boru veya çubuk şeklindeki iletkenin üst yüzeyinden alt izolatörün en yakın kenarına kadar olan mesafe, alt izolatör çapının %50 'si ile %70 'i arasında olmalıdır. İletkenin çapı kuruda ark mesafesinin %1.5 'i civarında ve en az 25 mm olmalıdır. İletken uzunluğu, izolatör veya zincir boyunun 1.5 katından küçük olmamak üzere, izolatör ekseninden her iki tarafa en az birer metre uzanmalıdır.



İletkenin uçlarından herhangi bir atlama olmaması için gerekli tedbirler alınmalıdır. Test gerilimi iletken ile toprak arasına uygulanır.

Mesnet izolatörleri, düşey durumda ve topraktan en az bir metre yüksekte bulunmak üzere topraklanmış olmalıdır. İzolatör tesbit demirine takıldıktan sonra izolatörün iletken yuvasına, çapı 5 mm 'den küçük olmayan ve izolatör ekseninden her iki tarafa izolatör boyunun en az iki katı kadar uzanan 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.

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

Tablo 3.1. Hava Yoğunluğu Düzeltme Katsayısı

<u>Nisbi Hava Yoğunluğu (d)</u>	<u>Düzeltme Katsayısı (k)</u>
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

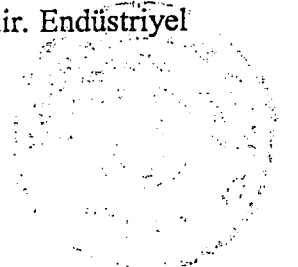


Test, tercihen normal rutubetli (beher m<sup>3</sup> havada 11 gram su) atmosferde yapılmalıdır. Bunun mümkün olmadığı hallerde rutubet düzeltme katsayısı hesaba katılmalıdır. Rutubet düzeltme katsayısı bütün izolatör tiplerine uygulanmak üzere tek bir eğri ile gösterilemez. Çünkü bir izolatörün biçim ve büyüklüğü ile de değişmektedir.

Test sırasında ölçülen mutlak rutubet, normal değerinden (beher m<sup>3</sup> havada 11 gram su) farklı ise, bu eğrilerde gösterilen düzeltme katsayıları ile atlama gerilimleri çarpılarak normal rutubet şartına irca olunur. 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 sadece havanın nisbi rutubeti %95 'i geçmediği hallerde uygulanır. Nisbi rutubet %95 'in üstünde ise, test mahali ısıtılmak, havalandırılmak suretiyle veya başka uygun bir yöntem ile, bu değer %95 'in altına düşürülmesi yoluna gidilir.

İzolator zinciri, zincir izolatörü veya mesnet izolatörü 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 artırılır. Bu değer en az 20 darbe uygulanarak doğrulanır. Gerilim ölçüldükten sonra polarite değiştirilerek yukarıdaki işlem tekrarlanır. İzolatörler bu teste, delinme veya kırılma gibi herhangi bir hasar göstermeden dayanabilmelidir. %50 atlama geriliminin standart atmosfer şartlarına irca olunan pozitif ve negatif polarite değerlerinin, beyan edilen değerlerinin altında olup olmadığına bakılır.

b) 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 'den fazla fark göstermeyen başka bir yöntemle 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 (beher m<sup>3</sup> havada 11 gram su) şartlarındaki atmosferde yapılmalıdır. Rutubet şartları değişik bulunduğu takdirde, normal değere irca edilmelidir. 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 olmalıdır. İzolatörün kısa devre durumunda, devreden geçecek akımın ölçülmesi sırasında devrelerdeki cihazların tahrip olma tehlikesinin bulunduğu hallerde, transformatörün baştaki maksimum geriliminin 1/10 'undan az olmayan düşük gerilimler ile ölçüler yapılarak enterpolasyon yoluyla bu akımın tesbiti mümkündür.

c) 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 ve 10 saniyeden az olmayan bir süre içerisinde bu gerilim test gerilimi değerine yükseltilir. Bu değerdeki test gerilimi bir dakika süre ile izolatöre uygulanır. İzolatörde herhangi bir atlama meydana gelmemelidir.

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

d) Yaşta bir dakikalık test : İzolatör zinciri, zincir izolatörü veya mesnet izolatörü düzeltilmiş test gerilimi altında, gerilim uygulanmasından önce 5 dakika süre ile ve teste başladıktan sonra test süresince aşağıda özellikleri gösterilen suni yağmur altında bırakılarak yaşta bir dakikalık şebeke frekanslı testten geçirilir.

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

Suyun doğrultusu: Düşey ile yaklaşık  $45^{\circ}$  açı

Suyun özdirenci: 10000 ohm-cm  $\pm$  %10

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

10000 ohm-cm  $\pm$  %10 özdirencinde su elde etmek için saf su veya yağmur suyuna bir miktar musluk suyu karıştırılır. Her iki suyun da 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 tütün d (cm) iç çapına eşit ve aralarındaki mesafe a (cm) olan iki elektrodu bulunan taksimatlı bir tüp kullanılır. Tütün d çapı ile elektrodlar arasındaki a mesafesini birbirine bağlayan formül  $a = \pi \cdot d^2 / 4$  'dür. Bu şartlara uygun tüp içindeki a (cm) su sütununun ohm cinsinden direncinin rakam olarak bulunan değeri, ohm-cm cinsinden özdirence eşit olmaktadır.

Suni yağmur izolatörden en az 3,5 m uzaklığa yerleştirilen ve suyu izolatörün üzerine yağdıran püskürtücüler yardımı ile sağlanır. Suni 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, bu işlem izolatörün her iki uç noktası için de yapılmalıdır. Bu üç ölçünün ortalaması anma yağmur şiddetine göre %10 'dan fazla fark göstermemeli ve ölçülen değerlerden hiçbirisi ortalama değerden %25 'den fazla farklı olmamalıdır.

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 bir dakika süre ile izolatöre uygulanır.

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

Bu test yöntemi bölüm 3.4.1.1. 'de detaylı olarak anlatılmıştır.

### 3.3.2.2. İkinci grup testler

İmalat testlerinde olumlu sonuç alınan izolatörlerden 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 izolatörlerinden alınan numune grubu birbirine yakın eşitlikte üç kısma bölünür. Bunların hepsine boyutların doğrulanması, sıcaklık 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 izolatörlerinden 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.

a) Boyutların doğrulanması : Gerekli ölçü aletleri ile izolatör numuneleri boyutlarının ait oldukları imalat resimlerindeki boyutlara uyup uymadıkları kontrol edilir. Boyutların toleransı  $\pm (0,03.d+0,3)$  mm 'yi geçmemelidir. Burada d izolatörün mm cinsinden boyutlarıdır.

b) Sıcaklık değişimi testi : Zincir izolatörleri sabit metal kısımları ile birlikte, mesnet izolatörleri ise iletkeniz ve tesbit demirsiz olarak, musluk suyu sıcaklığından  $70^{\circ}\text{C}$  daha fazla bir sıcaklıktaki su banyosuna, başka bir ara kap kullanılmaksızın hızla tamamen daldırılır ve T dakika süre ile bu suyun içinde bekletilir. Bundan sonra hızla çıkarılan izolatör bekletilmeden, içinde musluk suyu bulunan soğuk banyoya tamamen daldırılır, yine T dakika bekletilir. Burada  $T=(15+0,7 m)$  dakika olup m izolatörün kg cinsinden ağırlığıdır.

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

İzolatörler, 5. defa soğuk banyodan çıkarıldıktan sonra muayene edilerek çatlamadıkları ve sırlarında herhangi bir bozulma olmadığı tesbit edilmelidir. Bundan sonra massif çekirdekli olmayan izolatörlere imalat testlerinden endüstriyel frekans testi, massif çekirdekli izolatörlere ise mekanik test uygulanır. İzolatörler, porseleni veya sırtı



çatlamadan, delinme olmadan ve mekanik kırılma meydana gelmeden bu testlere dayanmalıdır.

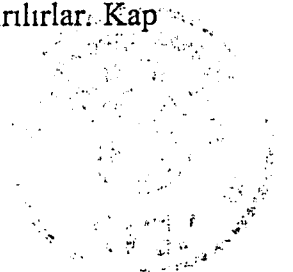
c) 24 saatlik mekanik dayanıklılık testi : Bu test sadece zincir izolatörlerine uygulanır. İzolatörler 24 saat süre ile eksenlerine uygulanan "24 saatlik beyan edilen mekanik test yükü" ne eşit bir gerilme yüküne tabi tutulur. Bu testten sonra izolatörler, bir dakika süre ile imalat testlerinden, endüstriyel frekans testine delinmeden ve kırılmadan dayanabilmelidir.

d) Kısa süreli elektromekanik kırılma yükü testi : Bu test sadece zincir izolatörlere uygulanır. İzolatörlerin 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, izolatörde hasar veya kırılma meydana gelinceye kadar artırılır. Beyan edilen yükten daha aşağı bir değerde delinme veya kırılma meydana gelmemelidir.

e) Mekanik kırılma yükü 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 yükü, 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, 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 oluncaya kadar artırılır. Beyan edilen mekanik kırılma yükünden aşağı bir değerde kırılma meydana gelmemelidir.

f) Şebeke frekanslı delinme testi : İzolatörler temizlenip kurutulduktan sonra, atlamayı önleyecek uygun bir yalıtkan madde ile dolu kabın içerisine tamamen daldırılırlar. Kap



metal ise, bu kabın boyutları, izolatörün herhangi bir parçası ile kabın yan yüzeyleri arasındaki en kısa mesafe, izolatörün en büyük siper çapının 1.5 katından az olmayacak büyüklükte seçilmelidir.

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.

g) 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 uygulanmalı ve bu test sırasında izolatör delinmemelidir.

h) Gözeneklilik (porozite) testi : İzolatör kırıkları, 1 gram fuksin 'in 100 gram etil alkoldeki çözeltisinde en az  $150 \text{ kgf/cm}^2$  basınç altında ve test basıncı ile saat olarak bekletilme süresi çarpımı 1800 'den az olmamak üzere hesaplanacak süre kadar 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.

i) Galvanizlenme niteliği testi : İzolatörlerin metal kısımları benzin veya diğer uygun yağ eriticilerine daldırılarak temizlenir, temiz ve yumuşak bir bezle kurulanır. Sonra %2 sülfürik asit çözeltisine daldırılarak 15 saniye bekletilir. Bu metal parçalar temiz su ile iyice yıkanıp, yumuşak bir bezle kurulanır.

Bundan sonra her metal parça, filtre edilmiş ve yoğunluğu  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  'de  $1,170 \pm 0,01$  olan bakır sülfat çözeltisine 4 defa birer dakika süreyle tamamen daldırılır. Test sırasında bakır sülfat çözeltisinin sıcaklığı  $18 \text{ }^{\circ}\text{C}$  'den aşağı düşmemeli ve  $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$  'den yukarı çıkmamalıdır. Bu testte çözelti ve metal parçalar hareket ettirilmemelidir. Bakır



sülfat çözeltisi, 35 gram bakır sülfat kristalinin 100 cm<sup>3</sup> saf suda çözülmesi suretiyle hazırlanır. Çözeltinin nötrleştirilmesi için, beher litreye 1 gram bakır karbonat veya bakır hidrat ya da siyah bakır oksit ilave edilir.

Galvanizlenme niteliği testine tabi tutulacak yüzeyin beher cm<sup>2</sup> 'si için en az 6 cm<sup>3</sup> çözelti bulundurulmalıdır. Numunenin herhangi bir parçası ile kabın yan yüzeyleri arasındaki en kısa mesafe 2,5 cm 'den az olmamalıdır. Her daldırıştan sonra numune yıkanmalı ve akar su altında fırçalanmalıdır. Son daldırış hariç olmak üzere dikkatlice kurulan bu parçalar çözeltiye tekrar batırılmalıdır. Dördüncü daldırıştan sonra deney parçaları yüzeyine yapışmış ve akar su altında fırça ile giderilmeyen kırmızı metal bakır kalıntıları bulunmamalıdır. Üçüncü veya dördüncü daldırışlardan sonra keskin açılarda görülebilecek kalıntılar dikkate alınmaz.

### 3.3.2.3. 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.

"Anma gerilimi 1000 V 'tan daha yukarı olan 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. Oysa işletmedeki izolatörlerin güvenilirliği açısından birinci derecede önemi 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 değişimiyle birlikte yürütölen mekanik bir testi de kapsamaktadır.

a) 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 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 çevrim 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 çevrime başlamadan önce uygulanır.

Aksi söz konusu olmadıkça, 24 saatlik ısıl çevrim; 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 herbirini en az 4 saat süreyle sağlayabilmelidir. Sonuncu ısıtma işlemi dışında, her ısıtma işlemi sonuna doğru gerilme yükü tümüyle sıfırlanır ve yeniden uygulanır. Dördüncü 24 saatlik çevrimin tamamlanmasından ve sıcaklığın oda sıcaklığına düşmesinden sonra gerilme yükü sıfırlanır. Bu yükün sıfırlanmasından sonra, aynı gün izolatörler üzerinde tek tek 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.

b) Mekanik dayanıklılık testi : Bu test, IEC standardından kaldırılmış olan 24 saatlik mekanik test yerine geçmek üzere ve numune testi taleplerini karşılamak amacıyla daha basit bir dayanıklılık testi olarak eklenmiştir. Önemli imalat hataları sözkonusu 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 izolatörün 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; izolatör elemanlarına beyan edilen elektromekanik veya mekanik kırılma yükünün %60 'ına eşit bir gerilme yükü uygulanır. Aksi sözkonusu olmadıkça gerilme yükü ani olarak dört defa arka arkaya uygulanır ve sıfırlanır. Aynı gün yükleme ve yük sıfırlama işleminden sonra izolatörler 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 izolatörlerin dayanıklılığı karara bağlanır (Ulusoy, 1993).

### 3.4. Kir Altında Yüksek Gerilim İzolatör Test Yöntemleri

Kirli şartlar altında izolatör davranışını en iyi şekilde ölçmeyi sağlayacak çeşitli test yöntemlerinin geliştirilmesine çeşitli ülkelerde yıllardan beri çalışılmaktadır. Kullanılmakta olan izolatör kirli test yöntemleri "suni" ve "tabii" olarak ikiye ayrılabilir.

#### 3.4.1. Suni kir kaplama test yöntemleri

Laboratuvar testleri olarak da bilinen bu testlerin başlıca faydaları ucuz, çabuk ve tekrarlanabilir olmalarıdır. Dezavantajları ise servis şartlarının laboratuvarlarda yeterince temsil edilemeyişi ve test geriliminin bazı hallerde servis geriliminden farklı olmasıdır. Suni test yöntemlerinin başlıcaları aşağıda incelenmiştir.

##### 3.4.1.1. 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 standartlara uygun şekilde servis şartlarına en uygun tarzda düzenlenir. Bu şekilde düzenlenen izolatöre homojen tarzda ince yağmur püskürtülür. Düşey zincir halinde püskürtme  $45^0$  'lik açı altında, yatay zincir halinde püskürtme düşey doğrultuda yapılır (Şekil 3.1).

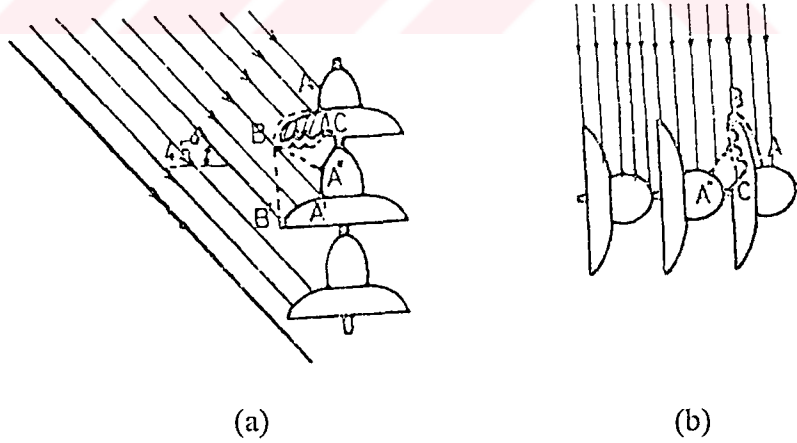
Atlama gerilimi ve deşarjın yüzey boyunca gelişmesi, yağmurun şiddetine, iletkenliğine ve izolatörün boyut ve konumuna bağlıdır. Düşey zincirde şemsiyeden



akan su iplikçikleri nedeniyle deşarj BB' yolunu takip edebilir. Yağmur suyu iletkenliği artınca deşarj ABC boyunca yayılmaya çalışır.

Aynı izolatör zinciri yatay konumda teste tabi tutulursa farklı davranış gösterir. Bu durumda izolatörün şemsiye altındaki kısımları düşey konuma göre daha kolay ıslanır ve deşarj ABC yolunu takibe meyleder. Yağmur iplikçikleri etekler arasını birleştireceğinden deşarj şemsiye altındaki oyuklardan çok etekler arasında havadan su iplikçiklerini takip eder (Şekil 3.1.b).

Yağmur testi ile izolatörün kirli şartlar altında davranışı ölçülmek istenir. Ancak bu test pratikteki şartları yeterince temsil edemez. Servis şartlarındaki bir izolatör yüzeyinde biriken kir tabakasının dağılımı ve karakteristikleri, yağmur altında izolatör yüzeyinde oluşan iletken elektrolitik tabakanın dağılımı ve özelliklerinden çok farklıdır. İzolatör, yüzeyinde açığa çıkan ısıyı uzaklaştırarak ıslak (iletken) tabakayı devamlı 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 bir çok izolatör tipinin işletme şartlarında tamamen ters sonuç gösterdiği tesbit edilmiştir. Bu nedenle şebeke frekansında yaşta atlama testinden vazgeçilmesi ve standartlardan çıkarılması fikri giderek yaygınlaşmaktadır.



Şekil 3.1. Yağmur altında izolatör testi



### 3.4.1.2. Kizelgur ve Metilen testleri

Kirlenme atlamalarının ciddi bir işletme problemi olarak belirmesi ve yağmur testinin tatminkar sonuç vermemesi karşısında araştırmacılar daha uygun test yöntemlerinin geliştirilmesine çalışmışlardır. Bu maksatla kurulan test merkezlerinde yapılan araştırmalar sonucu yeni yöntemler 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 testinde 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 iletkenliğe sahip (500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  'den az) su ile iyice çalkalanır. Temizlenmiş izolatör önce 60-80  $^{\circ}\text{C}$  'ye kadar ısıtılır. Bu tarzda hazırlanan suni kir gayet ince (atomize) hale getirici püskürtücülerle ısıtılmış izolatör yüzeyine homojen halde püskürtülür. Yüzey sıcak olduğundan püskürtülen suni kir kısa zamanda kuruyarak izolatör yüzeyini kuru bir tabaka halinde kaplar. Kir tabakasının kalınlığı kolayca ayarlanabilir. Homojen bir kir kaplama temini için izolatörün simetri eksenini boyunca döndürülmesi tavsiye edilir. Kuru kir tabakası ile kaplanmış izolatörün ıslatılması ve deneyin bundan sonraki safhası SSW ve SfH yöntemlerinde farklı şekilde yapılmaktadır.

SSW yönteminde kuru kir tabakası ile kaplanmış izolatör 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,  $G_0$  tesbit edilir. Doyma iletkenliğine erişme süresi 15 dakikadan az olmamalıdır. Kir tabakasının ısıtılması buharla veya su püskürtülerek yapılabilir. Doyma iletkenliğine varıldıktan

sonra dayanma gerilimine yakın değerde Şebeke frekanslı sinüsoidal bir gerilim izolatöre aniden tatbik edilir.

SfH yönteminde ise nominal gerilim 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 süresince test gerilimi ve akım, kaydedicilerle (osiloskop vb.) kaydedilmelidir. Bu tarzda verilen bir doyma iletkenliği için dayanım gerilimi (atlama yapmayan maksimum gerilim) tesbit edilir. Hazırlanmış bir izolator üzerindeki kir tabakası yenilenmeden, ıslatma yenilerek deney en fazla 4 defa tekrarlanabilir. 4 defa da atlama olmazsa izolator temizlenir ve yeniden kir tabakası ile kaplanır. Deney farklı doyma iletkenlikleri için tekrarlanır.

AEG tarafından geliştirilen ve "Metilen Yöntemi" denen bir yöntemde suni kir 1 litre damıtık su, 30 gram metil selülöz, 25 gram tebeşir tozu katılarak yapılır. Karışım iki gün bekletilmelidir. Tebeşir tozu solüsyona renk vermek, tuz iletkenlik sağlamak içindir. İzolator bu karışımla daldırma veya püskürtme yoluyla homojen olarak kaplanır. İstenen kir iletkenliği, tabaka kalınlığı ve tuz miktarı değiştirilerek kolayca sağlanır. Kizelgur yönteminin aksine izolator soğutma-ısıtma işlemine tabi tutulmaksızın seçilen deney gerilimi iletkenlik ölçüldükten sonra izolatöre tatbik edilir ve benzer tarzda dayanım gerilimi tayin edilir. Gerilim tatbikinden sonra en az 5 dakika beklenmeli ve her gerilim tatbikinden sonra izolator temizlenerek yeniden kirle kaplanmalıdır.

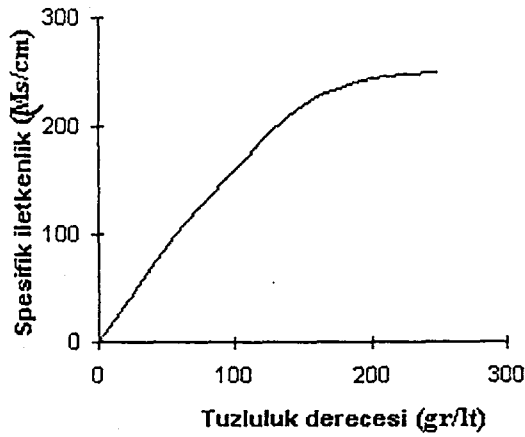
Kizelgur ve metilen testleri ile bulunan sonuçlar arasında uygunluk bulunmaktadır. Metilen yönteminin kizelgur yöntemine göre üstünlüğü, soğutma ve ısıtma gerektirmediğinden daha az ekipmanla daha çabuk ve kolay şekilde sonuç vermesidir. Ayrıca kirin izolatöre tatbiki ve temizlenmesi daha kolay olmakta ve püskürtme sırasında püskürtücülerde bir tıkanıklık olmamaktadır. Metilen yönteminde izolator kirle kaplandıktan sonra bekletilmeden teste tabi tutulmaktadır.



### 3.4.1.3. Tuzlu sis testi

Kizelgur veya diğeri suni kir kaplama yöntemleri endüstriyel bölgelerde kullanılacak izolatörlerin davranışlarını yeterli sayılabilecek şekilde tesbit edebildikleri halde, tuzlu deniz sisi etkisinde kalan sahil bölgelerinde kullanılacak izolatörlerin davranışlarını tatminkar olarak tesbit edememektedirler. Sahil bölgelerde atlamaya yol açan kirlenme durumu endüstriyel bölgelerden farklıdır. Endüstriyel bölgelerde izolatör yüzeyine biriken kir bileşimi çok çeşitlidir. Sahil bölgelerdeki kir bileşimi ise genellikle tuzdan ibarettir. Temiz bir izolatör sis veya bir fırtına anında denizden esen rüzgarın etkisiyle iletken tuz çözeltisi ile kaplanarak atlama yapabilir. Bu tür atlamaları laboratuvarında en iyi şekilde temsil etmek üzere tuzlu sis testi geliştirilmiştir.

Bu testte temizlenmiş izolatörler sis odasında servis şartlarındaki konumlarına en uygun tarzda düzenlenir. Sis odası tuzluluk derecesi bilinen sisle doldurulur. Teste tabi tutulan izolatörün yüzeysel iletkenliği kullanılan tuz çözeltisinin tuzluluk derecesi ile kabaca orantılı olur. Şekil 3.2 'de tuz çözeltisinin 20 °C 'de spesifik iletkenliğinin tuzluluk derecesi (birim hacimdeki tuz miktarı) ile değişimi görülmektedir. Bu eğri yardımıyla istenen iletkenlikteki çözelti kolayca hazırlanabilir. Test servis gerilimi altında yapılır. Deney bir saat sürer. Bu süre içinde atlama yapmayan maksimum tuzluluk derecesine "dayanım tuzluluk derecesi" denir ve bu izolatör davranışı için bir kriter olarak alınır. Bu test yardımı ile izolatörler birbirleri ile mukayese edilebilir ve iyilik derecelerine göre sınıflandırılabilirler.



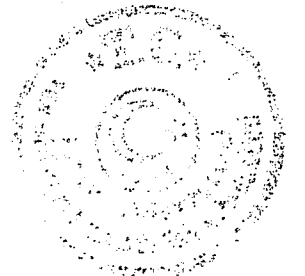
Şekil 3.2. Tuz çözeltisi iletkenliğinin tuzluluk derecesi ile değişimi

### 3.4.2. Tabii testler

Suni testler kolay ve çabuk sonuç vermelerine karşılık servis şartlarını laboratuvarında yeterince temsil edemezler. Suni testler altında başarılı davranışı tesbit edilen bir izolatör hakkında son karar servis şartları altında işleyişine bakılarak verilir. Bu nedenle esas kriter izolatörün belli bir sürede yapacağı atlama sayısıdır.

İzolatörün bir bölgedeki davranışını direkt olarak ölçmek ve daha emin bir sonuca varmak için tabii test yöntemleri geliştirilmiştir. Tabii testler suni testlerin geçerliliğini tesbit bakımından da gereklidir. Tabii testlerin başlıca faydası izolatör davranışının işletme şartları altında ve daha doğru olarak tesbitine imkan vermesidir. Mahzurları ise testin pahalı oluşu, uzun sürmesi, deney şartlarının tekrarlanamaması ve varılan sonuçların farklı atmosferik ve kirlenme şartlarına sahip başka bir bölgeye tatbik edilemeyeşidir.

Tabii testler uygulanırken; davranışı ölçülmek istenen izolatörler, seçilen bir bölgede, işletme gerilimi altında ve gerçek enerji nakil hatları üzerinde incelenmeye tabi tutulmaktadır. Belirli bir süre içinde meydana gelen atlama sayısı izolatörün iyilik derecesini tayinde esas kriter olarak alınmaktadır. Ayrıca meteorolojik durum, genliği belli değerleri aşan (25, 50 ve 150 mA) kaçak akım sayıları kaydedilir. Kaçak akım sayıları izolatör davranışını ölçmede yeterli bir kriter olmaktan ziyade, izolatörün kirlenme derecesini tayinde faydalı olmaktadır (Rumeli, 1972).



## 4. İZOLATÖR EŞDEĞER MODELLERİ

### 4.1. Genel Bilgi

Kirlenme atlamasıyla ilgili tüm çalışmaların ortak amacı; servis şartları altındaki izolatörlerde atlamayı önlemektir. Buna uygun olarak deneysel veya deneyle ispatlı matematiksel modellerle yapılan araştırmanın amacı;

- a) Verilen bir izolatörün farklı kirlilik şartlarında dielektrik dayanım şiddetini tayin etmek (mutlak performans)
- b) Verilen bir kirlilik derecesi için en iyi izolatörü seçmek (bağıl performans)
- c) İstenen performans için en iyi izolatör tasarımını optimize etmek

olmalıdır.

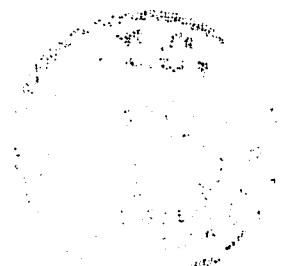
Servis şartlarındaki atlama mekanizmasının karmaşıklığı atlama olayı için matematiksel bir model çıkarılması işini açıkça imkansız kılar. Bu nedenle önerilen modellerde bazı ihmaller ve kabuller yapılması kaçınılmazdır (Haznadar, 1989).

### 4.2. Wilkins Modeli

Wilkins verilen bir izolatörü eşdeğer bir dikdörtgen modellerle temsil etmiştir. Bu modelin elde edilmesinde; izolatör ve model sızma uzunluklarının (elektrotlar arası en kısa uzunluk) ve yüzeyleri aynı iletkenlikli kirle homojen olarak kaplanan izolatör ve model terminalleri arasında ölçülen dirençlerin eşit olduğu kabulleri yapılmıştır. Sızma uzunluğu L olan ve yüzeyi  $\sigma_s$  yüzeysel iletkenlikli kirle homojen kaplı bir izolatörün terminalleri arasındaki kir direnci

$$R_{iz} = \frac{1}{\sigma_s} \int_0^L \frac{dl}{\pi \cdot D(l)}$$

(4.1)



dir. Burada  $dl$ , sızma boyunca uzunluk elemanı ve  $D(l)$ ,  $dl$  uzunluk elemanına tekabül eden izolator çapıdır. Sızma uzunluğu  $L$ , eni  $a$  olan ve yüzeyi  $\sigma_s$  yüzeysel iletkenlikli kirle homojen kaplı bir modelin terminalleri arasındaki kir direnci ise

$$R_{mo} = \frac{L}{\sigma_s \cdot a} \quad (4.2)$$

olur. Her iki direncin eşitliğinden, eşdeğer dikdörtgen modelin eni

$$a = \pi \cdot d_{eff} = \frac{\pi \cdot L}{\int_0^L \frac{dl}{D(l)}} \quad (4.3)$$

bulunur. Burada  $d_{eff}$ , efektif izolator çapıdır. Verilen bir izolator için kompleks şekil nedeniyle  $a$  'nın hesabı ancak nümerik yollarla yapılabilmektedir. Hesaplamalarda gözönüne alınan Wilkins modeli RW sembolü ile gösterilmiş ve hesaplanan model Şekil 4.1 'de çizilmiştir.

### 4.3. Rumeli Modeli

Bir izolatorün Bölüm 4.2 'de belirtilen şekilde bir dikdörtgen model yerine, boyu izolatorün sızma boyuna eşit ve eni

$$a(l) = \pi \cdot D(l) \quad (0 \leq l \leq L) \quad (4.4)$$

bağıntısına göre değişen eşdeğer düzlemsel bir model ile tespit edilmesi halinde, atlama olayında izolatorün fiziksel şeklinin gerçeğe daha uygun olacağı düşünülebilir. Rumeli tarafından ortaya atılan bu modeller AR sembolü ile gösterilmiştir (Şekil 4.1).





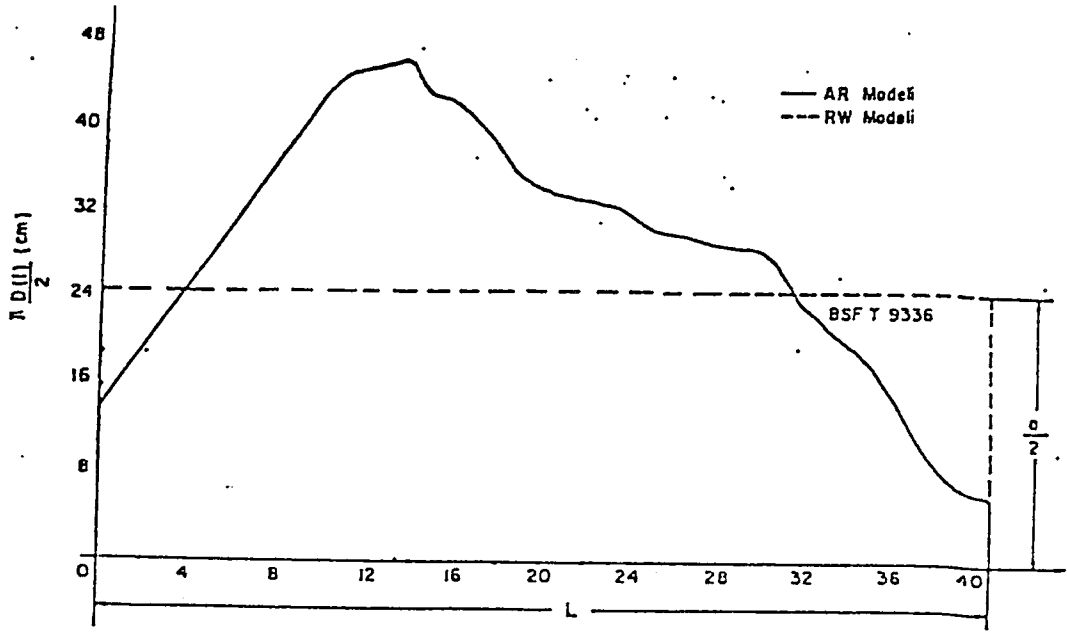
#### 4.4. Wilkins ve Rumeli Modellerinin Karşılaştırılması

RW ve AR model boyları, izolatörün sızma boyuna eşittir. Verilen bir izolatöre tekabül eden AR modeli tek ve belirli olup, fiziksel benzerlik esasına dayanır. Denk.(4.3) ve Şekil 4.1 'den görülebileceği gibi RW modelinin genişliği, L sızma boyunun  $a'(l)=(1/\pi.D(l))$  eğrisi altındaki S alanına bölünmesiyle bulunmaktadır. Bu durumda aynı sızma boyuna sahip sonsuz sayıda izolatör için aynı model kullanılmaktadır. Halbuki bunların her biri değişik atlama karakteristikleri gösterir. Bu nedenle RW modelinin geçerliliği tartışma konusudur.

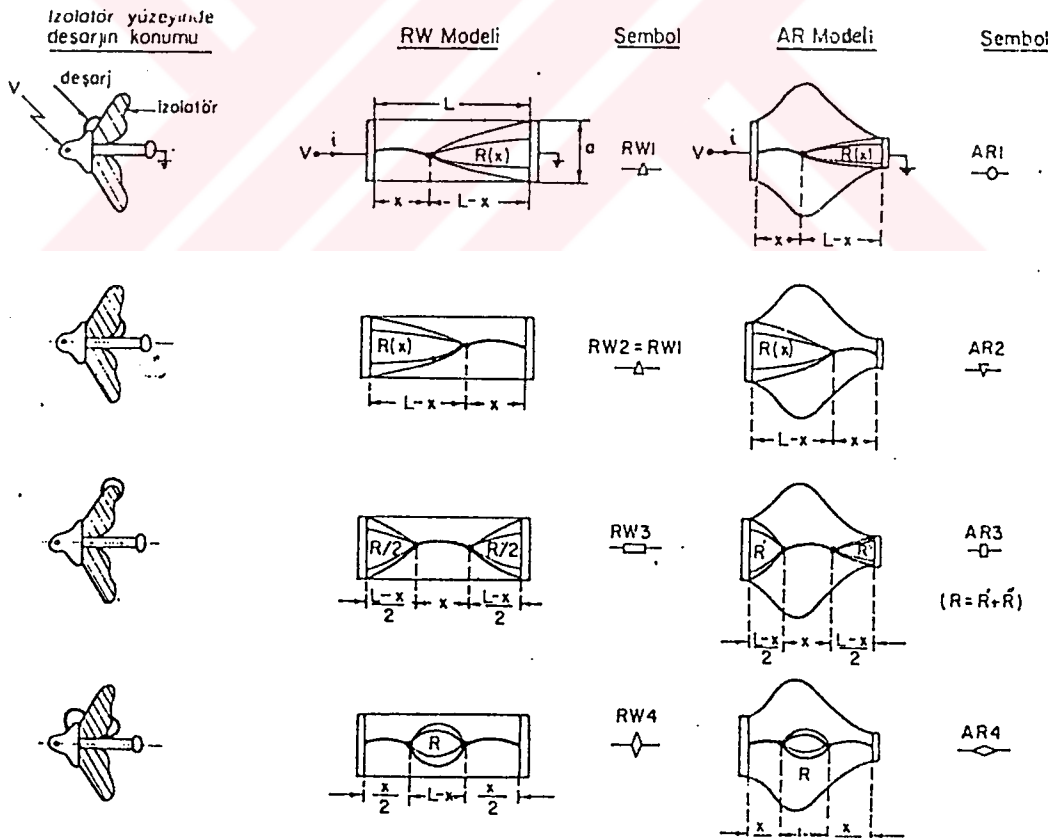
R(x) değişimi kirli yüzeydeki deşarjların sayısına ve yüzeydeki konumlarına da bağlıdır. Şekil 4.2, R(x) değişimlerinin bulunmasında ve dayanım gerilimlerinin hesaplanmasında gözönüne alınan durumları göstermektedir. Şekil 4.2-1 ile Şekil 4.2-2 bir kasket izolatörde deşarjın kapak ve sap civarlarında başlamasına tekabül eden RW ve AR modellerindeki durumları göstermektedir. Her iki durum için gerçekte, R(x) değişimlerinin farklı olacağı açıktır. Bu özellik RW modelinde dikkate alınamazken ( $RW1 = RW2$ ), AR modelinde dikkate alınabilmektedir. ( $AR1 \neq AR2$ ) Şekil 4.2-3 pratikte az rastlanan, deşarjın izolatörün şemsiye bölgesinden başlamasını ve Şekil 4.2-4 aynı anda kapak ve sap civarından başlama durumlarını göstermektedir.

RW modeli, izolatör ve model terminalleri arasındaki kir direncinin eşitliğini esas alırken AR modeli, izolatör yüzeyindeki kir tabakasını sıyrıp açarak düzlemsel hale getirme düşüncesine dayanmaktadır. Atlama olayında terminaller arası direnç eşitliği önemli olmayıp, izolatör ve modelde aynı bir deşarjın yayılması sırasında, seri kir bölgesinin direnç değişimi önemlidir. Bu değişim izolatörün şekliyle yakından ilgilidir. Dikdörtgen model, izolatör üzerinde deşarjın başlama noktasının atlamaya etkisini dikkate alamaz. RW modeli bu bakımdan da yeterli bir eşdeğerlik sağlayamaz. AR modeli, izolatörün fiziksel şeklini daha uygun bir biçimde dikkate aldığından, seri kir bölgesi direnç değişimlerinin benzerliği daha iyi bir şekilde korunmuş olacaktır (Rumeli, 1979).





Şekil 4.1. İzolator RW ve AR yarı modelleri



Şekil 4.2. Atlama oluşumu için değişik başlangıç noktaları



#### 4.5. Dairesel Şerit Model

Bendapudi (1988) tarafından sunulan bu modelde, uygun bir gerilim tatbik edilen kir tabakası ile bir çubuk elektrod arasındaki ve topraklanmış bir elektrod ile çubuk elektrod arasındaki hava aralığından geçerek oluşmuş bir deşarj ile  $\sigma_s$  yüzeysel iletkenliğinin düzenli kirlenmesinin dairesel bir şeridi dikkate alınmıştır (Şekil 4.3).

Hesaplamayı basitleştirmek için, dairesel şerit  $1/r_1$  faktörü ile küçültülmüştür. İç daire birim çemberdir ve deşarj kökü yarıçapı  $r_d/r_1$  'dir. Z düzlemindeki bu bölünmüş dairesel şerit  $Z' = \ln Z$  dönüşümü kullanılarak düz dikdörtgen bir levha haline dönüştürülmüştür. Orijinal şerit ile dikdörtgen levhanın boyutları arasındaki ilişkiler

$$h = \ln (r_2/r_1)$$

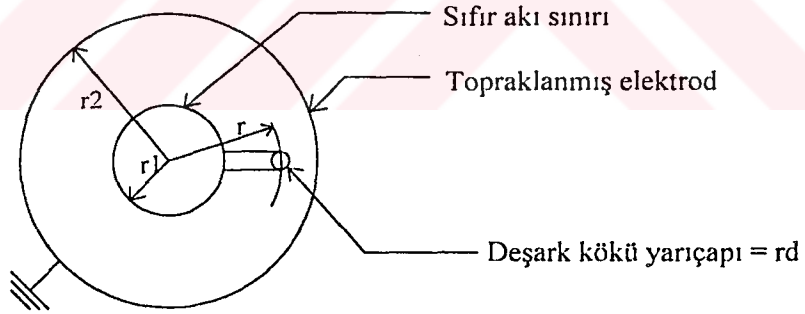
$$a = 2\pi$$

$$b = \ln (r/r_1)$$

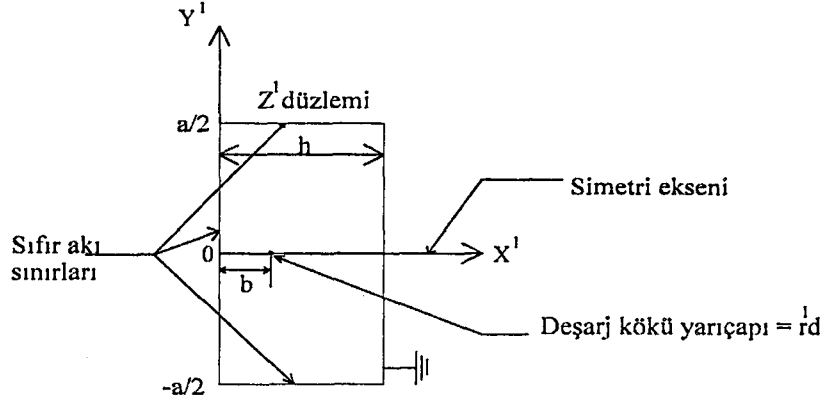
$$r_{d1} = \ln (1 + r_d/r)$$

$$(4.5)$$

şeklinde verilir.



Şekil 4.3. Dairesel şerit model



Şekil 4.4. Dönüştürülmüş dairesel şerit

Genellikle basit geometriye pratik siperlerin dikdörtgenlere dönüştürülmesinde  $a \approx 3h$  veya daha büyüktür. Böyle levhalar için deşarja seri direnç

$$R = \frac{1}{2\pi\sigma_s} \left[ \ln \frac{4h}{\pi \cdot r_{d1}} - \ln \tan \frac{\pi b}{2h} \right] \quad (4.6)$$

şeklinde bulunur.  $h$ ,  $b$ ,  $a$  ve  $r_{d1}$  denklem (4.5) ve (4.6) 'da yerine konursa aranan direnç değeri bulunur. Uygulama gerilimi

$$V = V_e + A(r-r_1) I^n + I.R \quad (4.7)$$

dir. Deşarj uzaması için,

$$\frac{di}{dr} = -\frac{\partial V / \partial r}{\partial V / \partial i} > 0 \quad (4.8)$$

yazılabilir. Kararlı çalışma noktaları için  $\partial V / \partial i \geq 0$  ve buradan deşarj uzaması için  $\partial V / \partial r < 0$  olur.



$$\ln\left(1 + \frac{r_d}{r}\right) \approx \frac{r_d}{r} \quad (4.9)$$

olduğundan

$$\frac{\partial V}{\partial r} = A.I^{-n} + \frac{I}{2\pi\sigma_s} \left[ \frac{1}{r} - \frac{\pi}{rh} Co \sec \frac{\pi b}{h} \right] \quad (4.10)$$

olarak bulunur. Kritik durum için  $\partial V/\partial r = 0$  'dır. Deşarj uzaması için kritik akımı veren  $I_c'$  sağlanmıştır ve tatmin edicidir.

$$I_c' = \left[ \frac{2A.\pi.\sigma_s.r}{\frac{\pi}{h} \operatorname{cosec} \frac{\pi.b}{h} - 1} \right]^{\frac{1}{1+n}} \quad (4.11)$$

Eğer  $\partial V/\partial r \geq 0$  sağlanmamışsa,  $I_c'$  için doğru değer  $\partial V/\partial r$  sıfıra eşit veya sıfırın hemen üstünde oluncaya kadar denklem (4.11) ile verilen akımın artışı ile bulunur. Deşarj kökü yarıçapı

$$r_c' = \left[ \frac{I_c'}{1,45\pi} \right]^{0,5} \quad (4.12)$$

ile verilmiştir.

R direnci denklem (4.6) 'dan ve  $I_c'$  akımına karşı gelen  $V_c'$  gerilimi denklem (4.7) den bulunabilir. Genellikle  $I_c'$  ve  $V_c'$  r deşarj kökü merkezinin yarıçapa ait durumunun fonksiyonlarıdır. Maksimum  $V_c'$  eğrisine karşı gelen gerilim kritik gerilim ( $V_c$ ) ve bu gerilime karşı gelen akım kritik akım ( $I_c$ ) 'dır (Bendapudi, 1988).



#### 4.6. Dinamik Model

Sundararajan ve Gorur (1993) kirli izolator yüzeylerinde oluşan olayları açıklayabilmek için dinamik bir model ileri sürmüşlerdir. Kirlenme probleminde kuru bandlarda oluşan deşarjlar ve kir tabakasının direnç değişimi önemlidir. Obenaus kuru band oluşumunun yüzey iletkenliğine ve atlama gerilimine olan etkisini adım adım incelemiştir. Bu inceleme Neumarker tarafından, kir tabakasının her birim boyunun düzenli bir kir direncine sahip olduğu kabulü yapılarak tamamlanmıştır. Ancak pratikte izolator yüzeyindeki kir dağılımı düzensiz bir yapıya sahiptir. Ayrıca kir tabakasının ıslanması ve kurumması da düzenli değildir. Bu etkenlerin tümünü dikkate alan bir model geliştirmek oldukça zordur. Bu nedenle modelin basitleştirilmesi için bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabuller; basit özellikli ark, düzenli kir dağılımı ve düzenli ıslatmadır.

Bu model ark esnasında kir tabakasında meydana gelen sıcaklık değişimlerini dikkate almaz. Arkın sadece izolator yüzeyinde yayıldığı kabulü de yapılmıştır. Bu kabullerin bir çoğunun savunulabilir tarafları vardır. Mesela, başlangıçta çok sayıda ark görülebilir, ancak sadece bir ark büyüyerek atlamaya neden olabilir. Aynı şekilde arkın tekrarlanabilmesi için kir dağılımının düzenli olduğu kabulünü yapmak da uygundur.

Atlama gerilimleri aşağıdaki adımlarda gösterilen şekilde hesaplanmıştır.

Adım 1: Gerilim eşitliği aşağıda yazıldığı gibidir.

$$V_s = V_c + V_a + R_{ark} \cdot L_{ark} \cdot I + I(R_{kir} + R_s) \quad (4.13)$$

Burada  $V_s$  (V) uygulanan gerilim,  $V_c$  (V) katod gerilim düşümü,  $V_a$  (V) anod gerilim düşümü,  $R_{ark}$  ( $\Omega/cm$ ) birim uzunluğun ark direnci,  $L_{ark}$  (cm) ark uzunluğu,  $I$  (A) kir tabakasından akan akım,  $R_{kir}$  ( $\Omega$ ) kir tabakası direnci ve  $R_s$  ( $\Omega$ ) kaynağın iç direncidir.

Adım 2: Güç kaynağından herhangi bir anda çekilen akım ( $R_s$  ihmal ediliyor)

$$I = \frac{V_s - (V_c - V_a)}{R_{ark} \cdot L_{ark} + R_{kir}} \quad (4.14)$$

ile verilir.  $t=0$  anında;  $\sigma$  ( $\mu\text{s}$ ) yüzey iletkenliği olmak üzere verilen bir  $V_s$  uygulama gerilimi ve kir yoğunluğu için aşağıda verilen başlangıç değerleri kullanılarak akım hesaplanmıştır.

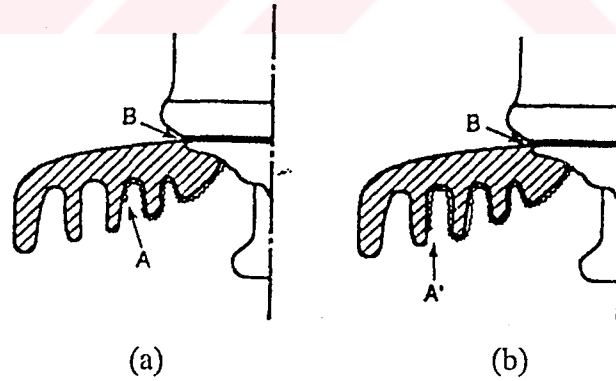
$L_{\text{ark}} = \text{Sızma uzunluğunun } 1/100 \text{ 'ü (cm)}$ ,  $R_{\text{ark}} = 100 \text{ } \Omega/\text{cm}$ ,  $V_c = 700 \text{ V (sabit)}$ ,  $V_a = 200 \text{ V (sabit)}$ . Kir direnci ise

$$R_{\text{kir}} = \frac{1}{\sigma} F \quad (4.15)$$

ile hesaplanmıştır. Burada F form faktörü olup

$$F = \int_{L_{\text{ark}}}^L \frac{db}{2\pi \cdot r} \quad (4.16)$$

ile verilir. L (cm) izolatörün sızma uzunluğu, db (cm) sızma uzunluğu boyunca uzunluk elemanı ve r (cm) db uzunluğuna karşılık gelen yarıçaptır.



Şekil 4.5. Kirlenmiş izolatörlerde ark yayılımı

Form faktörü ark uzunluğuna bağlı olarak her zaman diliminde, nümerik integrasyon teknikleriyle hesaplanmıştır. Sızma uzunluğu değişimi daima arkın

yayılımına ve form faktörüne bağlıdır. Mesela;  $t_1$  anında ark A pozisyonunda ise (Şekil 4.5-a), form faktörü A-B kısmı için hesaplanır.  $t_2=t_1+dt$  anında ark A' ile gösterilen yeni pozisyona hareket etmişse (Şekil 4.5-b), form faktörü A'-B kısmı için hesaplanır. Böylece, atlama geriliminin hesabı yapılırken izolatör geometrisi daima dikkate alınmış olur.

Adım 3: Bu akım için, ark gerilim gradyenti

$$E_{ark} = A.I^{-n} \quad (4.17)$$

ile hesaplanır. Burada  $A=63$  ve  $n=0.5$  sabit katsayılarıdır.

Adım 4: Kir gradyenti

$$E_k = A \frac{1}{l^{1+n}} \cdot R_k \frac{1}{k} \quad (4.18)$$

ile hesaplanır. Burada  $R_k$  ( $\Omega/cm$ ) birim uzunluk başına düzenli kir direncidir ve  $R_{kir}$  'den yararlanılarak hesaplanır.

$$R_k = \frac{R_{kir}}{L - L_{ark}} \quad (4.19)$$

Adım 5: Ark yayılma kriteri  $E_k > E_{ark}$  karşılaştırması yapılarak sağlanmıştır. Eğer gerilim gradyenti arkın önünde ise ark yayılacaktır. Kir tabakasının gerilim gradyenti ark gradyentinden daha büyüktür. Bu durum, akımdaki artış ile sağlanan ark yolunun iyonize olması için yeterlidir. Aksi takdirde ark sönecektir. Bu nedenle, ark yayılım kriteri  $E_k > E_{ark}$  için kullanılır.

Eğer  $E_{ark} \geq E_k$  ise ark söner. Kaynak gerilimi artırılarak yukarıdaki adımlar tekrarlanmış ve arkın yayılma durumu tekrar test edilmiştir.  $E_k > E_{ark}$  durumunda, ark yayılır ve eğer ark uzunluğu yaklaşık olarak izolatörün sızma uzunluğuna eşitse bu ark atlamaya sebep olur. Ark uzunluğu sızma uzunluğundan daha küçük ise ve ark yayılım





kriteri sağlanmışsa, ark direncindeki dinamik değişiklik nümerik diferansiyel bir teknik kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\frac{dR_{ark}}{dt} = \frac{R_{ark}}{\lambda} - \frac{R_{ark}^2 \cdot I^{n+1}}{\lambda \cdot N} \quad (4.20)$$

Burada  $\lambda=100 \mu s$  ark zaman sabiti ve N statik ark denklemi  $60VA^{0.8}$  olarak verilmiştir.

Yeni ark direnci

$$R_{ark}(\text{yeni}) = R_{ark}(\text{eski}) + dR_{ark} \quad (4.21)$$

formülüyle hesaplanır. Yeni akım değeri, en son değerler için bilinen yeni form faktörü ve kir direncinden hesaplanır (Sundararajan, 1993).

#### 4.7. Hesaplamalarda Doğruluğu Etkileyen ve Çözümü Zorlaştıran Faktörler

Bir izolatörün atlama geriliminin ve işletme şartlarında nasıl davranacağını belirlenebilmesi için yüzey tabakası direnç değişiminin iyi bilinmesi gerekir. Bu amaçla çeşitli ölçme ve deneye dayalı yöntemlerin yanısıra modellemeye dayalı sayısal hesap yöntemleri de geliştirilmiştir.

Verilen bir izolatörün belirlenen şartlar altında dayanım geriliminin hesaplanmasına esas teşkil eden atlama denkleminin yazılmasında zorluklar ortaya çıkmakta, bazı basitleştirme ve kabuller yapılmaktadır. Bu kabuller ve basitleştirmeler yapılırken problemin fiziksel karakteri ve pratik şartlar mümkün olduğunca korunmalıdır.

##### 4.7.1. Düzensiz kir dağılımı

İzolatörlerin performansını belirlemede en önemli etken yüzeydeki kir tabakasının kalınlığı ve bu tabakanın iletkenliğidir. Tabakayı oluşturan kirin cinsine bağlı olarak kalın bir tabakanın iletkenliği, ince bir tabakanın iletkenliğine göre daha az olabilir.

İzolatörün kompleks şekli nedeniyle izolatör yüzeyinde biriken kir tabakası homojen dağılımlı değildir. Rüzgara ve yağmura açık bölgelerde daha az kir biriktiği görülmektedir. Gerilim altında bir izolatörün daha fazla kir topladığı ve kir toplamının doğru gerilim altında alternatif gerilime göre daha fazla olduğu bilinmektedir. Hesaplamalarda izolatörün homojen kir tabakasıyla kaplandığı kabulüyle bu zorluk giderilir. Zaten laboratuvarlarda atlama gerilimlerinin ölçülmesinde izolatörler suni kirle homojen olarak kaplanmaya çalışıldığından, yapılan kabul laboratuvar testleri için de geçerli olacaktır.

#### 4.7.2. Ön deşarjların tutuşmasını ve karakteristiğini etkileyen faktörler

Kirli bir izolatör yüzeyinde deşarjların hangi noktalarda tutuştuğunun bilinmesi analitik hesaplamalar yönünden önemlidir. Pratik müşahadeler, deşarjların genellikle izolatörlerin en dar bölgelerinde tutuşmaya başladığını ve kir tabakası dağılımına bağlı olarak başka bölgelerde de deşarj tutuşabileceğini göstermektedir. Hesaplamalarda, ön deşarjların bir kasket tip izolatörde kapak ve sap civarından, bir çubuk izolatörde yarıçapın en küçük olduğu dar kısımlardan başladığının kabulü, pratik şartların yeterince dikkate alınması demektir.

Kuru bandların uç kısımlarında değişik tip ve karakteristikli deşarjlar gözlenir. Her ön deşarj bir kuru bandı kısa devre ederek kaçak akımı artırır. Kir tabakası direncinin değişimine bağlı olarak ön deşarjların yol açtığı akım birkaç mA ile birkaç yüz mA arasında değişir. Buna bağlı olarak tutuşan deşarj düşük akımlarda ısıtılı ve büyük akımlarda ark tipinde oluşmaktadır. Yapılan araştırmalar, ancak ark tipi deşarjın yayılarak atlama yapabildiğini göstermiştir. Bu tür deşarj negatif bir volt-amper karakteristiğine sahip olup özellikleri, içinde tutuştuğu ortama bağlıdır. Bazı araştırmacılar kirli izolatör yüzeyinde akımın sebep olduğu ısının kirin nemini buharlaştırdığını ve bu nedenle deşarjın kirli buhar ortamında tutuştuğunu öne sürmüşlerdir. Ancak hakim olan görüş deşarjın hava ortamında tutuşacağı ve analitik hesaplamalar için hava ortamında ölçülen arkın akım-gerilim karakteristiğinin kullanılmasının yeterli olacağı yönündedir (Rumeli, 1979).

#### 4.7.3. Uygulanan gerilimin zamanla değişmesi

Uygulanan gerilimin alternatif olması halinde akımın sıfırdan geçişleri deşarjların yayılmasını etkilemektedir. Ancak bu etkinin dikkate alınması zordur. Alternatif gerilim için hesaplamalarda atlama denklemindeki  $V$  gerilimi sabit kabul edilmekte ve bulunan dayanım geriliminin değeri, alternatif dayanım geriliminin maksimum değerine eşit kabul edilmektedir. Pratik amaçlar için yeterli görülen bu hesaplamada, gerçek alternatif dayanım geriliminin tepe değerinden daha küçük bir değer (iyimser bir sonuç) elde edilmektedir.

Uygulanan gerilimin zamanın değişik fonksiyonları olması halinde kirli izolatör veya modelin atlama davranışı değişik olmaktadır. Standart darbe gerilimleri altında atlama olayının araştırılması, aşırı gerilimlerin kirli izolatörlerin davranışlarını nasıl etkilediğini belirleme açısından önemli olacaktır.

#### 4.7.4. Kir tabakası direncindeki değişmeler

Kirle kaplı bir izolatöre gerilim uygulandığında kir tabakası direncinde meydana gelen değişiklikler, deşarj öncesi ve deşarj sonrası değişmeler tarzında incelenir. Laboratuvar testlerinde izolatör kirle kaplandıktan sonra kir tabakası ısıtılarak maksimum iletkenliğe erişilinceye kadar beklenir. Gerilim uygulanmadan önce hesaplanan iletkenliğe "soğuk kir iletkenliği" ( $\sigma_c$ ) denir. Gerilim uygulandıktan sonra, kaçak akımın yol açtığı ısınma nedeniyle kir iletkenliği kuru bandlar ve n deşarjlar oluşuncaya kadar artarak maksimumdan geçer (Rumeli, 1979).

Denklem (2.12) ile verilen atlama denklemindeki  $R$ , deşarjlara seri kir bölgesi toplam direncini göstermektedir. Bu direnç,  $X$  deşarj boyuna ve kir tabakasında açığa çıkan  $W$  enerjisine bağlıdır. Deşarj boyunun artması seri kir bölgesi boyunun kısalmasına ve böylece  $R(X,W)$  'nin azalmasına yol açar ( $\partial R/\partial W < 0$ ). Deşarj ncesi durumda olduğu gibi deşarj sonrasında da  $W$  enerjisi kir tabakasında değişmelere yol açabilir. n deşarjların tutuşması ile kaçak akımda ani artışlar görülmektedir. Bu durumun, ısınma-kuruma nedeniyle kir tabakası direncinde artışa yol açacağı ( $\partial R/\partial X > 0$ ) düşünülebilir.

Deşarjın yayılma hızına da sıkı sıkıya bağlı olan bu değişimin hesaplanması kolay değildir. R direncindeki esas değişmenin deşarj boyundaki değişmeden ( $\partial R/\partial X$ ) ileri geldiği, bunun yanında özellikle deşarjın yayılma hızının büyük olduğu hallerde enerjinin yol açtığı değişimin ihmal edilebileceği ( $\partial R/\partial W=0$ ) kabulü yapılmaktadır.



## 5. ARK 'A SERİ KİR DİRENCİ DEĞİŞİMİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (SEY) İLE HESABI

### 5.1. Genel Bilgi

Atlama denkleminin yazılabilmesi ve atlama gerilimlerinin hesaplanabilmesi için deşarjlara seri kir direnci  $R(x)$  değişimlerinin yeterli doğrulukta bilinmesi gerekir.

Seri kir direnci  $R(x)$ , deşarj büyümesi ve kir tabakasındaki sıcaklık dağılımından etkilenir. Bu etki deşarjların sayısına ve kirli yüzeydeki deşarj tutuşmasının durumuna bağlıdır.

### 5.2. SEY 'nin AR Modeline Uygulanması

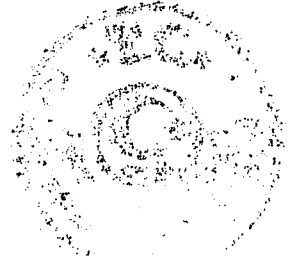
İzolatör yüzeyindeki akım akışı bir laplace problemi olarak incelenebilir. Enerji fonksiyonu

$$W(\phi) = \int_V \rho E^2 dV \quad (5.1)$$

olur. Burada  $E$ ,  $dV$  hacminin elektrik alan şiddeti ve  $\rho$ , kir tabakasının özgül direncidir. Ele alınan problem bölgesinde geçerli laplace denklemi için aşığıdaki fonksiyonel ifadesi yazılabilir.

$$W_e = \int_s \rho_s \left[ \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 \right] dx. dy \quad (5.2)$$

Burada  $\rho_s = \rho/h$  yüzey iletkenliği olup,  $h$  kir tabakasının kalınlığıdır. Bu enerji fonksiyonelinin minimizasyonu sonucunda incelenen bölge için potansiyel dağılımı elde edilir.



### 5.3. Direnç Hesaplama Programı

R(x) değişimlerinin hesaplanması için bir ana program ve bir de yardımcı program kullanılmıştır. Öncelikle direnç değişimleri hesaplanmak üzere seçilen ve Şekil 6.1 'de gösterilen 6 tip izolatörün AR modelleri çıkarılmış ve bu modeller üçgen elemanlar ile bölmelenmiştir. Bu şekilde elde edilen çözüm bölgesi yardımcı program kullanılarak daha fazla sayıda üçgen elemanlara bölünmüştür. Yardımcı program ile elde edilen datalar, Şekil 5.1 'de akış diyagramı verilen ana programda kullanılmış ve SEY ile elde edilen lineer denklem sistemi SOR (Successive Over Relaxation) yöntemiyle çözülmüştür.

Sızma aralığı üzerinde değişik noktalarda alınan sondalar akımla değişen değarjları temsil etmektedir. Sızma aralığı üzerinde alınan son sonda ile topraklı elektrod arasında çok yakın aralıkta ( $\approx 0,1\text{cm}$ ) bölmeleme yapılmıştır. Model üzerindeki düğümlerin potansiyelleri ve bu düğümler ile topraklı elektrod arasında bulunan ve yüzey iletkenlik değeri bilinen kir tabakası parçalarından geçen akımlar bulunmuştur. Sondaya uygulanan gerilim, bu parçalardan topraklı elektroda geçen toplam akıma bölünmek suretiyle her sonda için direnç değeri hesaplanmıştır. Programın, iterasyon yapmak ve her defasında sonda yerini belirli aralıklarla değiştirmek suretiyle, tüm sızma aralığı boyunca hesaplamayı tekrarlaması sağlanmıştır.

### 5.4. Programın Akış Diyagramı

Şekil 5.1 'deki akış diyagramından görüldüğü gibi, ilk olarak yardımcı program ile oluşturulan bölmelendirme datası ana program tarafından kullanılarak düğüm sayısı, eleman sayısı, fonksiyonun tanımlandığı düğümlerin sayısı, üç düğüm belirleyicisi, her düğümün koordinatları ve dielektrik sabitleri gibi değerler dosyadan okunmaktadır. SOR ile çözüm için hızlandırma katsayısı ve sonda yarıçapı (1,5 mm veya 3 mm) programı çalıştırırken isteğe göre değiştirilebilmektedir. Kapak üzerine gelen düğümlerin sayısı ve numarası bölmelendirme datasından tesbit edilerek programa

verilir. Gerilimin kapağa veya sondaya uygulanması durumlarına göre giriş datasında gerekli değişiklikler yapılarak ana ve yardımcı program tekrar çalıştırılmalıdır.

Çözümüne başlamadan önce katsayılar matrisi ve sağ taraf matrisi sıfırlanır. Daha sonra fonksiyonun başlangıç değerleri katsayılar matrisine yerleştirilir. Kapak üzerine gelen düğümlerin potansiyellerinin eşit olması sağlanır. SEY kullanılarak elde edilen sistem matris eşitliği SOR yöntemi ile çözülür.

Sızma aralığında topraklı elektroda en yakın olan düğümlerin koordinatları ve potansiyelleri tesbit edilerek direnç değeri hesaplanır ve yazdırılır. Sonda yeri belirli aralıklarla kaydırılarak her durum için aynı hesaplamalar tekrarlanır ve direnç değerleri bulunur.

Şekil 5.1 'de akış diyagramı görülen ana programda kullanılan bazı değişkenler ve hangi amaçla kullanıldıkları aşağıda verilmiştir.

NPOIN: Düğüm sayısı

NELEM: Eleman sayısı

NPRES: Fonksiyonun tanımlandığı düğümlerin sayısı

X,Y: Düğüm koordinatları

NOD: Üç düğüm belirleyicisi

NPT: Fonksiyonun tanımlandığı düğüm

VAL: Fonksiyonun tanımlandığı düğümün gerilim değeri

SEPS: Dielektrik sabiti

SIGMA: Yüzeysel iletkenlik

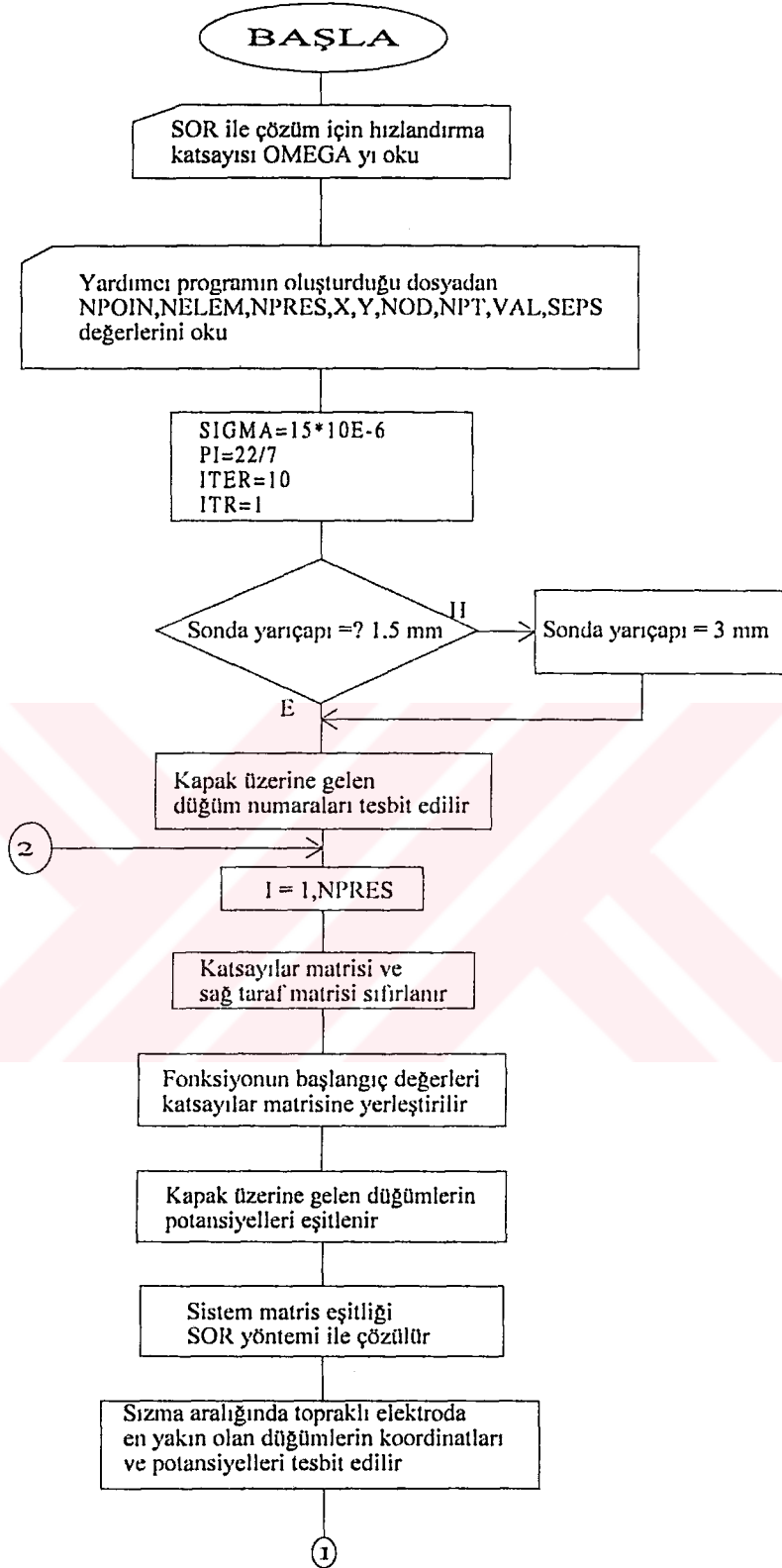
VORT: Ortalama potansiyel

ATOP: Kir tabakası parçalarından geçen toplam akım

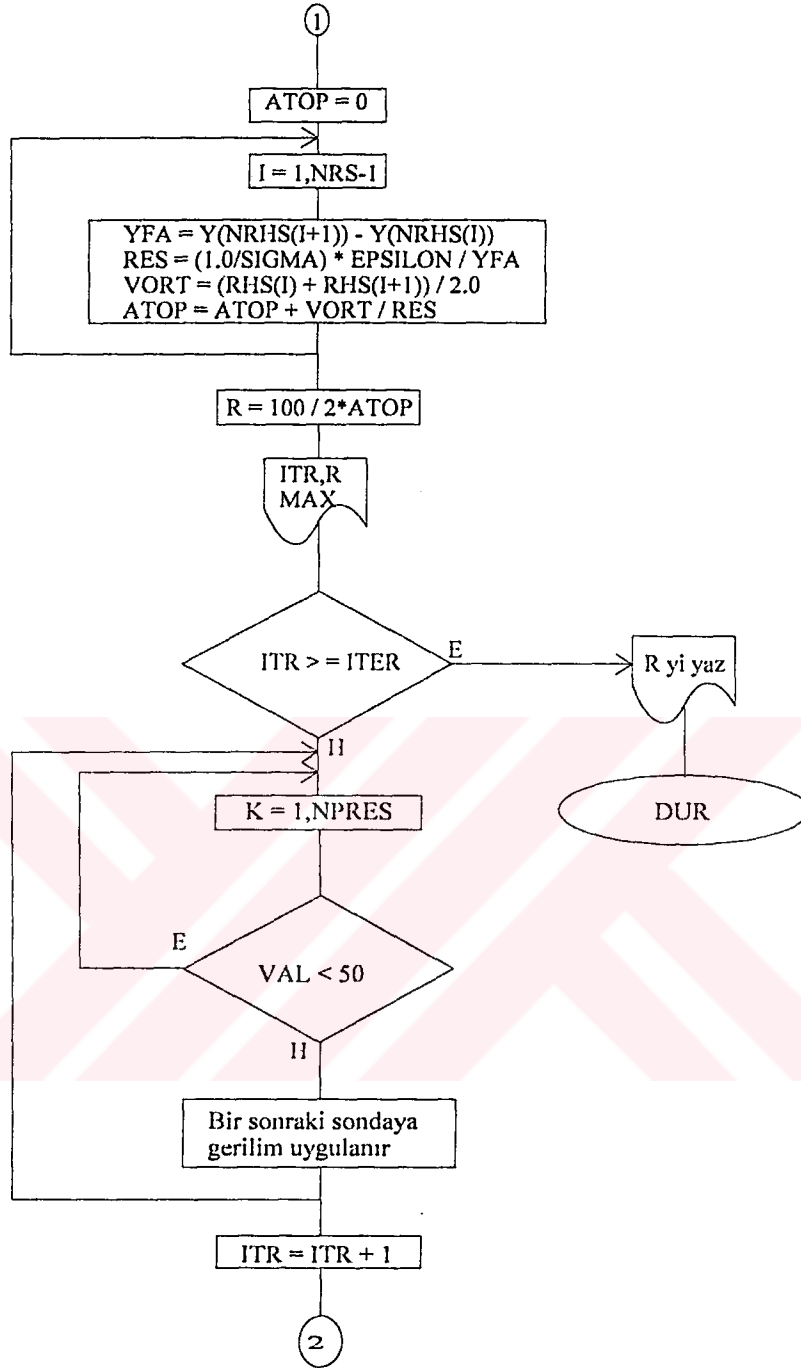
R: Direnç

MAX: Maksimum iterasyon sayısı

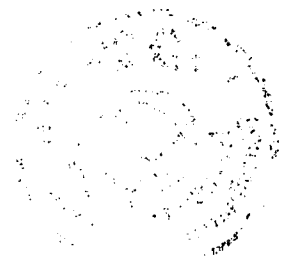
OMEGA: Hızlandırma katsayısı







Şekil 5.1. Ana programın akış diyagramı



### 5.5. Direnç Hesabı

Sonda ile topraklı elektrod arasındaki bölge üçgen elemanlara bölünerek çözüm yapılmıştır. Aynı şekilde topraklı elektroda oldukça yakın olan bölgede üçgenlere bölünmüş dörtgenlerden yararlanılmıştır. Sonda ile topraklı elektrod arasındaki toplam direnç aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Şekil 5.2 'de gösterilen (i,2) noktasında yarıçapı  $r_d$  olan ve 100 volt potansiyelinde tutulan sonda ile sıfır potansiyelindeki elektrod ( $m,j; j=2,\dots,n$ ) arasındaki toplam direnç  $\nabla^2 V=0$  denkleminin belirlenen sınır şartları altında çözümünden bulunur.

Topraklı elektroda oldukça yakın ( $\epsilon \approx 0,1$  cm)  $i=m-1$  düşey bölümlenmesi üzerindeki noktalarda alan şiddeti

$$E_{(m-1,j)} = \frac{V_{(m-1,j)}}{\epsilon}, \quad j=2,\dots,n \quad (5.3)$$

yazılabilir.  $J$  akım yoğunluğu,  $\chi$  kir spesifik iletkenliği ve  $E$  elektrik alanı arasında

$$J_j = \chi \cdot E_j = \chi \frac{E_{(m-1,j-1)} + E_{(m-1,j)}}{2} \quad (5.4)$$

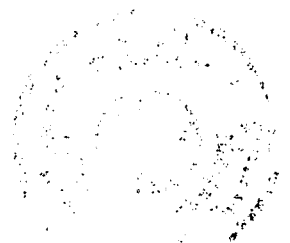
veya

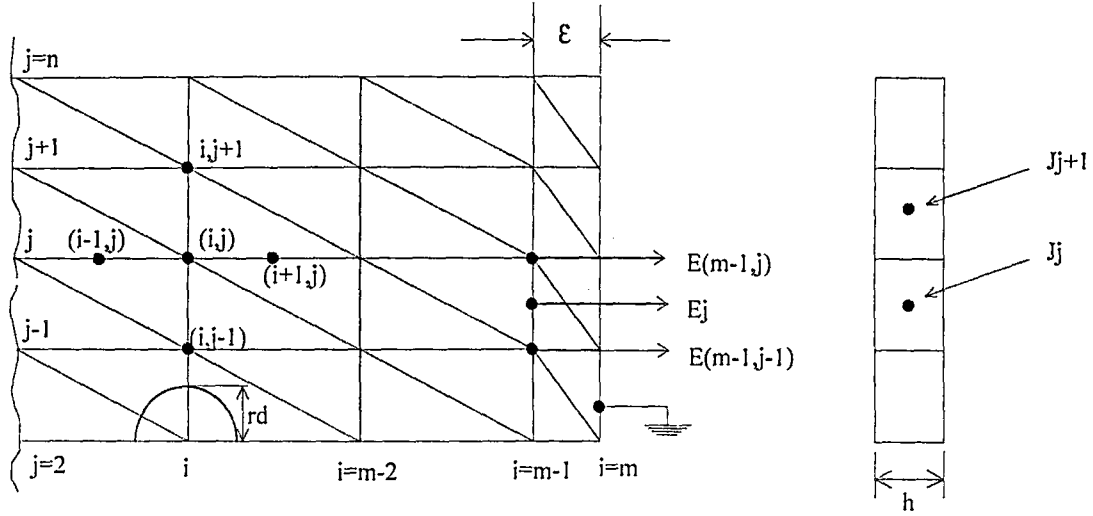
$$J_j = \chi \cdot V_{ORT} \quad (5.5)$$

bağıntısı geçerlidir. Kir tabakasının kalınlığı  $h$  ise, topraklı elektroda geçen toplam akım

$$I = \frac{V_{ORT}}{RES} \quad (5.6)$$

ve sonda ile topraklı elektrod arasındaki toplam direnç





Şekil 5.2. Direnç hesabı

$$R = \frac{100}{2.I} = \frac{100.RES}{2.V_{ORT}} \quad (5.7)$$

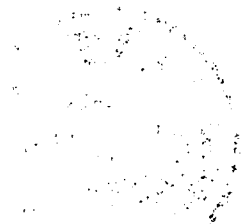
olur. Hesaplamalar izolator modelinin yarısı dikkate alınarak yapılmıştır. Simetri nedeniyle izolatorün bir tarafında yapılan hesaplamalar diğer tarafında da geçerli olacaktır. Bu nedenle toplam direnç bulunurken, sondaya uygulanan gerilim toplam akımın iki katına bölünmüştür.

### 5.6. Kirlenmiş İzolatörlerin Atlama Performanslarının Tayini

Atlama probleminin nicel bir analizini yaparken çözümü oldukça zor olan iki önemli faktör

- İzoleli yüzeyde kir öz direncinin eşit olmayan ve bilinmeyen dağılımı
- Deşarjın büyümesi esnasında seri kir direncinin bilinmeyen ve kontrol edilemeyen değişme miktarı. Bu değişme miktarı; deşarj köklerinin hareketine, kir içerisindeki ısının dağılmasına ve kir tabakası üzerindeki nemin tortu bırakmasına neden olur.

Problemin çözümünü kolaylaştırmak için aşağıdaki kabuller yapılmıştır:



a) Deşarj gradyenti, A ve n başlangıç sabitleri olmak üzere  $E=E(I)=A.I^n$  ile belirlenmiştir.

b) Kir direnci R, sadece deşarj kökünün hareketi ile değişir.

R deşarj kökü ve diğer elektrod arasındaki tüm kir direncidir. Kir direnci R, artan deşarj uzunluğu ile azalır. R 'nin maksimum ve minimum değerleri  $X=0$  ve  $X=L$  'de meydana gelir. Bu değerler sırasıyla  $R_0$  ve sıfırdır.

Eğer  $R=R(x)$  biliniyorsa; efektif özdirenç

$$r = \left| \frac{dR}{dx} \right| = r(x) \quad (5.8)$$

den bulunabilir. Efektif özdirenç r, X deşarj uzunluğunun bir fonksiyonudur.  $r(x)$  için birkaç maksimum ve minimum dönüş noktası olabilir. Dönüş noktalarının koordinatları kir direncinin dağılımına bağlıdır.

$X=0$  için R ve r değerleri, sırasıyla "ilk direnç" ve "ilk özdirenç" olarak adlandırılır.

$$R_0=R(0)=R_{\max} \text{ ve } r_0 = r(0) = \left| \frac{dR}{dx} \right|_{x=0} \quad (5.9)$$

Bu durumda atlama denklemini

$$V = A.X.I^{-n} + I.R = f(I,X,R) \quad (5.10)$$

şeklinde olur. Dayanım gerilimi atlama yapmayan maksimum uygulanan gerilim olarak tanımlanmaktadır. Denk. (5.10) 'da verilen atlama denklemini dikkate alalım. X deşarj uzunluğunun, dolayısıyla  $R(x)$  'in sabit değerleri için  $f(i)$  eğrileri Şekil 5.3 'de gösterilmiştir.  $X=0$  'a tekabül eden  $f_0$  eğrisine ilk eğri,  $X=L$  'ye tekabül eden  $f_L$  eğrisine atlama eğrisi denir. Her  $f(i)$  eğrisinin tek bir  $M(I_m, F_m)$  minimum noktası vardır. Minimum noktanın koordinatları  $\partial f / \partial I = 0$  'dan bulunur.



$$V = A.X.I^{-n} + V_e + I.R = f(I,X)$$

$$\partial f / \partial I = 0 \text{ ise } X.A.(-n) I^{-(n+1)} + R = 0$$

$$\frac{-n.A.X}{I^{1+n}} = -R \text{ 'den}$$

$$I_m(X) = \left( \frac{n.A.X}{R} \right)^{\frac{1}{1+n}} \quad (5.11)$$

olur.  $I_m$  değeri atlama denkleminde yerine konulursa

$$f = X.A \frac{n^{-\frac{n}{1+n}} . A^{\frac{-n}{1+n}} . X^{\frac{-n}{1+n}}}{R^{\frac{-n}{1+n}}} + R \frac{n^{\frac{1}{1+n}} . A^{\frac{1}{1+n}} . X^{\frac{1}{1+n}}}{R^{\frac{1}{1+n}}}$$

$$f = A^{\frac{1}{1+n}} . X^{\frac{1}{1+n}} \left( n^{\frac{1}{1+n}} + n^{\frac{-n}{1+n}} \right) . R^{\frac{n}{1+n}}$$

$$F_m(x) = \left( n^{\frac{1}{1+n}} + n^{\frac{-n}{1+n}} \right) A^{\frac{1}{1+n}} (X.R^n)^{\frac{1}{1+n}} = K (X.R^n)^{\frac{1}{1+n}} \quad (5.12)$$

elde edilir. Verilen bir  $V$  uygulama gerilimi için  $T$  ve  $T'$  noktaları atlama denklemini sağlayan çalışma noktalarıdır. Ancak  $T$  noktası stabil ve gerçek çalışma noktasıdır. Deşarj boyu  $0 < X < L$  arasında değişirken  $M$  minimum noktasının çizdiği  $F_m(I_m)$  eğrisine "minimum noktalar eğrisi" denilmiştir (Şekil 5.4). Minimum noktalar eğrisinin her noktasının bir deşarj uzunluğuna tekabül ettiği veya bu deşarj uzunluğuna tekabül eden  $f(i)$  eğrisinin minimum noktasının, minimum noktalar eğrisinin dikkate alınan noktasında bulunduğu göz önünde tutulmalıdır.  $F_m(0)=0$ ,  $F_m(L)=0$  ve  $F_m(x)>0$  olduğu  $F_m(I_m)$  eğrisinin en az bir maksimum noktası vardır. Birden fazla maksimum noktası bulunması halinde, bunlar içinde maksimum ordinata sahip  $M_m(F_{mm}, I_{mm}; X=X_{mm})$  noktasının  $F_{mm}$  ordinatı  $V_d$  dayanım gerilimine eşit olacaktır. Çünkü, uygulanan gerilim  $V_1 < V_d$  ise,  $V_1$  doğrusu en az  $X=X_{mm}$  'e tekabül eden  $f(i)$  eğrisini kesemez ve atlama denklemini  $0 < X < L$  değerleri için sağlanamayacağından atlama meydana gelemez. Bu durumda deşarj boyu  $X < X_{mm}$  olabilir.  $V_2 > V_d$  ise  $X'$  in bütün değerleri için  $f(i)$  eğrileri kesilebileceğinden atlama meydana gelebilir. Böylece  $V_d = F_{mm}$  atlama yapmayan gerilimlerin üst sınırını verecektir (Şekil 5.4).

$F_m(I_m)$  eğrisinin üzerindeki dönüş noktaları "kritik noktalar" olarak adlandırılacaktır. Kritik noktalarda minimum dönüş noktalarına sahip olan  $f(i)$  eğrilerine "kritik eğriler" ve deşarj uzunluklarının yerini tutan uzunluklara "kritik deşarj uzunlukları" denir. Kritik noktalarda

$$\begin{aligned} \frac{df_m}{dI_m} &= \frac{df_m}{dx} \frac{dx}{dI_m} = 0 \text{ ve } 0 < X < L \text{ için } \frac{dx}{dI_m} \neq 0 \\ \frac{df_m}{dx} &= \frac{K}{1+n} (X \cdot R^n)^{\frac{n}{1+n}} \left( R^n + n \cdot X \cdot R^{n-1} \frac{dR}{dx} \right) = 0 \\ X &= \frac{R}{n \cdot R} = \frac{R(x)}{n \cdot r(x)} \end{aligned} \quad (5.13)$$

bulunur. (5.13) denkleminin kökleri kritik deşarj uzunluklarını verir. Bu kökler

$$X_{cy} = \frac{R(x_{cy})}{n \cdot r(x_{cy})}, \quad y=1,2,\dots,y \quad (5.14)$$

şeklinde yazılabilir. Özdirencin sabit ve düzenli olarak dağılması durumunda  $X_c=L/1+n$  kritik deşarj uzunluğunu verir. Kritik akım ve kritik gerilim değerleri

$$I_c = \left( \frac{A}{r} \right)^{\frac{1}{1+n}} \quad (5.15)$$

$$V_c = A^{\frac{1}{1+n}} \cdot L \cdot r^{\frac{1}{1+n}} \quad (5.16)$$

'den hesaplanır.

$$I_{cy} = \left( \frac{A}{r(x_{cy})} \right)^{\frac{1}{1+n}} \quad (5.17)$$



ile verilen kritik akımlar  $r(x_{cy})$ ,  $y=1,2,\dots,y$  öz direnç değerleri tarafından belirlenmiştir.  $r$  öz direnci iki sınır arasında kaldığı için ( $r_{\min} \leq r \leq r_{\max}$ ), kritik akımlar da iki sınır arasında kalmalıdır. Kritik akımların muhtemel max ve min değerleri

$$I_{c\max} = I_{\max} = \left( \frac{A}{r_{\min}} \right)^{\frac{1}{1+n}} \quad (5.18)$$

$$I_{c\min} = I_{\min} = \left( \frac{A}{r_{\max}} \right)^{\frac{1}{1+n}}, \quad I_{\min} \leq I_{cy} \leq I_{\max} \quad (5.19)$$

ve bu akım değerlerine karşılık gelen max ve min gerilimler

$$V_{\min} = R_0 \left( \frac{A}{r_{\max}} \right)^{\frac{1}{1+n}} = R_0 \cdot I_{\min} \quad (5.20)$$

$$V_{\max} = R_0 \left( \frac{A}{r_{\min}} \right)^{\frac{1}{1+n}} = R_0 \cdot I_{\max} \quad (5.21)$$

'dir.  $F_m(I_m)$  eğrisinin dönüş noktasının koordinatları  $M_\mu(F_{m\mu}, I_{m\mu})$ ,  $dF_m/dx = 0$  'dan

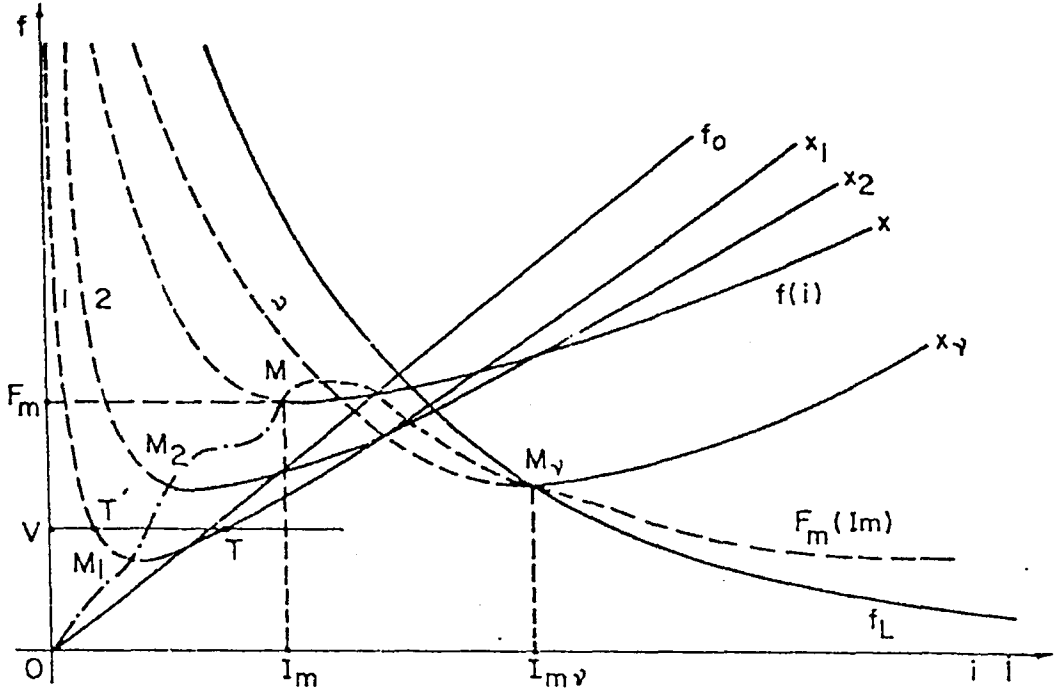
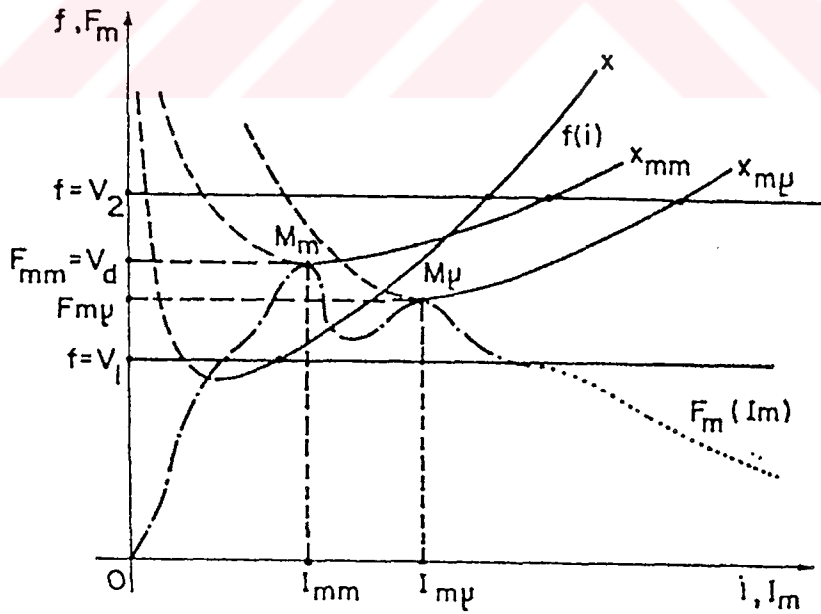
$$I_{m\mu} = \frac{A}{r \cdot x} \quad (5.22)$$

$$F_{m\mu} = \left( \frac{A}{r \cdot x_\mu} \right) \left( \frac{1+n}{n} \right) R(x_\mu) \quad (5.23)$$

bulunur. Burada

$$x_\mu = \frac{R(x_\mu)}{n \cdot r(x_\mu)} \quad (5.24)$$

dir. Şekil 5.3 'de  $f(i)$  eğrileri ve Şekil 5.4 'de  $F_m(I_m)$  minimum noktalar eğrisi verilmiştir.

Şekil 5.3.  $f(i)$  eğrileriŞekil 5.4.  $F_m(I_m)$  minimum noktalar eğrisi



### 5.7. Ölçme Yöntemi

Bilgisayarla yapılan hesaplama sonuçlarını karşılaştırmak amacıyla, Rumeli(1980) tarafından elde edilen deney sonuçları kullanılmıştır. Deneylerde bir izolatörün AR modeli, kalınlığı  $h$  ve öz direnci  $\rho$  olan özel bir su tabakası ile kaplanmıştır. Su kalınlığı, yüzeye dökülen su hacminin model yüzeyi alanına bölünmesiyle hesaplanabilir. Su öz direnci bir iletkenlik ölçü hücresi ve köprü yardımıyla ölçülmüştür. Direnç ölçmelerinde 1592 Hz de ölçme yapan bir admitans köprüsü kullanılmıştır. Ölçmelerin yüksek frekansta yapılması elektrolitik polarizasyonu önlemiştir.

İzolator yüzeyine kaplanan kir tabakasını temsil eden su tabakasının soğuk yüzeyel iletkenliği

$$\sigma_c = h/\rho \quad (5.25)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Bilinen bir  $\sigma_c$  için ölçülen  $R(x)$  değerinden değişik bir  $\sigma_c$  için karşılık gelen  $R(x)$  değeri orantı yoluyla kolayca bulunmuştur (Rumeli, 1979).

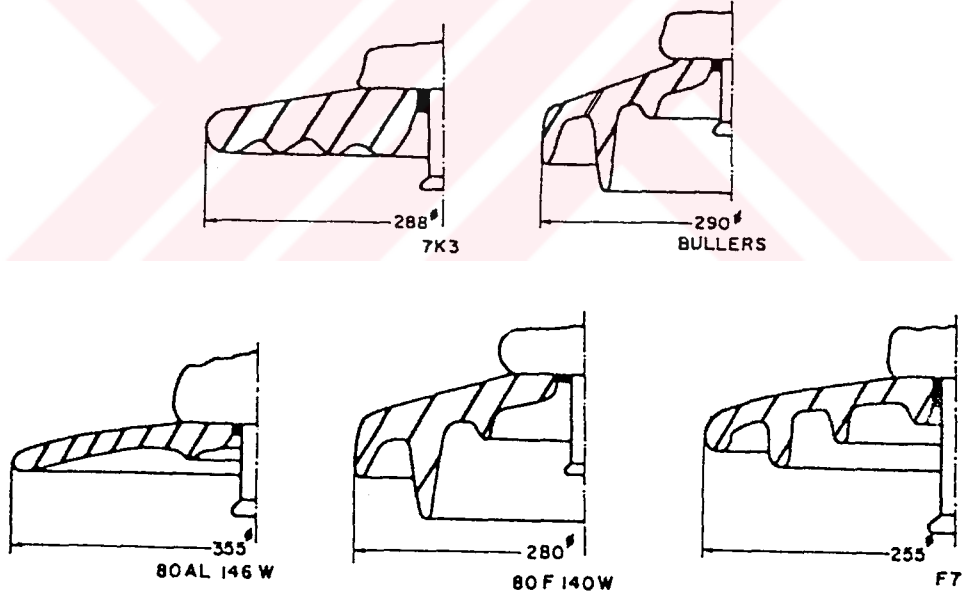


## 6. UYGULAMA

Bölüm 5 'de açıklanan yöntem ve program kullanılarak 5 tip izolatör için, iki farklı sonda yarıçapında ark 'a seri direnç değişimleri hesaplanmıştır. Değişik sonda çapları akımla değişen deşarj kökü çapını temsil etmektedir.

Kullanılan sonda yarıçapları  $r_d=0,15$  cm ve  $r_d=0,3$  cm 'dir. Her iki sonda yarıçapı için direnç değerleri hesaplanarak direnç-sızma aralığı grafikleri ve efektif direnç değerleri hesaplanarak  $f(i)$  eğrileri ile  $F_m(I_m)$  minimum noktalar eğrisi çizdirilmiştir. Max ve min akım ve gerilim değerleri hesaplanmıştır.

Şekil 6.1 'de hesaplamalar için seçilen izolatörler ve Tablo 6.1 'de bu izolatörlere ait bazı özellikler verilmiştir.



Şekil 6.1. Hesaplamalar için seçilen izolatörler



Tablo 6.1. Hesaplamalar için seçilen izolatörlerin karakteristikleri

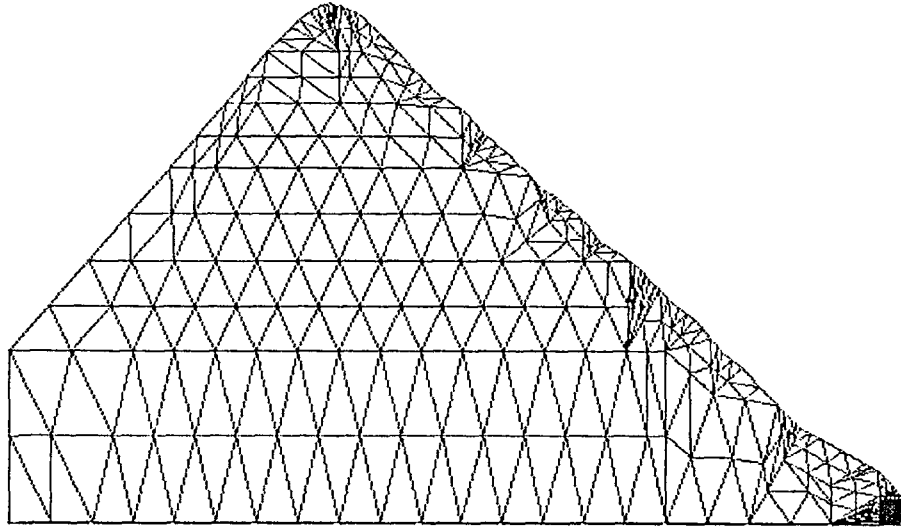
İzolatör tipi	7K3	BULLERS	80AL146W	80F140W	F7
Yükseklik H(mm)	1295	1260	1314	1260	1314
Sızma aralığı L(mm)	2128	3760	2700	3735	2799
$m = L / H$	1,64	2,98	2,05	2,96	2,13
İletkenlik faktörü Cf	1,4	1,45	1,47	1,39	1,41
Zinciri oluşturan eleman sayısı	7	9	9	9	9

### 6.1. 7K3 İzolatörü

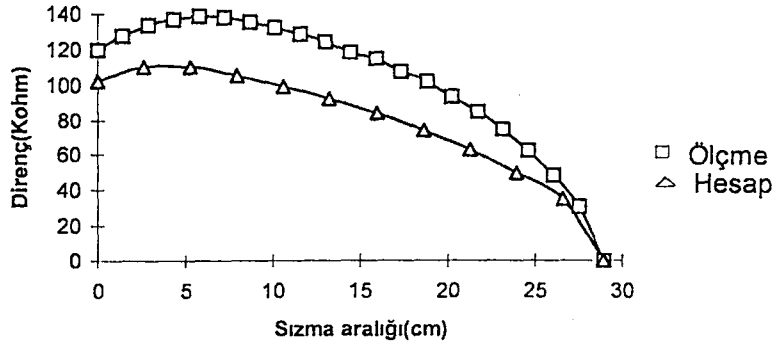
Şekil 6.2 'de 7K3 izolatörüne ait AR modelinin üçgen elemanlar ile bölmelenmiş hali görülmektedir.

Şekil 6.3 'de 0,15 cm ve Şekil 6.4 'de 0,3 cm sonda yarıçapları için direnç-sızma aralığı grafikleri, hesap ve ölçme sonuçları karşılaştırılarak verilmiştir.

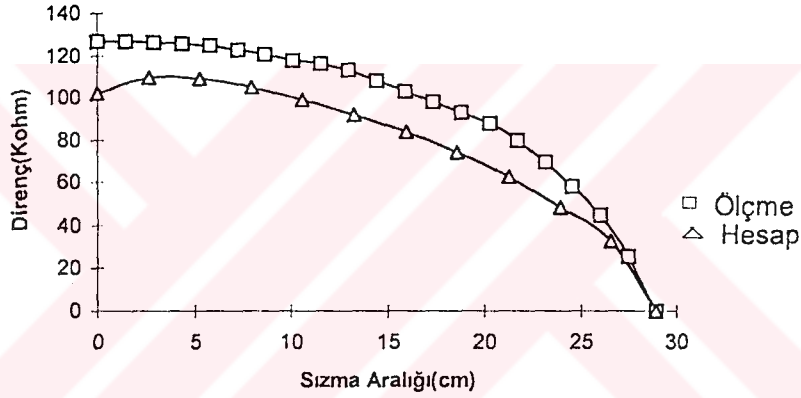
Şekil 6.5 'de 0,15 cm ve Şekil 6.6 'da 0,3 cm sonda yarıçapları için  $f(i)$  ve  $F_m(I_m)$  eğrileri görülmektedir.



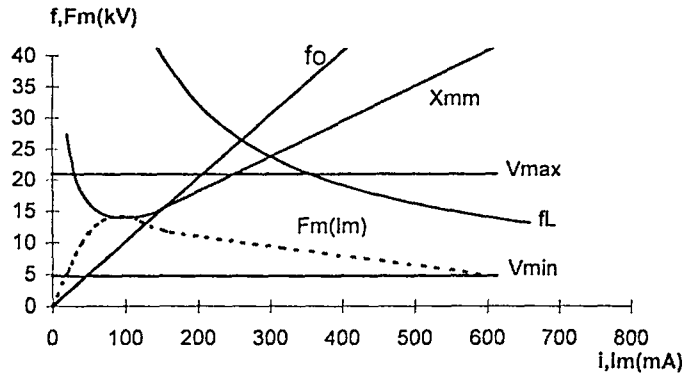
Şekil 6.2. 7K3 izolatörü için AR modelinin üçgen elemanlarla bölmelenmiş hali



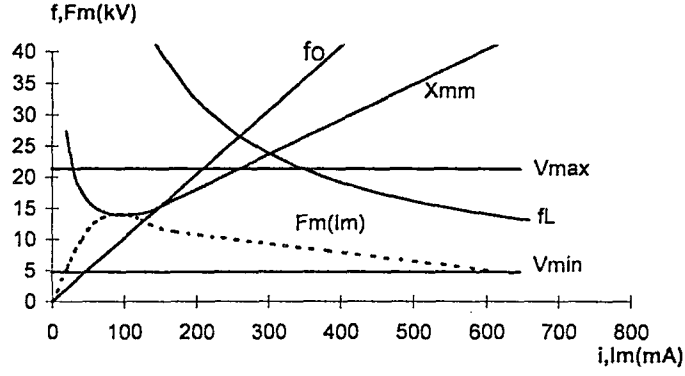
Şekil 6.3. 7K3 izolatörü için ölçülen ( $r_d=0,15$  cm) ve hesaplanan  $R(x)$  değişimleri



Şekil 6.4. 7K3 izolatörü için ölçülen ( $r_d=0,3$  cm) ve hesaplanan  $R(x)$  değişimleri



Şekil 6.5. 7K3 izolatörü için  $f(i)$  ve  $F_m(I_m)$  eğrileri ( $r_d=0,15$  cm)



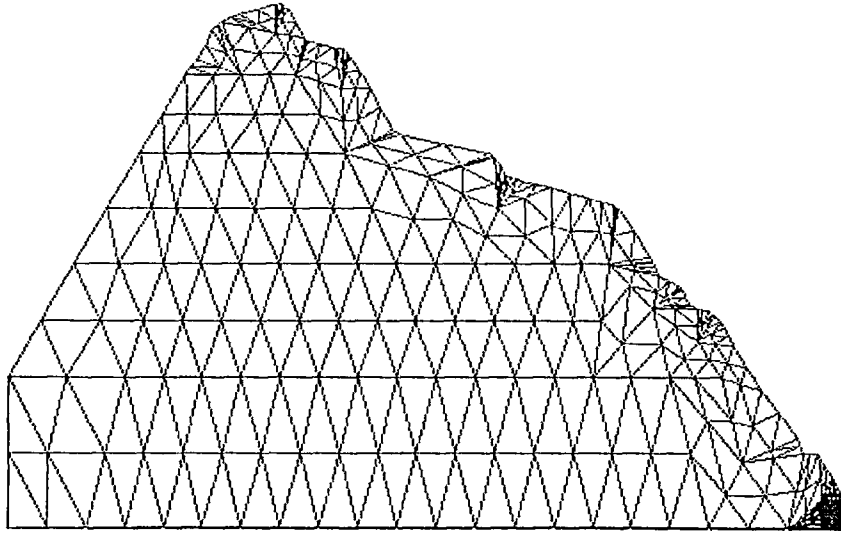
Şekil 6.6. 7K3 izolatörü için  $f(i)$  ve  $F_m(I_m)$  eğrileri ( $r_d=0,3$  cm)

## 6.2 BULLERS İzolatörü

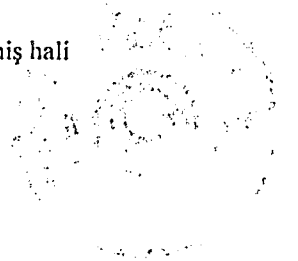
Şekil 6.7 'de BULLERS izolatörüne ait AR modelinin üçgen elemanlar ile bölmelenmiş hali görülmektedir.

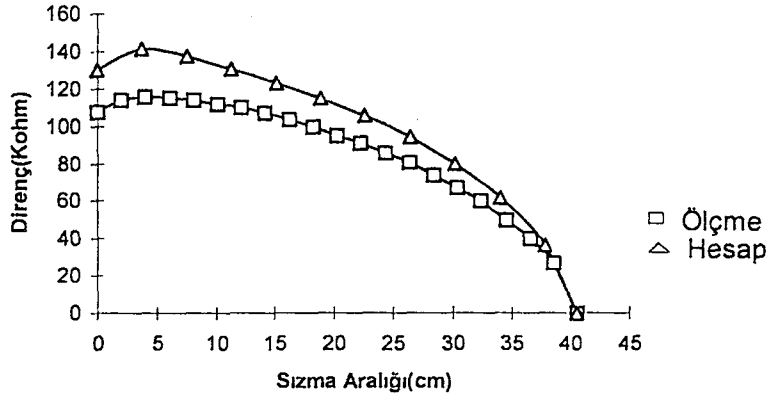
Şekil 6.8 'de 0,15 cm ve Şekil 6.9 'da 0,3 cm sonda yarıçapları için direnç-sızma aralığı grafikleri, hesap ve ölçme sonuçları karşılaştırılarak verilmiştir.

Şekil 6.10 'da 0,15 cm ve Şekil 6.11 'de 0,3 cm sonda yarıçapları için  $f(i)$  ve  $F_m(I_m)$  eğrileri görülmektedir.

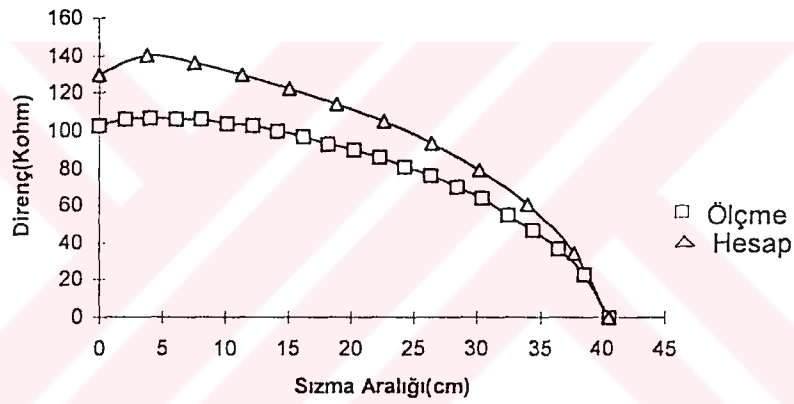


Şekil 6.7. BULLERS izolatörü için AR modelinin üçgen elemanlarla bölmelenmiş hali

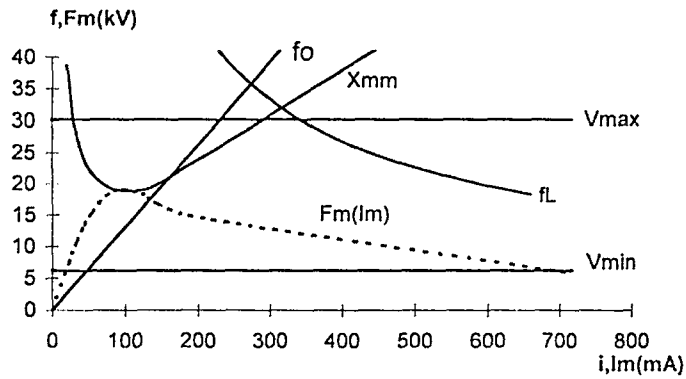




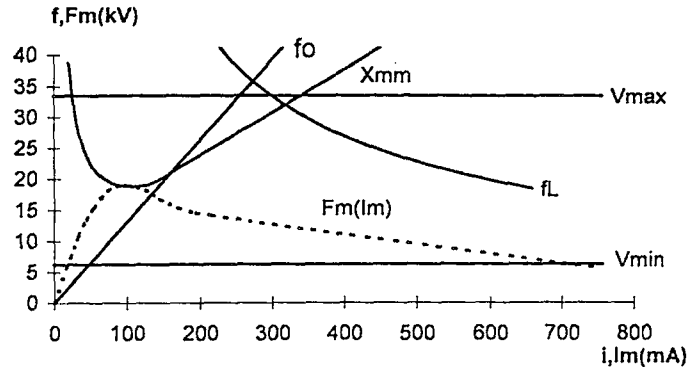
Şekil 6.8. BULLERS izolatorü için ölçülen ( $r_d=0,15$  cm) ve hesaplanan  $R(x)$  değişimleri



Şekil 6.9. BULLERS izolatorü için ölçülen ( $r_d=0,3$  cm) ve hesaplanan  $R(x)$  değişimleri



Şekil 6.10. BULLERS izolatorü için  $f(i)$  ve  $F_m(I_m)$  eğrileri ( $r_d=0,15$  cm)



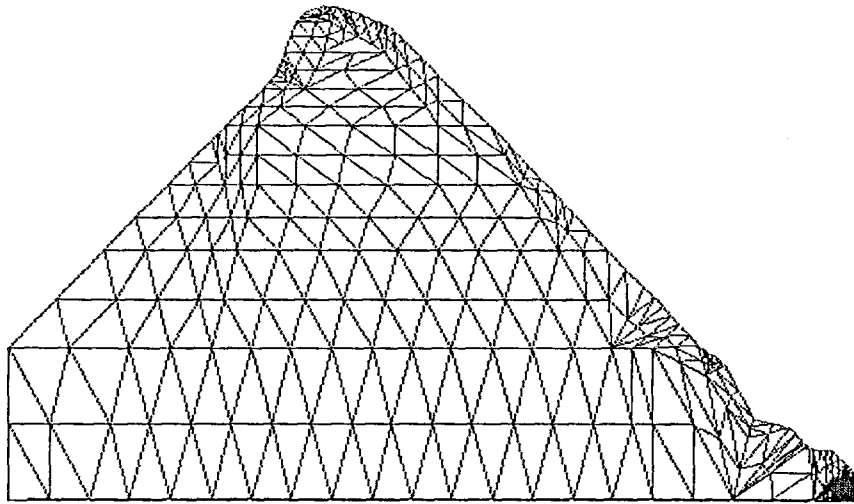
Şekil 6.11. BULLERS izolatörü için  $f(i)$  ve  $F_m(I_m)$  eğrileri ( $r_d=0,3$  cm)

### 6.3. 80AL146W İzolatörü

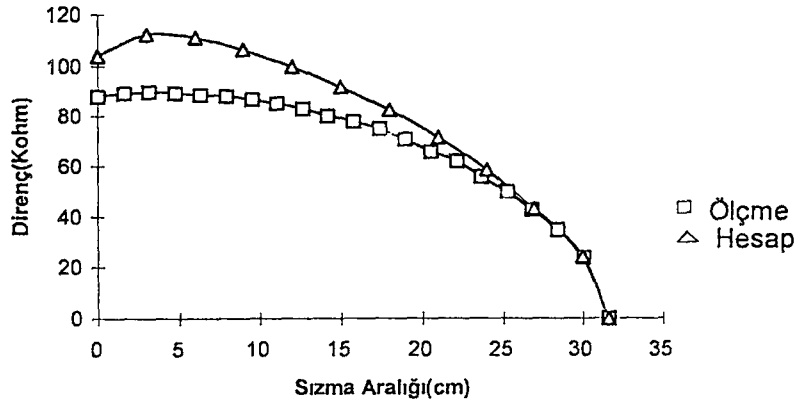
Şekil 6.12 'de 80AL146W izolatörüne ait AR modelinin üçgen elemanlar ile bölmelenmiş hali görülmektedir.

Şekil 6.13 'de 0,15 cm ve Şekil 6.14 'de 0,3 cm sonda yarıçapları için direnç-sızma aralığı grafikleri, hesap ve ölçme sonuçları karşılaştırılarak verilmiştir.

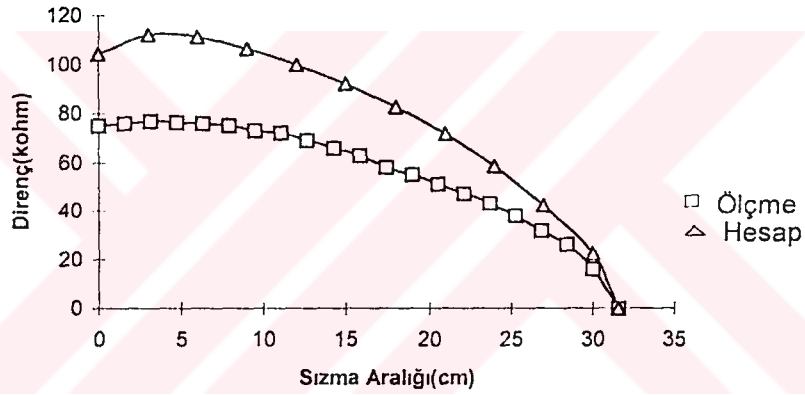
Şekil 6.15 'de 0,15 cm ve Şekil 6.16 'da 0,3 cm sonda yarıçapları için  $f(i)$  ve  $F_m(I_m)$  eğrileri görülmektedir.



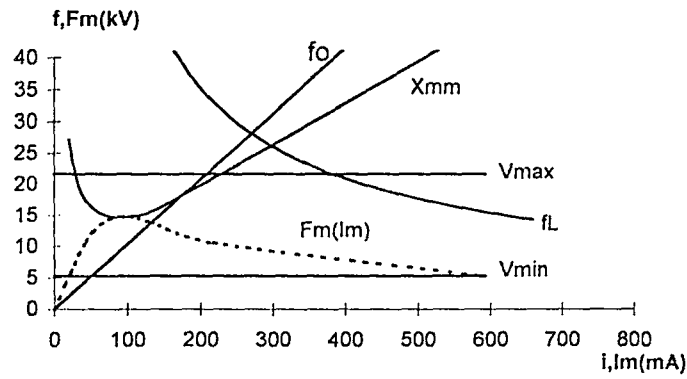
Şekil 6.12. 80AL146W izolatörü için AR modelinin üçgen elemanlarla bölmelenmiş hali



Şekil 6.13. 80AL146W izolatörü için ölçülen ( $r_d=0,15$  cm) ve hesaplanan  $R(x)$  değişimleri

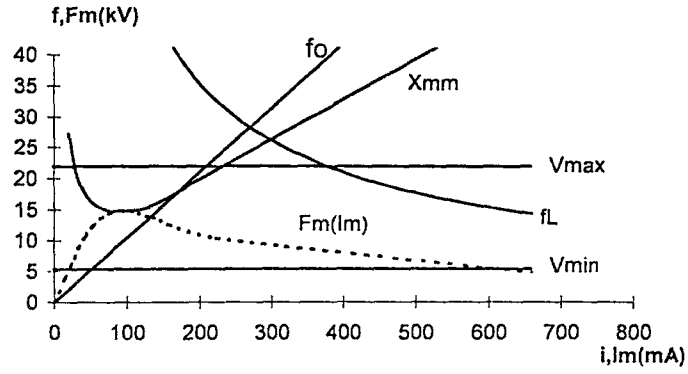


Şekil 6.14. 80AL146W izolatörü için ölçülen ( $r_d=0,3$  cm) ve hesaplanan  $R(x)$  değişimleri



Şekil 6.15. 80AL146W izolatörü için  $f(i)$  ve  $F_m(I_m)$  eğrileri ( $r_d=0,15$  cm)





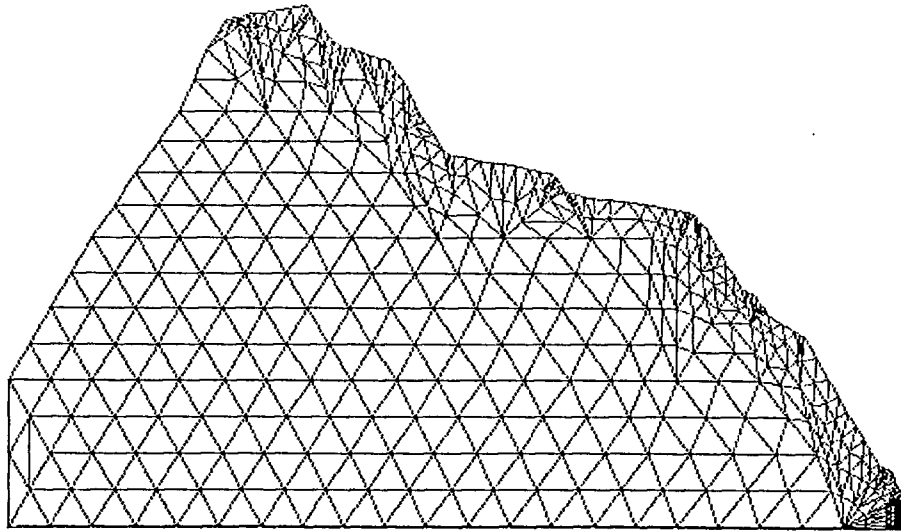
Şekil 6.16. 80AL146W izolatörü için  $f(i)$  ve  $F_m(I_m)$  eğrileri ( $r_d=0,3$  cm)

#### 6.4. 80F140W İzolatörü

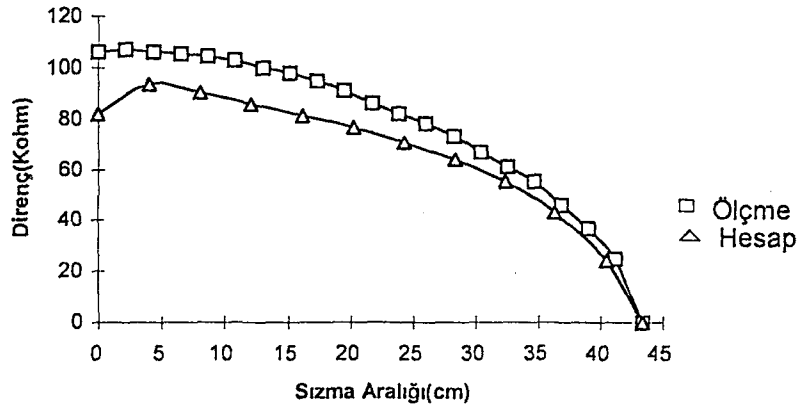
Şekil 6.17 'de 80F140W izolatörüne ait AR modelinin üçgen elemanlar ile bölmelenmiş hali görülmektedir.

Şekil 6.18 'de 0,15 cm ve Şekil 6.19 'da 0,3 cm sonda yarıçapları için direnç-sızma aralığı grafikleri, hesap ve ölçme sonuçları karşılaştırılarak verilmiştir.

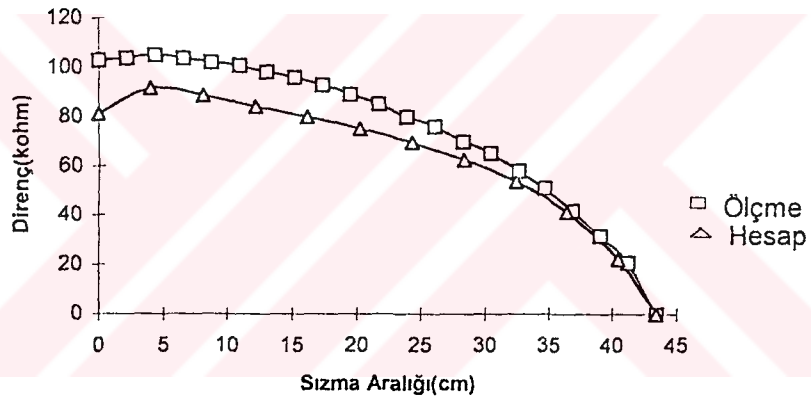
Şekil 6.20 'de 0,15 cm ve Şekil 6.21 'de 0,3 cm sonda yarıçapları için  $f(i)$  ve  $F_m(I_m)$  eğrileri görülmektedir.



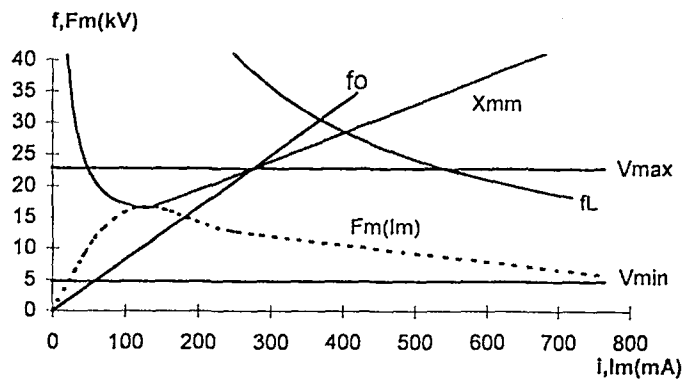
Şekil 6.17. 80F140W izolatörü için AR modelinin üçgen elemanlarla bölmelenmiş hali



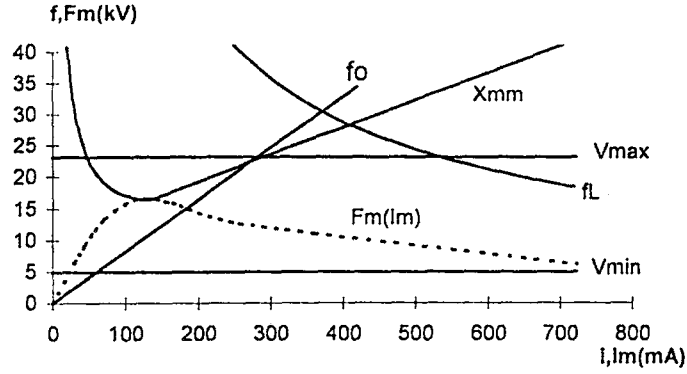
Şekil 6.18. 80F140W izolatörü için ölçülen ( $r_d=0,15$  cm) ve hesaplanan  $R(x)$  değişimleri



Şekil 6.19. 80F140W izolatörü için ölçülen ( $r_d=0,3$  cm) ve hesaplanan  $R(x)$  değişimleri



Şekil 6.20. 80F140W izolatörü için  $f(i)$  ve  $F_m(I_m)$  eğrileri ( $r_d=0,15$  cm)



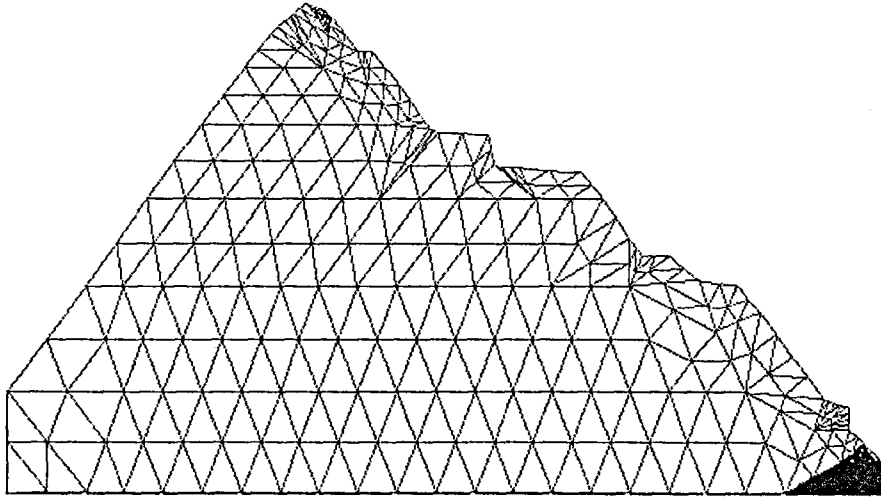
Şekil 6.21. 80F140W izolatörü için  $f(i)$  ve  $F_m(I_m)$  eğrileri ( $r_d=0,3$  cm)

### 6.5. F7 İzolatörü

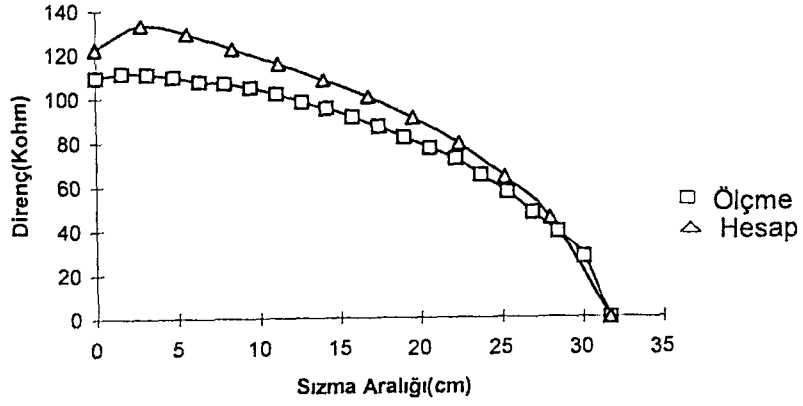
Şekil 6.22 'de F7 izolatörüne ait AR modelinin üçgen elemanlar ile bölmelenmiş hali görülmektedir.

Şekil 6.23 'de 0,15 cm ve Şekil 6.24 'de 0,3 cm sonda yarıçapları için direnç-sızma aralığı grafikleri, hesap ve ölçme sonuçları karşılaştırılarak verilmiştir.

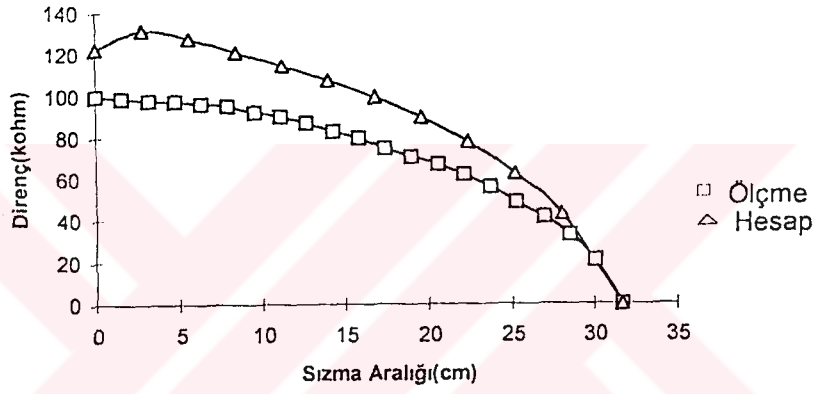
Şekil 6.25 'de 0,15 cm ve Şekil 6.26 'da 0,3 cm sonda yarıçapları için  $f(i)$  ve  $F_m(I_m)$  eğrileri görülmektedir.



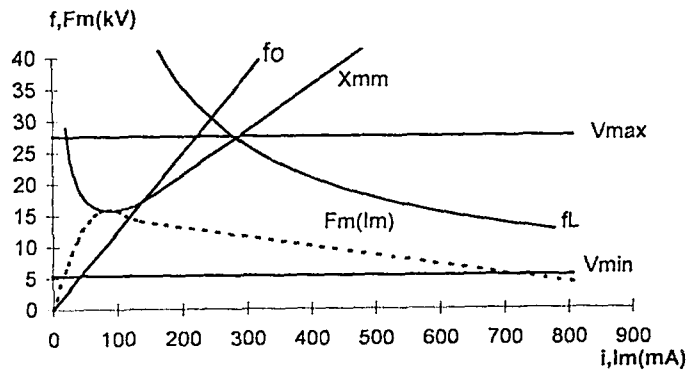
Şekil 6.22. F7 izolatörü için AR modelinin üçgen elemanlarla bölmelenmiş hali



Şekil 6.23. F7 izolatörü için ölçülen ( $r_d=0,15$  cm) ve hesaplanan  $R(x)$  değişimleri

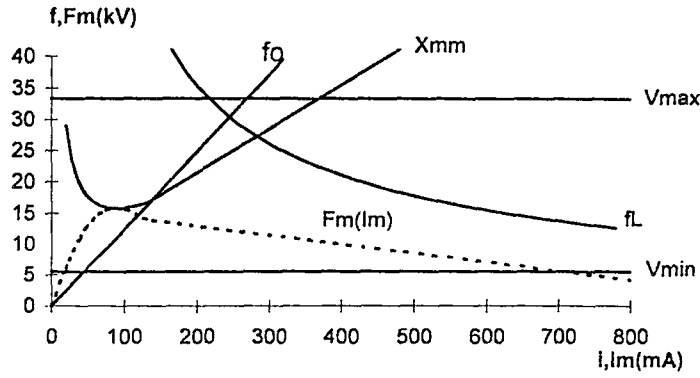


Şekil 6.24. F7 izolatörü için ölçülen ( $r_d=0,3$  cm) ve hesaplanan  $R(x)$  değişimleri



Şekil 6.25. F7 izolatörü için  $f(i)$  ve  $F_m(I_m)$  eğrileri ( $r_d=0,15$  cm)

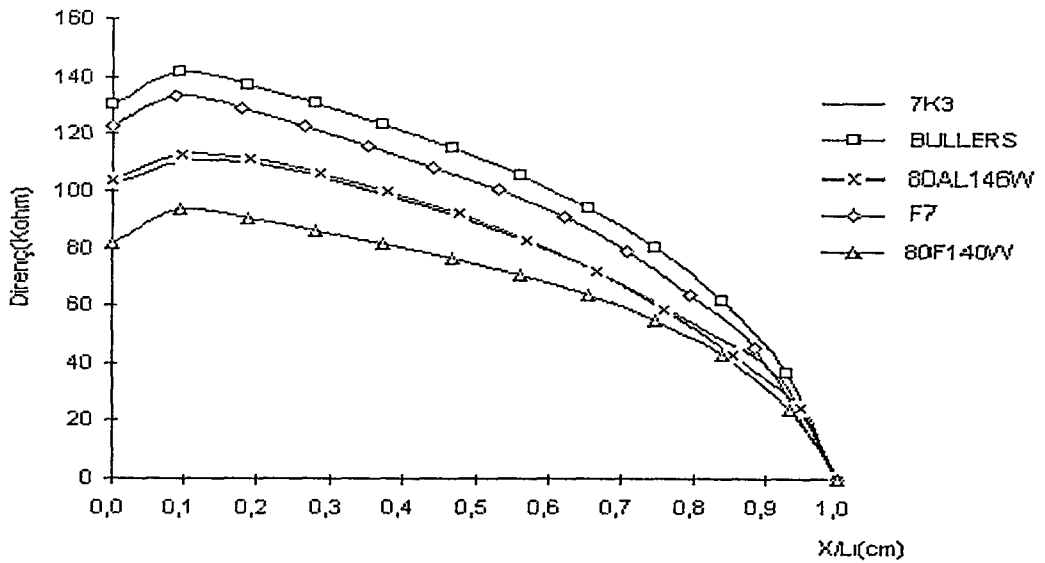




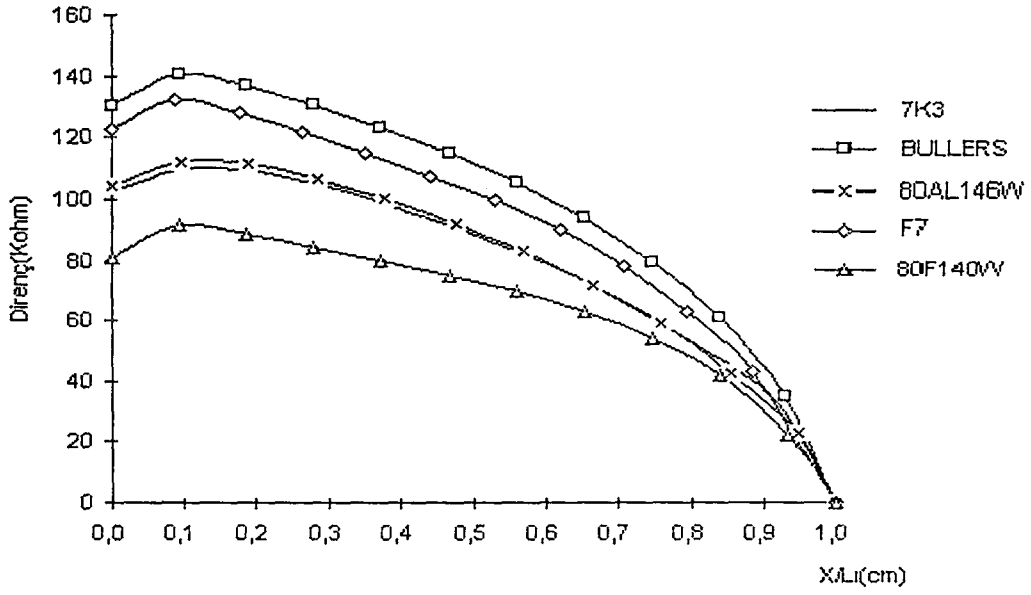
Şekil 6.26. F7 izolatörü için  $f(i)$  ve  $F_m(l_m)$  eğrileri ( $r_d=0,3$  cm)

## 6.6. Sonuçların Karşılaştırılması

Şekil 6.27 'de 0.15 cm ve Şekil 6.28 'de 0.3 cm sonda yarıçapları için hesaplanan direnç değerleri bir arada verilmiştir. Sonda yarıçapının artmasıyla direnç değerlerinde önemsiz bir azalış olmaktadır. BULLERS izolatörü en büyük direnç değerlerine sahipken, 80F140W izolatörü ise en küçük direnç değerlerine sahiptir. 7K3 ile 80AL146W izolatörleri birbirlerine çok yakın direnç değişimi göstermektedirler.



Şekil 6.27. 0.15 cm sonda yarıçapı için hesaplanan direnç değerleri



Şekil 6.28. 0.3 cm sonda yarıçapı için hesaplanan direnç değerleri

Şekil 6.3 'den görüldüğü gibi ölçme ile hesap sonuçları arasında %14.2 'ye varan farklar mevcuttur. Şekil 6.4 'de ise maksimum fark %19.4 'dür. Şekil 6.8 'de maksimum fark %20.5, Şekil 6.9 'da ise %26.4 'dür. Teorik ve deneysel değerler arasındaki en büyük fark; Şekil 6.13 'de %18, Şekil 6.14 'de %39.2, Şekil 6.18 'de %22.7, Şekil 6.19 'da %21.3, Şekil 6.23 'de %11.4 ve Şekil 6.24 'de %22.6 'dır. Görüldüğü gibi sonda yarıçapının artmasıyla sonuçlar arasındaki fark büyümektedir.

Şekil 6.5 'de  $X=0$  'a tekabül eden  $f_0$  eğrisine ilk eğri ve  $X=L$  'ye tekabül eden  $f_L$  eğrisine atlama eğrisi denir.  $F_m(I_m)$  eğrisi ise minimum noktalar eğrisidir. Kritik deşarj uzunluğuna tekabül eden ve kritik bir noktada minimum dönüş noktasına sahip olan  $X_{mm}$  eğrisine kritik eğri denir.

Şekil 6.6 'dan görüldüğü gibi ( $r_d=0.3$  cm), sonda yarıçapının artması eğriler üzerinde çok fazla bir değişikliğe neden olmamıştır.

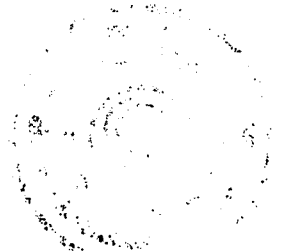
Şekil 6.10 ve Şekil 6.11 'de görüldüğü gibi  $X=X_{mm}$  'e tekabül eden  $f(i)$  eğrisinin minimum dönüş noktası aynı zamanda  $F_m(I_m)$  minimum noktalar eğrisinin maksimum noktasıdır. Şekil 6.15 'de izolatöre  $V_{min}$  değerinde bir gerilim uygulanırsa,  $V_{min}$  doğrusu en az  $X=X_{mm}$  'e tekabül eden  $f(i)$  eğrisini kesemez. Bu durumda atlama denklemi sağlanamayacağından atlama meydana gelemez. Şekil 6.20 'de izolatöre  $V_{max}$  değerinde

bir gerilim uygulanırsa,  $V_{max}$  doğrusu  $X$  'in bütün değerleri için  $f(i)$  eğrilerini keseceğinden atlama meydana gelebilir. Şekil 6.25 'de gösterilen  $F_m(I_m)$  eğrisinin dönüş noktası, atlama yapmayan gerilimlerin üst sınırı olan dayanım gerilimini verecektir.

Tablo 6.2 'de, incelenen izolatörler için hesaplanan çeşitli değerler verilmiştir. Bu değerlerin bulunmasında kısım 5.6 'da verilen formüller kullanılmıştır.

7K3 izolatörü için (sonda yarıçapı 0.15 cm) kritik gerilimin minimum değeri 4.71 kV, maksimum değeri ise 20.98 kV 'tur (Tablo 6.2). Sonda yarıçapının 0.3 cm olması durumunda (Şekil 6.6), bu değerlerde çok küçük bir değişiklik olduğu gözlenmektedir (4.78 kV, 21.34 kV). Şekil 6.11 'den görüldüğü gibi sonda yarıçapının artmasıyla minimum gerilimde fazla bir değişiklik olmazken maksimum gerilim 33 kV 'u aşmaktadır. Dayanım gerilimi de 19 kV civarındadır. Şekil 6.15 'de maksimum gerilim BULLERS izolatöründen daha küçük, ancak 7K3 izolatöründen daha büyüktür. Dayanım gerilimi ise 14.79 kV 'dur. Tablo 6.2 'den görüldüğü gibi, Şekil 6.20 'de gösterilen 80F140W izolatörünün dayanım gerilimi 16.8 kV 'a kadar çıkmaktadır. Kritik akımın en büyük değeri de 169 mA olarak 80F140W izolatöründe görülmektedir. Şekil 6.25 'deki F7 izolatöründe kritik akım değeri 108.2 mA 'dır. İncelenen izolatörler içerisinde en büyük kritik gerilim değerine sahip izolatör F7 'dir (32.43 kV). Bu gerilim değeri Şekil 6.26 'da gösterilen 0.3 cm sonda yarıçapı için 32.86 kV 'a çıkmaktadır. Maksimum kritik gerilim Şekil 6.25 'de 27.55 kV iken, Şekil 6.26 'da 33.35 kV 'tur.

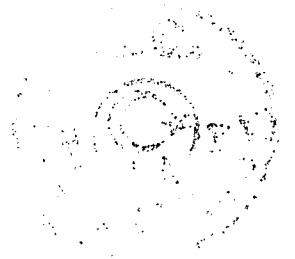
Tablo 6.2 incelendiğinde BULLERS izolatörünün en büyük dayanım gerilimine (19.2 kV), en büyük kritik gerilime (36.2 kV) ve en büyük  $V_{max}$  değerine (30.3 kV) sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle BULLERS izolatörünün en iyi atlama performansına sahip olduğu söylenebilir. 14.26 kV ile en az dayanım gerilimine sahip olan 7K3 izolatörü ise atlama açısından en kötü performansı gösterir. 7K3 izolatörünün en küçük sızma uzunluğuna sahip olması dikkat çekicidir. İzolatör geometrisi açısından benzer olan BULLERS ile 80F140W izolatörleri birbirlerine yakın bir performans gösterirler. 7K3 ile 80AL146W izolatörlerinin de atlama davranışları birbirlerine yakındır. 80AL146W ve F7 izolatörlerinin sızma uzunlukları ve dolayısıyla kritik deşarj uzunlukları birbirine çok yakındır. Sonda yarıçapının artmasıyla dayanım gerilimleri azalmaktadır.



Tablo 6.2. İncelenen izolatörler için hesaplanan değerler

İzolatör tipi	7K3		BULLERS		80AL146W		80F140W		F7	
Sonda yarıçapı $r_d$ (cm)	0.15	0.3	0.15	0.3	0.15	0.3	0.15	0.3	0.15	0.3
Kritik gerilim $V_c$ (kV)	28.56	29.48	36.2	36.9	31.6	32	28.5	28.56	32.43	32.86
Kritik akım $I_c$ (mA)	112.4	108.8	124.2	121.8	110.8	109.5	169	168.5	108.2	106.8
Min gerilim $V_{min}$ (kV)	4.71	4.78	6.2	6.28	5.29	5.37	4.81	4.9	5.37	5.49
Max gerilim $V_{max}$ (kV)	20.98	21.34	30.3	33.47	21.67	21.89	22.85	23.09	27.55	33.35
Min akım $I_{min}$ (mA)	46.11	46.73	47.61	48.27	51	51.43	58.8	60.44	43.79	44.77
Max akım $I_{max}$ (mA)	205.4	208.5	232.7	257	208.5	209.5	279	285	224.8	272
Dayanım gerilimi $V_d$ (kV)	14.26	14.09	19.2	19.02	14.79	14.76	16.8	16.64	15.97	15.82
Sızma uzunluğu $L$ (cm)	28,95		40,55		31,6		43,41		31,65	
Kritik deşarj uz. $X_c$ (cm)	16,45		23,04		17,95		24,66		17,98	

Tablo 6.1 'de, incelenen izolatör elemanlarının izolatör zincirini oluşturma sayıları verilmiştir. Buna göre; dayanım gerilimi 19.2 kV olan BULLERS izolatörü 9 elemanlı zincir izolatörünü oluşturduğunda dayanım gerilimi 172.8 kV olacaktır. Benzer şekilde en az dayanım gerilimine sahip olan (14.26 kV) 7K3 izolatörü 7 elemanlı zinciri oluşturduğunda toplam dayanım gerilimi 99.82 kV olacaktır.





## 7. SONUÇ

Yüksek gerilim izolatörlerinde çevresel kirlenmelerin meydana getirdiği kirlenme atlamalarını önlemek için çok çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve değişik fikirler ileri sürülmüştür. Ancak probleme tam anlamıyla çözüm getirecek bir yöntem henüz bulunamamıştır.

İzolatörlerin kirli şartlarda davranışlarının analitik olarak belirlenmesi; kirli bölgeler için kolayca izolatör seçimi ve izolatör dizayn ve koordinasyonu için büyük önem taşımaktadır. Teorik çalışmalarda temel zorluklar izolatörün kompleks şeklinden ve atlama olayının karmaşıklığından kaynaklanmaktadır.

Kirlenme atlamasını önlemek için ilk yapılması gereken, mekanizması çok karmaşık olan atlama olayının aydınlatılmasıdır. Bu amaçla deşarj öncesi ve deşarj esnasında kir tabakası direncindeki değişmelerin doğru olarak bilinmesi ve atlama denkleminde gözönüne alınması gerekir. Bunun için çeşitli izolatör eşdeğer modelleri geliştirilmiştir. İzolatör için model kullanımı hesaplamalarda önemli kolaylıklar sağlar ve deneysel çalışmaya ihtiyaç bırakmaz.

Bu çalışmada atlama davranışı pratikten bilinen 5 tip izolatör dikkate alınmıştır. Bu izolatörlerin arka seri direnç değişimleri, efektif öz direnç değerleri ve  $I_{max}$ ,  $I_{min}$ ,  $V_{max}$ ,  $V_{min}$  gibi büyüklükleri hesaplanmış ve bu büyüklükler deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

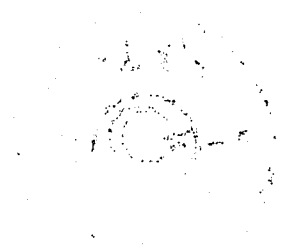
Direnç-sızma aralığı grafiklerinden ve elde edilen potansiyel değerlerinden görüldüğü gibi; aynı model için  $R(x)$  değişimi deşarjın model üzerindeki yayılma konumuna göre farklılık gösterir. Ayrıca hesaplanan direncin büyüyen sonda çapı ile azaldığı görülmektedir.

Ölçme ve hesap sonuçları arasındaki farkın en önemli sebebi laboratuvar koşullarının yeterince temsil edilemeyişidir. Rumeli(1979), sonuçlarını laboratuvar da su jeti deneyi ile elde etmiştir. Teorik hesaplamalarda ise izolatörün kuru bir kir tabakası ile kaplandığı kabulü yapılmıştır. Ayrıca uygulanan gerilimin alternatif olması halinde, akımın sıfırdan geçişleri esnasında deşarjın yayılımını kontrol etmek güçtür. Bu nedenle izolatöre doğru bir gerilim uygulanmış ve bu gerilim değerinin alternatif gerilimin tepe değerine eşit olduğu varsayılmıştır. Hesaplamalarda kir tabakasının ısınması ihmal edilirken, deneylerde ısınma faktörü de dikkate alınmıştır.

Bir izolatörün AR modeli üçgen elemanlar ile bölmelenirken, özellikle izoparametrik elemanların kullanılması gereken kısımlar çok sayıda üçgene bölünerek köşe yapılması önlenmelidir. Aksi takdirde sonuçların doğruluğu azalacaktır.

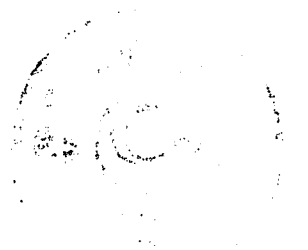
Bu çalışmadan destek almak suretiyle yüzeydeki kir tabakası iletkenliğinin (soğuk ve sıcak kir iletkenliği) ark öncesinde ve ark başlangıcındaki değişimlerinin belirlenerek hesaplara katılması şeklinde ileri çalışmalar yapılabilir. Böylece bir izolatörde ark oluşana kadar geçen süre içerisinde yüzeyin her bir noktasındaki direnç değişimleri ve ön deşarjların oluşacağı bölgeler belirlenerek, tasarım açısından bu değişimlerin izolatör şekli ile olan ilişkileri incelenebilir.

Bu çalışmada incelenen izolatörler zincir tip izolatörlerdir. Çubuk tip izolatörler de incelemeye tabi tutularak, atlama performansı açısından zincir tip izolatörler ile karşılaştırılabilir. Teorik hesaplamaların geçerliliğini daha açık şekilde ortaya koyabilmek açısından benzer hesaplamalar; yıllar süren tabii ve suni testlerle, kirli şartlar altında davranışları incelenen çok sayıda izolatör ve farklı kirlilik durumları için yapılmalıdır.



**KAYNAKLAR**

- ANJANA, S., and LAKSHMINARASIMHA, C. S., (1989). **Computation of Flashover Voltages of Polluted Insulators Using Dynamic Arc Model.** Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans.
- BENDAPUDI, S. RAM., (1988). **Flashover Voltage of Contaminated Insulators.** Conference Record of the 1988 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston.
- ÇANAKÇI, M., (1993). **Sonlu Elemanlar Yöntemi Yardımıyla Yüksek Gerilim İzolatörlerinde Yüzey Alan Dağılımının Hesabı.** Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- EL-ARABATY, A., NOSSEIR, A., EL-DEBEIKY, S., EL-AWADY, A., NASSER, E., EL-SARKY, A., (1983). **Effects of Insulator Shape, Dimensions and Material on its Flashover Characteristics.** Fourth International Symposium on High Voltage Engineering, Athens-Greece.
- HAZNADAR, Z., SOKOLJA, K., SADOVIC, S., (1989). **Dynamic Model of Pollution Flashover.** Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans.
- LOOMS, J. S. T., (1988). **Insulators for High Voltages.** Peregrinus, P., 276 p., London.
- RUMELI, A., (1971). **İzolatör Dizayn ve Koordinasyonu ve Bazı İzolatörlerin Kirli Şartlar Altındaki Davranışlarının Mukayesesi** Elektrik Mühendisliği 178:35-39



RUMELİ, A., (1972). Kir Altında İzolatör Testleri Elektrik Mühendisliği, 185:99

RUMELİ, A., (1979). Homojen Kirle Kaplı Yüksek Gerilim İzolatörlerinin Dayanım Gerilimlerinin Hesaplanması. Profesörlük Tezi, 53 sayfa, ODTÜ, Ankara.

RUMELİ, A., HIZAL, M., DEMİR, Y., (1981). Analytical Estimation of Flashover Performances of Polluted Insulators. ISPPISD, Madras.

SHESHAGIRI RAO, U. R., RAM MOHAN, V. B., LAKSHMINARASIMHA, C. S., (1989). Effect of Humidity on the Impulse Flashover Voltage of Insulators (11 kV to 400 kV Class) and Insulators (11 kV to 33 kV Class). Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans.

SUNDARARAJAN, R., GORUR, R. S., (1993). Dynamic Arc Modeling of Pollution Flashover of Insulators Under DC Voltage. IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol.28 No.2

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