

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNDE
KİRLENME ATLAMASININ DİNAMİK ARK MODELİ

Zafer AYDOĞMUŞ

96361

DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ELAZIĞ

2000

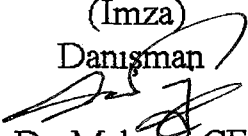
T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNDE
KİRLLENME ATLAMASININ DİNAMİK ARK MODELİ

Zafer AYDOĞMUŞ

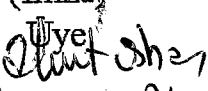
DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

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

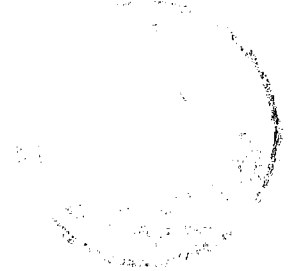
(İmza)
Danışman

Doç. Dr. Mehmet CEBECİ

(İmza)
Üye

Doç. Dr. M. Salih Mamış

(İmza)
Üye

Y. Doç. Dr. Ahmet Orhan

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu 'nun
...../...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.



ÖZET

DOKTORA TEZİ

**YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNDE
KİRLLENME ATLAMASININ DİNAMİK ARK MODELİ**

Zafer AYDOĞMUŞ

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
2000, Sayfa:92

Tüm dünyada elektrik enerjisine olan talebin artması, büyük miktarlarda elektrik gücünün uzak mesafelere iletilmesini zorunlu kılmıştır. Bunun sonucu olarak üretim ve iletimde yeni problemler ortaya çıkmıştır. İletim problemlerinin en önemlisi elektriksel izolasyonun sağlanmasıdır. Yüksek Gerilimde izolasyon amacıyla kullanılan izolatörlerin performansı, özellikle atmosferik kirlenmeler nedeniyle azalmakta ve iletim hatlarında işletme esnasında çeşitli arızalar meydana gelmektedir. Bu olumsuzluğu gidermek amacıyla, araştırmacılar tarafından çeşitli teknikler geliştirilmiş; ancak probleme kesin bir çözüm henüz bulunamamıştır.

Bu çalışmada, Yüksek Gerilim İzolatörlerinde işletme süresince yüzeysel kirlenmelerden meydana gelen atlama olayı için yeni bir model geliştirilmiş; böylece problemin çözümüne ve izolatörler üzerinde yapılan performansı iyileştirme çalışmalarına katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Bunun için önce atlama olayının fiziği ve bu konuda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Sonra Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak, yüzeyi kir ile kaplı bir

izolatörde potansiyel ve alan dağılımları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlere göre, izolatör yüzeyi üzerinde kısmi deşarja neden olabilecek noktalar belirlenerek atlama kriterleri ile kontrol edilmiştir. Kısmi deşarjların zamana bağlı olarak yayılması, kirli izolatör yüzeyinden kaçak akımın artması ve olayın yüzeysel atlama ile sonuçlanmasına neden olmaktadır. Bütün bu durumları göz önüne alan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program, problemi zaman ve iletkenlik değişimlerine bağlı olarak inceleyebilir.

Program üzerinde yapılan çalışmalarla, izolatörlerin yüzeyi üzerindeki alan şiddeti değişimleri, arka seri kir direnci değişimleri ve atlama gerilimleri hesaplanarak grafikleri çizdirilmiş ve başka araştırmacıların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İzolatör, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Kirlenme Atlaması, Atlama Denklemi, Dinamik Model.

SUMMARY

PhD Thesis

**DYNAMIC ARC MODELING OF POLLUTION FLASHOVER
OF HIGH VOLTAGE INSULATORS**

Zafer AYDOĞMUŞ

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

2000, Page:92

Increasing in demand of electrical energy in the world, transmission of large amount of electrical power to long distance has been necessary. As a result of this, new problems appear on both production and transmission. Most important problem on transmission is to satisfy electrical insulation. The performance of insulators used for insulation in high voltage decreases by atmospheric pollutions and some faults occur on the power line during operation. To remove this problem, some techniques has been developed by investigators, but a satisfactory solution has not been found yet.

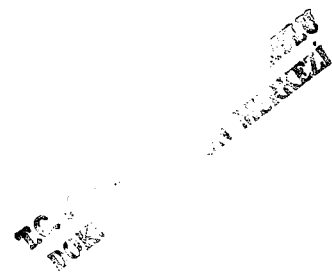
In this work, a new model has been developed to represent flashover phenomenon which occurs by means of surface pollution during operation conditions on high voltage insulators. By aiming, to solve this problem and to help contribute to the efforts for improving the performance.

With this aim first, the physics of flashover phenomenon and studies on this subject were investigated. Then using Finite Element Method, potential and electrical

field distribution on a polluted insulator have been calculated. According to the calculated values, nodes which may cause discharges on insulator surface have been determined and controlled with flashover criteria. Propagation of time depended discharge causes on increase in the leakage current on insulator surface and results surface flashover. A computer program which considers all of this cases has been developed. The computer program can investigate the problem depend in both on the time and the conductivity variation.

Electrical field strength variation on insulator surface, pollution resistance variations serial with arc and flashover voltages have been calculated and plotted. Then the results have been compared with other investigators results.

Key Words: Insulator, Finite Element Method, Pollution Flashover, Flashover Equation, Dynamic Model.



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında bilgileriyle beni yönlendiren, tezin bütün aşamalarında her türlü yardımlarını benden esirgemeyen çok kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet CEBECİ 'ye minnet ve şükran duygularımı arz ederim.

Bu çalışmayı 305 no.lu proje olarak destekleyen Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu (FÜNAF) yöneticileri ile çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince beni her konuda destekleyen mesai arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, manevi desteklerinden dolayı tüm aile fertlerime sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	II
SUMMARY	IV
TEŞEKKÜR.....	VI
İÇİNDEKİLER.....	VII
ŞEKİLLER.....	IX
TABLolar.....	XI
SEMBOLLER.....	XII

1.GİRİŞ.....	1
1.1. İzolatör Yüzeyinde İletken Film Tabakasının Oluşumu	2
1.1.1. Kir tabakasının oluşumu	3
1.1.2. İzolatör yüzeyinde kir birikimini etkileyen faktörler:	4
1.1.3. Kir tabakasının nemlenmesi.....	8
1.2. Kuru Bantların Oluşumu ve Ön-Deşarjların Başlaması.....	9
1.3. Ön-Deşarjların Büyümesiyle Atlama Oluşumu	10
1.3.1. Kirli yüzeylerde gözlenen ön-deşarjların tipleri	10
1.3.2. Kirli yüzeylerdedeşarjın büyümesi	11
1.4. Tasarımla İlgili Tedbirler	15
1.4.1. İşletme süresince uygulanacak tedbirler	16
1.5. Çalışmanın Amacı.....	17
2. ATLAMA OLAYININ GENEL TEORİSİ	18
2.1. Genel Bilgi	18
2.2. Atlama Gelişiminin Fazları	19
2.3. Deşarjın Oluşmadığı Safhalar	20
2.4. Deşarj Safhaları.....	21
2.5. Ark Büyümesi	21
2.6. Atlama Denklemi	22
2.7. Bir Ark Kökünün Kirli İzole Bir Yüzeyde Hareketi ve Atlama	26

2.7.1. Bir ark kökü için atlama denklemi	26
2.7.2. Bir ark kökü için atlama şartı	28
2.7.2.1. Özel durum : $\phi > 0$	29
2.7.2.2. Özel durum : $\phi = 0$	30
2.7.2.3. Özel durum : $\phi < 0$	30
2.8. İki Ark Kökünün Kirli İzole Bir Yüzeyde Hareketi ve Atlama	31
2.8.1. İki ark kökü için atlama denklemi	31
2.8.2. İki ark kökü için atlama şartı	32
3. İZOLATÖR EŞDEĞER MODELLERİ	35
3.1. Genel Bilgi	35
3.2. Statik Model	35
3.2.1 Wilkins (RW) modeli	35
3.2.2. Rumeli (AR) modeli	36
3.2.3. Dairesel şerit model	38
3.3. Dinamik Model	40
3.3.1 Sundararajan ve Gorur modeli	40
3.3.2. Bu çalışmada geliştirilen yeni model	44
4. BİLGİSAYAR PROGRAMI	49
4.1. Giriş	49
4.2 SERIT Altprogramı	50
4.3 MESH Altprogramı	51
4.4. AR Altprogramı	51
4.5. ALPOR Altprogramı	52
4.6. FEMSOR Altprogramı	53
4.7. İzolatör Yüzeyinde Ark Yayılımının Program Yardımıyla İzlenmesi	55
5. UYGULAMA	56
6. SONUÇ	69
KAYNAKLAR	71
EK: BİLGİSAYAR PROGRAM LİSTESİ	77

ŞEKİLLER

Şekil 1.1	: Sis tipi bir izolatör için kirlenme deneyi	6
Şekil 1.2	: Kir tutulmasının şekille değişimi.....	6
Şekil 1.3	: Kir yoğunluğunun eğim açısıyla değişimi.....	8
Şekil 1.4	: Kirlenme atlamasının modeli	14
Şekil 2.1	: Kirlenme atlamasının safhaları.....	19
Şekil 2.2	: Ark büyümesinin değişik safhalarında ark hızı	22
Şekil 2.3	: Bir kısmi ark deşarjı için ideal model.....	24
Şekil 2.4	: İdeal modelin gerilim eğrileri	26
Şekil 2.5	: $f(i)$ eğrisi T_1 ve T_2 çalışma noktaları ve Q 'nun işareti	28
Şekil 2.6	: Kirli bir yüzeyde bir ark kökünün hareketi için $v-i$ değişimi ($\phi > 0$)	29
Şekil 2.7	: Kirli bir yüzeyde bir ark kökünün hareketi için $v-i$ değişimi ($\phi = 0$)	30
Şekil 2.8	: Kirli bir yüzeyde bir ark kökünün hareketi için $v-i$ değişimi ($\phi < 0$)	30
Şekil 2.9	: Kirli bir yüzeyde iki ark kökünün hareketi: a)elektrotlardan başlayan iki ark, b) orta bölgede bir ark	31
Şekil 2.10	: Kirli izole bir yüzeyde iki ark kökünün yayılımı halinde (v_1-v_2) düzleminde atlama bölgesi	33
Şekil 3.1	: İzolatör RW ve AR yarı modelleri	37
Şekil 3.2	: Dairesel şerit model.....	38
Şekil 3.3	: Dönüştürülmüş dairese şerit	38
Şekil 3.4	: a)Arkın meydana geldiği kirli izolatör, b) Obenaus modeli.....	41
Şekil 3.5	: Kirlenmiş izolatörlerde arkın yayılımı.....	42
Şekil 3.6	: Direnç hesabı	46
Şekil 3.7	: Yeni modelde kuru bant oluşumu.....	48
Şekil 4.1	: Programa ait genel akış diyagramı	49
Şekil 4.2	: SERIT altprogramına ait akış diyagramı	50
Şekil 4.3	: AR altprogramına ait akış diyagramı	51
Şekil 4.4	: ALPOR altprogramına ait akış diyagramı	53
Şekil 4.5	: FEMSOR alt programına ait akış diyagramı	54
Şekil 5.1	: İzolatöre ait Sonlu Eleman bölmelemesi.....	56
Şekil 5.2	: Çözüm bölgesinin yakınlaştırılması	56

Şekil 5.3	: BSFT-9336 izolatörüne ait temiz durumdaki potansiyel dağılımı: a) ANSYS, b) program.....	57
Şekil 5.4	: Sızma aralığı boyunca alan şiddeti dağılımı.....	57
Şekil 5.5	: M=1 için U40BL tipi zincir izolatörün yüzey bölmelemesi (a) üstten görünüş, (b) alttan görünüş.....	58
Şekil 5.6	: M=2 için U40BL tipi zincir izolatörün yüzey bölmelemesi (a) üstten görünüş, (b) alttan görünüş.....	58
Şekil 5.7	: BSFT-9336 izolatörüne ait AR Modeli).....	59
Şekil 5.8	: Ark yayılışının programla izlenmesi: a) kısmi deşarjların başlaması b) kısmi deşarjların ilerlemesi	60
Şekil 5.9	: $\sigma=2,5 \mu\text{S}$ için eşpotansiyel eğriler.....	62
Şekil 5.10	: $\sigma=5 \mu\text{S}$ için eşpotansiyel eğriler.....	62
Şekil 5.11	: $\sigma=10 \mu\text{S}$ için eşpotansiyel eğriler.....	62
Şekil 5.12	: $\sigma=40 \mu\text{S}$ için eşpotansiyel eğriler.....	62
Şekil 5.13	: $\sigma=15 \mu\text{S}$ iletkenliğinde, işletme gerilimin artışı durumunda elde (10-12-17,2 kV) edilen alan şiddeti değişimleri.....	63
Şekil 5.14	: $\sigma=15 \mu\text{S}$ iletkenliğinde, işletme gerilimin artışı durumunda elde (29,85-35,8-43 kV) edilen alan şiddeti değişimleri.....	63
Şekil 5.15	: İşletme geriliminde farklı iletkenlik değerleri için elde edilen (0-1-5 μS) alan şiddeti değişimleri.....	64
Şekil 5.16	: İşletme geriliminde farklı iletkenlik değerleri için elde edilen (10-40 μS) alan şiddeti değişimleri	64
Şekil 5.17	: Yeni modelin atlama gerilimi değerlerinin teorik ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.....	65
Şekil 5.18	: Aynı anda farklı noktalarda ark oluşması durumuna ilişkin, sızma aralığı-potansiyel değişimleri.....	65
Şekil 5.19	: Farklı noktalarda ark oluşması ve ark 'ın ilerleyişine ilişkin benzetim programı sonuçları	67

TABLOLAR

Tablo 1.1	: Kir tipleri ve parçacık çapları.....	4
Tablo 2.1	: Atlama olayının gelişimi	19
Tablo 2.2	: x_1 , x_2 ve i' 'nin beraberce artma ihtimali.....	34
Tablo 5.1	: BSFT-9336 izolatörü ile ilgili bilgiler.....	61
Tablo 5.2	: Atlama kriterini sağlayan örnek noktalar	66
Tablo 5.3	: Tek eleman için farklı σ değerlerinde hesaplanan atlama gerilimleri.....	66
Tablo 5.4	: $\sigma=15 \mu S$ için Şekil 5.19 'daki atlama aşamaları.	68



SEMBOLLER

σ	: Öz iletkenlik
h	: Kir tabakasının kalınlığı
σ_s	: Yüzeysel iletkenlik
G_0	: Doyma iletkenliği
F	: Form faktörü
L	: Toplam sızma boyu
dl	: Sızma yüzeyi boyunca uzunluk elemanı
$D(l)$	: dl 'ye tekabül eden izolatör çapı
V	: İşletme gerilimi
R	: Kir tabakasının direnci
x	: Ark uzunluğu
i	: Kir tabakasından akan akım
$E(i)$	: Ark gerilim gradyenti
V_{ka}	: Ark anot-katot gerilim düşümleri
A	: Ortam özelliklerine bağlı bir katsayı
n	: Ortam özelliklerine bağlı bir katsayı
W	: Kaçak akımdan dolayı açığa çıkan ısı enerjisi
Q	: Parametrik değişken
ϕ	: Parametrik değişken
ΔE	: Parametrik değişken
r	: Efektif kir birim uzunluk direnci
E_r	: Efektif kir gradyenti
E_{ark}	: Ark gerilim gradyenti
v	: Ark ucunun yayılma hızı
d_{eff}	: Efektif izolatör çapıdır
a	: Eşdeğer dikdörtgen modelin eni
I_c	: Deşarj uzaması için kritik akım
V_c	: Kritik gerilim
r	: Deşarj kökü merkezinin yarıçapı

- E_x : Alan şiddetinin x doğrultusundaki bileşeni
 E_y : Alan şiddetinin y doğrultusundaki bileşeni
 J : Akım yoğunluğu
 χ : Kir spesifik iletkenliği
SZTOP : Sızma aralığı toplam uzunluğu
XARKTOP : Meydana gelen arkların toplam uzunluğu



1.GİRİŞ

Elektrik enerjisine olan talep, dünyadaki hemen hemen bütün ülkelerde çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu oran genellikle, gelişmekte olan ülkelerde daha yüksektir. Hızlı endüstrileşme ve artan nüfus daha fazla elektrik üretimini gerektirmektedir.

Enerjiye olan talebi karşılamak için daha fazla sayıda yüksek gerilim iletim hattı, şalt sahası ve güç istasyonuna ihtiyaç duyulmuş ve iletim gerilimleri oldukça yüksek değerlere çıkarılmıştır. Her yıl çok sayıda yüksek ve çok yüksek gerilim iletim sistemi, bir çok ülkede işletmeye koyulmaktadır. Bugünün teknolojisiyle 1500 kV 'luk bir iletim gerilimi seviyesine ulaşılabilmiştir.

Şüphesiz, daha yüksek verim elde etmek için iletim gerilimini artırmak gerekir. Bu durumda bir çok sınırlamalar ortaya çıkar ki, bunların en önemlilerinden biri izolasyon problemidir. İletim hatlarında izolasyonu sağlamak için, porselen ve cam izolatörler kullanılırlar. Sentetik maddelerden yapılmış izolatörler de son yıllarda kullanılmaktadır.

Bir enerji iletim hattında kullanılan izolatörler aşağıdaki şartları sağlamalıdır:

- a) Hattı taşımak (mekanik şartları zorlanmadan sağlayabilmelidir),
 - b) Yüksek Gerilim (YG) hattını topraktan izole etmek (elektriksel yünden).
- İzolatörler bu ikinci şartı sağlamakta çoğu zaman başarısızdırlar. İzolatörlerde genel olarak üç tip arıza meydana gelir;
- a) İzolatörlerin delinmesi: İzolatörlerde delinme olayına işletme şartlarında nadiren rastlanır ve genellikle üretim hatası sonucu meydana gelir. Pratikte sentetik izolatörler için termal kararsızlık, korozyon ve ısıldama durumundaki kayıplara rastlanmaktadır.
 - b) Yıldırımdan dolayı atlama meydana gelmesi: Yıldırım, orta gerilim hatlarındaki arızanın esas sebebidir. İzolasyon seviyesi arttıkça yıldırımdan dolayı atlamalar azalmaktadır.
 - c) Kirlenme ve rutubet nedeniyle yüzeysel atlama oluşması: Bu olaya, “kirlenme atlaması” veya kısaca “atlama” denir. İzolatörlerde kirlenme ve sebep olduğu arızalar, önemli ve birçok çalışmaya konu olan bir enerji iletim problemidir.

Kirlenme atlaması, güç sistemlerinde oldukça yaygındır. Nemli endüstri bölgelerinde ve sahil kentlerindeki YG iletiminde önemi daha da artmaktadır. Bu

bölgelerde çalışan izolatörler, iletim sistemindeki arızaların kaynağıdır. Nemli ve kirli şartlar altında atlama, işletme geriliminde izolatör zinciri boyunca meydana gelir. Bu gerilim, zincirin kuruda atlama değerinden oldukça küçüktür.

Ekonomik ve teknik açıdan atlama özel bir öneme sahiptir. Bir çok durumlarda atlama, enerji iletiminde uzun süren kesintilere sebep olur (IEEE report, 1972). Böyle bir durum, endüstriyel ve sosyal hayatı felce uğratabilir. Özellikle yüksek gerilimlerde, yani büyük çapta enerji nakledilmesi halinde böyle bir kesintinin büyük ekonomik kayba sebep olacağı açıktır.

Atlama sonucu meydana gelen büyük ark akımı izolatörleri ve ark boynuzlarını tahrip edebilir. Eğer izolatör zincirinde koruma halkaları yoksa ve kesicilerin açma hızları yavaşsa, ark enerji nakil hattının iletkenini bile eritebilir. Ark, YG hattını toprakla kısa devre eder ve diğer fazlarda gerilim yükselmesine neden olur. Bunun sonucunda, sistemin topraklama metoduna ve kir durumuna göre diğer izolatör zincirlerinde de ark meydana gelebilir.

Atlamalar elektriğin fiyatını dolaylı olarak etkilerler. Aşırı izolasyon, temizleme, gresleme vb. birkaç tedbir, atlama olayını durdurmaya veya en azından sayısını azaltmaya yarayabilir. Bütün bunlar, çok büyük masraf gerektirir. Sistemin aşırı izolasyonu; iletim hattının toplam fiyatının önemli bir kısmını oluşturan direklerin boyutlarının büyümesine sebep olur (Megriche ve diğ., 1996).

Kirli izole bir yüzeyde atlamının olabilmesi için üç safha gereklidir. Bunlar;

- (a) Elektrolitik iletken film tabakasının oluşması,
- (b) Kuru bantların oluşması ve ön deşarjların başlaması,
- (c) Atlamayı meydana getirecek olan ön deşarjların büyümesi.

Servis şartlarında ilk iki durum sıkça meydana gelir, fakat bundan sonra atlama her zaman oluşmaz.

1.1. İzolatör Yüzeyinde İletken Film Tabakasının Oluşumu

Bu aşama genellikle iki kısma ayrılır; a) izolatör yüzeyinde kir tabakasının oluşumu, b) oluşan kir tabakasının nemlenmesi.

1.1.1 Kir tabakasının oluşumu

Kir, atlamının oluşmasında temel elemandır. Çok çeşitli kir türlerinin, kirlenme atlamasına neden olduğu bilinmektedir. Kir, genel olarak iki kategoride göz önüne alınır; (a) tuz veya deniz kiri, (b) kara bölgelerindeki kirler (yerleşim bölgelerinde genel kirler; çöl tozları, endüstriyel bölgelerde kuru tip kir vb. kül, is, katran, kömür tozu, çimento, alkali tuz, metal oksitler vb. ve kimyasal gazlar vb. Cl, F, S ve bunların O ve H ile bileşikleri). Kirin terkibi önemli bir faktördür. Çözünabilir iletken maddeleri yüksek derecede içeren kir türleri en tehlikeli olanıdır. Karbon, bazı metal oksitler veya metal içeren tozlar su yok iken dahi iletken hale gelebilirler.

Sahil kenarlarında deniz kiri yaygındır ve atlamaya neden olması yönüyle ciddi bir problemdir. Bir fırtınada, sahil bölgesinde, deniz suyu damlalar halinde izolatörlere yüksek bir oranda yapışır ve eğer yağmur olmazsa izolatör üzerinde kuru tuz kalıntıları birikir (Hirose ve diğ., 1972; Jacobsen ve diğ., 1972).

Endüstriyel bölgelerdeki kuru tip kir, nemli şartlar altında tehlikeli durumlar gösterebilir. Kimyasal gaz atıkları, sis olmasa bile, yüksek nemli ortamlarda, izolatör yüzeyinde kolayca iletkenliği yüksek bir film tabakası oluşturabilir. Bu film bütün yüzeyi veya en azından yüzeyin büyük bir kısmını kaplayabilir. Buna ek olarak, sır tabakasında tahribata ve metal bağlantı kısımları asit koruyucu boyayla boyanmamışsa korozyona neden olabilir.

Katı kirin kimyasal ve fiziksel özellikleri bölgeden bölgeye oldukça değişir. Fakat esas olarak kül, çimento, yağ, is vb. meydana gelir. Kirin iki ayrı özelliği olduğu kabul edilebilir:

- a) Yapışkan ve su emici vasıflı, kimyasal olarak aktif olmayan esas kısım (SiO_2) vb. gibi.
- b) Az bir yüzde oranında suda çözünerek, iyonlarına ayrılan ve elektriksel iletkenliği sağlayan maddeler. Endüstri bölgelerinde bu madde kalsiyum, sodyum, klor sülfat ve sülfat iyonları; sahil bölgelerinde ise özellikle sodyum ve magnezyum klorürdür.

Havada uçuşan küçücük kir parçacıklarının çapları farklı olmakla beraber 0.001-400 mikron civarındadırlar. Çimento tozu parçacıklarının çapları 1-20 mikron ve kül parçacıklarının çapları 30-180 mikron arasındadır.

Tablo 1.1. Kir tipleri ve parçacık çapları.

Kirin cinsi	apı(μ)
Duman	0.001-1
Mineral Tozu	1-100
Organik Toz	1-50
Sis Damlacığı	1-100

İşletme şartlarında izolatör yüzeyindeki kir dağılımı homojen değildir. Yağmur, rüzgar, evre kirliliği vb. dış etkenlerin yanı sıra, izolatörün bazı özellikleri de kir dağılımını önemli ölçüde etkiler.

Tren yollarında, tuz ve endüstriyel kirlere ilaveten, tren yolu hattı izolatörleri için diğer bir kir türü de, lokomotiften çıkan is ve dumandır. Güç istasyonları ve soğutma kuleleri kirin önemli kaynaklarıdır. Rüzgar yönüne bağlı olarak, soğutma kulelerinden sızan buhar, tek başına veya kömür tozu ve uçan küllerle beraber, güç istasyonları ve soğutma kuleleri yakınında bulunan açık istasyonlardaki izolatörlerde birikir. Bu, izolatör üzerinde yüksek iletkenlikte kir filmi oluşmasına neden olur ve atlamaya sebebiyet verir. Hidrolik santrallerde bu tip bir probleme rastlanmaz. Çimento üretilen bölgelerdeki izolatörler, rutubetli şartlarda, temizlenmesi çok zor olan sert bir imento katmanıyla kaplanır.

Atlama, tuz ya da endüstriyel asit gibi kirlerin suyla çözünmesiyle meydana gelir. Yaklaşık olarak 0.1 mg/cm^2 'lik kir yoğunluğu atlama için yeterlidir. Karbon parçacıklarından veya iyonik bileşeni olmayan mineral tozlardan oluşan kirde aralıklı noktasal deşarjlar olur, fakat atlama olmaz. Ancak bu kirler, çözünebilir tuzlarla birleştiği zaman önemli atlama problemleri doğurabilir.

1.1.2. İzolatör yüzeyinde kir birikimini etkileyen faktörler:

İzolatör yüzeyinde kirin birikme şekli birçok faktör tarafından kontrol edilir. Bölgenin meteorolojik parametrelerine ilaveten, izolatörün şekli de, kir toplanmasında önemli rol oynar. İzolatörün şekline bağlı olarak yağmur ve rüzgarın temizleme etkisi, kir birikiminde oldukça önemlidir.

Porselen izolatörler, düzgün bir yüzey sağlamak ve kirin izolatöre yapışmasını azaltmak için normal veya stabilize edilmiş bir sır tabakasıyla kaplanırlar. Stabilize edilmiş sır durumunda, küçük bir değeri olan stabilize akımı, izolatör yüzeyi boyunca akar, bu izolatör yüzeyini sıcak tutarak yüzeye kir yapışma ihtimalini azaltır. Bununla beraber, stabilize edilmiş sır tabakası kullanımının esas amacı, a.a. 'daki alternatif kapasitif akımın kir tabakasının kuru kalmasına yardımcı olmasıdır. Cam izolatörler, yüzeyi sır tabakasıyla kaplı porselen izolatörlere benzer bir karakteristiğe sahiptirler.

İzolatör, sürtünme katsayısı çok küçük olan ptfe (poli tetra flor etilen) tabakasıyla kaplandığı zaman, kir birikimi büyük oranda azalır. Fakat, bu sentetik madde bazı dezavantajlara sahiptir (Toms ve Suttie, 1965). Farklı kir şekilleri, farklı yapışma derecelerine sahiptir ve bu izolatör yüzeyinde kir birikim oranını etkiler. Sisli bir ortamda izolatör yüzeyinde yoğun bir kir tabakası kolayca meydana gelir.

İzolatör üzerinde bir gerilim varsa, izolatörün kir toplama özelliği artar. Bu, uygulanan geriliminin tipine, polaritesine ve genliğine bağlıdır ve a.a. ile karşılaştırıldığında d.a. durumda daha fazladır (Kimoto ve diğ., 1973). Üniteler arasındaki bağlantılarda koronanın oluşumu bu bölgelerde kir birikimini kolaylaştırır.

Yüksek permitiviteli parçaların, elektrik alan şiddetinin yoğun olduğu bölgelere hareketi kir tutulmasını artırıcı çok küçük bir etki yapar. Bu etki polariteden bağımsız ve alan şiddetinin karesiyle orantılıdır.

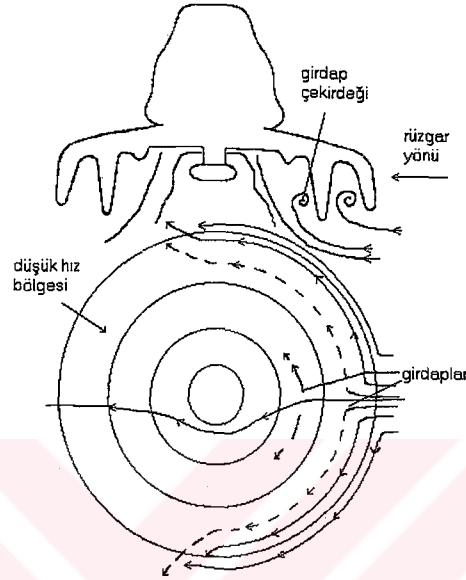
$$F = \text{sabit} \cdot v \cdot \left(\frac{k-1}{k+2} \right) \cdot \text{grad } E^2 \quad (1.1)$$

Burada, F kuvvet, v hacim, k permitivite ve E alan şiddetidir.

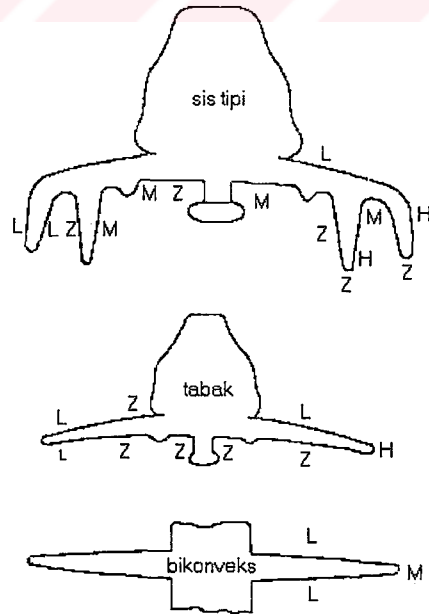
Maddeleri izolatör yüzeyine taşıyan temel etkiler; yerçekimi kuvveti, yüklü parçacıkların elektrostatik çekim kuvveti, yüksek permitiviteli parçacıkların büyük elektrik alan yoğunluklu bölgelere göçü, çözelti veya süspansiyonların buharlaşıp aerodinamik olarak tutulmaları şeklinde sayılabilir.

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 Şekil 1.1 'de görülen kirlenme deneylerini yapmıştır. Böyle bir deneyle kirletilen bazı izolatorların kir dağılımı Şekil 1.2 'de verilmiştir. Şekiller üzerindeki harfler kir yoğunluklarını göstermektedir (H:Ağır M:Orta L:Hafif Z:Sıfır) (Looms, 1988).



Şekil 1.1. Sis tipi bir izolator için kirlenme deneyi.



Şekil 1.2. Kir tutulmasının şekille değişimi

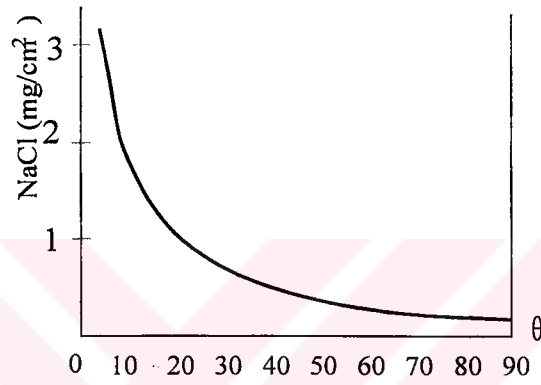
Şekil 1.2 'den görülebileceği gibi kir, rüzgarın doğrudan çarptığı yüzeylerde ve girintilerde daha çok olmaktadır. Farklı yapıdaki izolatorlerin kir tutma miktarları çok değişmektedir.

Artıklar belli bir değere ulaştınca aerodinamik yapıda ve hava akışında bir değişiklik görülür. Biriken kirden dolayı girintiler dolduğundan etkin geçiş yolunun azalmasıyla elektriksel performans bozulur. Kir toplanması ve hava akışı özelliklerini iyileştirici tasarımlar yapılabilir. Parçacıkların çarpması kirlenme nedeni sayılmakla beraber, aynı zamanda temizleme özellikleri de göz önüne alınmalıdır. Yağmur damlaları ve diğer parçacıklar izolatore çarptığı zaman eğik alt yüzeylerin dışında tüm yüzeyi temizlerler. 0.1 mm çapa kadar ağır kum zerrecikleri de aynı işlemi yaparlar. Bu nedenle girintili izolatorlerde temizlenmeyen yüzeyin kir yapısı önemlidir.

Havadaki parçacıkların çoğu triboelektrik, kozmik ışın veya endüstri tarafından üretilen iyonlarla çarpışmadan dolayı yüklenirler. Bu tip parçacıklar yerçekimi ve aerodinamik kuvvetlere ek olarak bir de elektriksel kuvvetlere maruz kalırlar. Uygun yüklü bir d.a. elektroduna yaklaştıkları zaman çekilirler. Fakat değişken alanlarda serbest kalırlar. Bu nedenle d.a. ve a.a. devrelerindeki izolatorler üzerindeki kir örnekleri biraz farklıdır. Yine sadece d.a. 'da olmak üzere, koronanın sebep olduğu bölgesel iyon akıları elektrostatik çekim etkisiyle yoğun kir artıkları biriktirir.

İzolator yüzeyinde biriken kir miktarı, izolatorün pozisyonuyla ve baskın olan hava şartlarıyla çok yakından ilgilidir. Gergi ve askı izolatorleri, ve hatta aynı yerdeki aynı tip iki izolator dahi oldukça farklı kir toplama performansı gösterebilir. Yatay pozisyonda, düşey pozisyona göre, izolator diskinin her iki tarafı da benzer yapıda kire ve yağmura maruz kalır ve daha düzgün bir kir tabakası meydana gelir. Askı izolator zincirlerinde, en üstteki ünite, alttakilere bir kalkan vazifesi görür. Askı zincirleri, yağmur olmaksızın ağır kirli bölgede uzun bir süre işletmede kalırsa, kapağın alt kısmı nispeten temiz kalırken, üst kısmı kalın bir kir tabakasıyla kaplanır. Bu durumda kir tabakası, sistemin güvenliği için bir tehlikedir, ve eğer yağmurlu ve sisli mevsimden önce yıkanmazsa, arızalar artabilir. Aksi durumda, kirli ağır yağmur, kapağın alt kısmını kirli bırakırken üst kısmını yıkayarak temizler (Nasser, 1963). Eğer çok ağır mekanik bir yüklenme varsa, iki veya daha fazla zincir paralel kullanılır, aerodinamik kirlenmeye ilaveten yağmurdan dolayı bir kalkandan diğerine akan kir nedeniyle çok ağır kir birikimine maruz kalır (Lambeth, 1975).

Kir yoğunluğu bir izolatör tipi üzerindeki noktalar için veya genellikle farklı izolatör tiplerinde, aynı eğime sahip noktalar için, kir yoğunluklarının ortalaması olarak alınabilir. Şekil 2.3, incelenen izolatör üzerinde aynı eğime sahip noktaların ortalama kir yoğunluk değişimlerini, dikkate alınan noktanın eğimine göre verir. Şekildeki eğim açısına bağlı olarak kir yoğunluğunun artışı, rüzgar ve yerçekimi etkisi ile açıklanabilir. Bu etkiler parça tortulaşmasında önemlidirler. Tortulaşmayı tamamlamak için yerçekiminin yanı sıra yerel rüzgar hızı da sifıra yaklaşmalıdır. Bu kuvvetler küçük eğimli noktalarda daha etkilidir (El Arabaty ve diğ., 1983).



Şekil 1.3. Kir yoğunluğunun eğim açısıyla değişimi.

Yukarıdaki sebeplerden dolayı, izolatörün atlama performansı ile çok büyük ilgisi olan izolatör yüzeyinde oluşan kir tabakası düzenli değildir. Bu düzensizlik, kirli izolatörlerin atlama performansının teorik hesabında ve yapay testlerdeki kir tabakasının simülasyonunda zorluklara neden olur.

1.1.3. Kir tabakasının nemlenmesi

Bu, elektrolitiksel olarak iletken filmin oluşumunun ikinci adımıdır. İzolatör yüzeyi kuru kaldığı sürece, performansında dikkate değer bir değişimin olmadığı bilinmektedir. İzolatör boyunca olan gerilim dağılımı önemli derecede bozulmaz.

İzolatörler kuru iken, hemen hemen tamamı kapasitif olan küçük bir kaçak akım mevcuttur ve gerilim dağılımı elektrostatik alan şeklinden tayin edilebilir. Halbuki yüzey nemlenirse, kir tabakası, içindeki iyonize olan tuzlardan dolayı, iletken hale gelir

ve tatbik edilen gerilimle aynı fazda ve izolatör yüzeyi boyunca rezistif bir kaçak akım akar. Bu akım, kuru haldeki kapasitif akımdan çok daha büyük bir değerde olup, izolatör yüzeyindeki alan dağılımını bozar. Alan dağılımı, bu halde izolatör yüzeyindeki kir direncinin dağılımına tamamen bağlı olur.

İzolatör yüzeyinin nemlenmesi farklı şekillerde olur. Şiddetli yağmur ve duşlar; kirleri ve çözülebilir parçacıkları uzaklaştırdıklarından tehlikeli değildirler. Bununla beraber, kirli yağmur suyu, hat ile direk arasında iletken bir su kanalı oluşturabileceğinden, ilk anda şiddetli yağmur hattı kısa devre edebilir. En tehlikeli durum siste meydana gelir, özellikle izolatör yüzeyindeki kir uzun süre kuru kalırsa tehlikeli boyutlara ulaşabilir (Last ve diğ., 1966). Endüstriyel bölgelerde, iletken film, asidik karakterli bir sis tarafından oluşturulabilir. Yağmur çiselemesi, sulu kar, çığ ve kırağı, kir tabakasını yıkamaksızın iletken bir film oluşturabilirler. Kirli buzun ve karın erimesi tehlikeli bir duruma neden olabilir (Casson ve Howard, 1964; Lambeth, 1964). Rüzgarlı şartlarda soğutma kulelerinden suyun püskürmesi kir tabakasını nemlendirebilir. İzolatörün şekli de, kir tabakasının nemlenmesini etkiler. Rutubetli hava akımına maruz kalan kısımlar, büyük çapta nemlenirler (Nasser, 1963).

Atlamanın, sis veya yağmur olmaksızın akşamları meydana geldiği gözlenmiştir. Bu olay izolatör üzerinde çığ oluşumu ve kuş pisliklerinin birikimiyle açıklanmıştır (James, 1965; Rizk, 1972).

1.2. Kuru Bantların Oluşumu ve Ön-Deşarjların Başlaması

Bu olay, atlamanın ikinci safhasıdır. Kirli parçacıkların, hava boşluklarının delinme gerilimlerini azalttığı bilinmektedir (Al Sayed ve diğ., 1978).

Pratiktedeşarjların, ıslak ve kirli şartlar altında izolatör yüzeyinde kolayca oluştuğu gözlenmiştir. İşletme gerilimi ve kuru şartlar altında izolatör yüzeyi boyunca alan şiddeti, oldukça düzgün dağılımlı olup, 200-500 V/cm civarındadır (Nasser, 1972). Bu nedenledeşarjlar, kuru-bant adı verilen yüksek yoğunluklu bölgelerde meydana gelirler.

İzolatör yüzeyinde iletken elektrolit film meydana gelirse, yüzeyden akan kaçak akım enerji kaybına neden olur. İzolatör şeklinin düzensizliği ve kir tabakasının homojen olmayan dağılımından dolayı, enerji yoğunluğunun dağılımı da farklıdır. Bazı

kısımlar ıslak kalırken, bazı kısımlar çabucak kururlar. Düzensiz ısı dağılımı, kuru bantların oluşumunu sağlayan kararsız bir durum ortaya çıkarır.

Pratikte, kuru bantlar genellikle izolatörlerin kapak ve sap kısımları gibi en küçük çaplı yerlerinde oluşurlar. Zincir tipi izolatörle karşılaştırıldığında, çubuk izolatörlerde en dar çaplı yerlerin bile büyük olmasından dolayı kuru bantların oluşumu daha yavaş ve akım yoğunluğu dağılımı daha düzgündür. Bir zincirde, yukarıda bahsedilen bölgelerde hemen hemen toplam gerilimi taşıyan birçok kuru bant oluşabilir ve kaçak akımı kesebilir.

Aynı nedenden dolayı, kuru bölgeler stabilize edilmiş izolatörlerde de meydana gelebilir; fakat yarı iletken kaplamalı izolatörlerde kuru bantlardaki aşırı gerilim düşümü engellenmiş ve deşarjların oluşumu kontrol altına alınmıştır.

Kuru bölgelerin oluşumu, ıslak film tabakası üzerinde ısı depolanması nedeniyledir. Bu yüzden, yağmur altında kuru bölgelerin oluşumu; yağmur suyunun yüzey üzerindeki ısı depolanmasını engellemesi ve yüksek yoğunluklu bölgelerde film tabakasını yeniden meydana getirmesi nedeniyle zordur (Hampton, 1964). Yağmur altında atlamanın oluşması, durgun iletken bir filmde atlama oluşumundan farklıdır ve daha yüksek bir gerilim gerektirir.

Eğer bir kuru bant üzerindeki gerilim düşümü, havanın delinme gerilimini aşarsa, bant üzerinde kıvılcım meydana gelir. Bir kuru bant bir deşarjla köprülenirse, diğer bir kuru bant üzerindeki gerilim düşümü artar ve bu kuru bölgelerde bir deşarj zincirinin başlamasına neden olur. Böylece, kısa sürede izolatör yüzeyinde birçok kısmi deşarj meydana gelir.

1.3. Ön-Deşarjların Büyümesiyle Atlama Oluşumu

1.3.1. Kirli yüzeylerde gözlenen ön-deşarjların tipleri

Kuru bantlar boyunca farklı tipte ve karakteristikte ön deşarjlar oluşur. Kuru bantların ön deşarjlarla köprülenmesinden sonra, değişik genliklerde dalgalanma akımının olduğu görülmüştür. İzolatör yüzeyindeki deşarjların görsel olarak izlenmesiyle kaçak akımın değeri kabaca tahmin edilebilir. Mesela, çıtırtı sesiyle

beraber mavi kıvılcımlı bir deşarj varsa kaçak akım 2 mA 'den azdır; eğer tıslama sesiyle beraber kalın sarı renkli bir deşarj varsa kaçak akım 25 mA civarındadır. Bununla beraber alevli ark tipinde deşarj hızla gelişip durur ve yüksek bir akım dalgalanması olur (10-150 mA) ve bu akım atlamaya yol açabilir. Bu ark tipi azalan bir volt-amper karakteristiğine, düşük potansiyel gradyanına ve yüksek bir akım yoğunluğuna sahiptir. Islak filmden akan akım esas olarak deşarj kanalından akar. Ark kökünde akım yoğunluğu ve alan şiddeti maksimumdur.

Kuru bölgelerdeki ön deşarjların gelişiminden hemen sonra akan kaçak akımın genliği, ön-deşarjın tipini belirler. Kıvılcımın başladığı anda elektrolitin iletkenliği ve uygulanan gerilim yeterince yüksek ise, ark tipi deşarj çok hızlı gelişir. Pratikte, uygulanan gerilim sabit olduğundan, deşarj tutuştuktan hemen sonraki seri kir direncinin değeri ve deşarjın büyümesi esnasındaki değişimi, deşarjın tipini ve bu yüzden atlama ihtimalini oldukça etkiler.

Isı sebebiyle kir tabakasının durumundaki büyük değişimden dolayı, kuru bantların oluşumundan önce kir tabakasının başlangıç durumu deşarj gelişimini doğrudan etkilemeyecektir. Bu yüzden, gerilim uygulamadan önce kir tabakasının başlangıç durumu ve ölçülen atlama gerilimi arasında direkt bir ilişki kurmak anlamlı değildir (Rumeli, 1967).

1.3.2. Kirli yüzeylerde deşarjın büyümesi

Kirli izolatör yüzeyinde deşarjın yayılımı farklı açıklamalarla verilmiştir. Bazı araştırmacılara göre, yüksek akım yoğunluğundan dolayı ark kökündeki kir filminin kuruması ve deşarjın tuttuğu kuru bölgelerin genişlemesi, deşarjın büyümesine neden olur (Alslon ve Zoledziowski, 1963; Zoledziowski, 1968). Bir su kolonu boyunca deşarjın yayılımı bu görüşü geçersiz kılar (Rumeli, 1967). Su jeti boyunca atlama; jet karakteristiği tarafından belirlenen bir kritik akım değerine ulaşıncaya meydana gelir (Rumeli, 1973).

Başlangıçta birkaç ark olsa bile, atlamaya sadece bir arkın büyüyerek neden olduğu izlenmiştir (Lambeth ve diğ., 1975).

Pratikte, genellikle dalgalanma akımı 100-200 mA'e ulaşınca atlama meydana gelir (Casson, 1964; Clark, 1965). Bunun aksine, yapay testler altında ve yıkama

esnasında (0,5-1) A tepe değerli dalgalanma akımlarında bile atlama olmadığı kaydedilmiştir (James, 1965; Toms, 1965). Bu nedenle sadece kaçak akım değeriyle, atlama ihtimali arasında bir bağıntı kurmak zordur.

Teorik olarak gösterilmiştir ki, ark gradyanı (E_a) vedeşarj kökündeki kir gradyanı (efektif kir gradyanı E_{eff}) arasındaki fark δE , atlamayı kontrol etmede en önemli faktördür. Pratikteki bir durum olan $\delta E < 0$ zamanla değişen kir için esasen atlama meydana gelir fakat yeterli değildir. Deşarja seri zamanla değişen kir direnci (dR/dt) de göz önüne alınmalıdır (Rumeli, 1971). Kirli izolator yüzeyinin durumu ve şekli, yüzey üzerindekideşarjların sayısı ve konumu, uygulanan gerilimin genliği ve şekli vedeşarjın yayılımını etkileyen diğer önemli faktörlerdir.

Teorik analizler, ark kökünün önündeki kir tabakasının durumunun ark hareketini belirleyen temel unsur olduğu gösterilmiştir (Rumeli, 1967). Önemli bir pratik sonuç olarak eğer gradyanların farkı $\delta E = E_a - E_{eff}$ pozitif tutulabilirse, atlama ihtimali kontrol edilebilir. Bu;deşarjın büyümesini durdurmak içindeşarjın önündeki kir yüzeyi üzerine iletken bir bant koyma fikrini getirmiştir (yani, $E_{eff}=0$, $E_a > 0$ ve $\delta E > 0$). Bunun pratik çözümü, R-izolatördür.

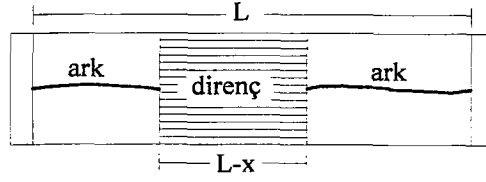
Gradyent kriterinin yardımıyla,deşarj büyüme yönünün önceden tespiti yapılabilir. Deşarj kökünde farklı kir gradyanlı kirli bir yüzeyde tutuşan birdeşarjı göz önüne alalım. Deşarj, $\delta E < 0$ şartını sağlayan daha yüksek efektif gradyanlı bölgede başlayacaktır. Silindirik izolatorların çapı, atlama gerilimi üzerine önemli bir etkiye sahiptir. Şöyle ki, sabit bir kir miktarı göz önüne alındığı zaman, çapın artışı atlama geriliminin azalmasına neden olur. Ayrıca çapın artması aynı kir atmosferinde izolator yüzeyinde biriken kir yoğunluğunu da azaltır (Matsuoka ve diğ., 1991).

Doğru gerilim altında çalışan kirli izolatorlerdeki atlama sayılarının kayda değer olması, atlama olayının daha iyi anlaşılması için teorik ve deneysel çalışmaların her ikisini de teşvik etmiştir. Kirli bir izolatörde yüzey; sis, çığ ve yağmurdan dolayı ıslanırsa atlama olabilir (Rashwan ve McDermid, 1989; Schneider ve Lux, 1989). D.a. daki kirlenme atlama geriliminin a.a. değerine oranla oldukça küçük olduğu, işletmede ve laboratuvar çalışmalarında gözlenmiştir (Kimoto ve diğ., 1973; Seta ve diğ., 1981; Rashwan ve McDermid, 1989). Bunun nedeni havadaki kirlerin yüzey üzerine daha büyük tek yönlü bir kuvvetle çekilmesidir. Buna ilave olarak, akımın sıfır geçişlerinin bulunmaması da atlama geriliminin küçük olmasının nedenidir. Birçok ülkede yaygın

olarak yapılan işletme ve laboratuvar çalışmalarına rağmen kirlenme atlamasının temel mekanizması henüz tam olarak anlaşılamamıştır (Sundarajan ve Gorur, 1993). Bunun nedeni atlama olayıyla ilgili çok sayıda parametrenin bulunması ve bunun da çalışmayı daha karmaşık hale getirmesidir. İşletmede atlama geriliminin; gerilimin polaritesine (Cheng ve Wu, 1980; Guan ve diğ., 1989), kirin tipine ve tabiatına, partiküllerin boyutuna (Pigini ve diğ., 1988), düzensiz ısınmaya (Rashwan ve McDermid, 1989; Zaffanella ve diğ., 1986), yüzey iletkenliğine (Lambeth, 1975), yıkama, rüzgar, uzunluk, yönlendirme, çap ve izolatörün profiline (Kimoto ve diğ., 1973; Zaffanella ve diğ., 1986; Pigini ve diğ., 1988) vb. gibi birçok faktöre bağlı olduğu tespit edilmiştir. Laboratuvar deneylerinde, gerilim uygulama oranı (Rizk ve Assaad, 1972), güç kaynağı karakteristikleri (Zaffanella ve diğ., 1986; Pigini ve diğ., 1988), sis üretim metodu, kir uygulama metodu (Hasegawa ve diğ., 1987), laboratuvarın boyutları (Cherney, 1983) gibi ilave faktörlerin de sonuçları etkilediği izlenmiştir. Yukarıdaki parametrelerin bazıları diğerlerinden daha kritiktir.

Kirli izolatörlerin atlama gerilimlerini hesaplayan teorik modeller, iki ana amaç için faydalıdır. Birincisi, atlama olayının fiziksel yönden daha iyi anlaşılması için ve ikincisi de, atlama geriliminin önceden tahmini için eğer model işletme ve laboratuvar deneyleriyle iyi bir uyum gösterebilirse kullanılabilir. Böylece laboratuvarlarda yapılacak olan deneylerin sayısı azalır.

Kirli izolatörlerde atlama, iletim hattında büyük bir alanı kapsayan ve uzun süren enerji kesintilerine neden olur. Bu olay, bir güç iletim sisteminin güvenli çalışması için ciddi bir tehdit olma özelliğini hala korumaktadır. Genellikle Ekstra Yüksek Gerilim (Extra High Voltage –EHV) ve Çok Yüksek Gerilim (Ultra High Voltage –UHV) iletim hatlarının tasarımında, özellikle doğru gerilim altında, atlama olayının daha önemli olduğu göz önüne alınmaktadır. Kirlenme atlaması üzerine çok sayıda araştırma yapılmış ve atlama gerilimlerini hesaplamak için bir çok yöntem ortaya konulmuştur. Fakat hala bazı zorluklar mevcuttur. Genellikle karmaşık şekilli gerçek izolatörleri, eşdeğer dikdörtgenlere dönüştürmeye gerek vardır (Wilkins, 1969). Eşdeğer dikdörtgen Şekil 1.4 'deki gibidir.



Şekil 1.4. Kirlenme atlamasının modeli.

Şekil 1.4 'de L , izolatörün kaçak uzunluğudur. Dikdörtgenin alanı izolatörün yüzey alanına eşittir. Eşdeğer dikdörtgen Sonlu Elemanlar Metodu 'nda kullanılan dikdörtgen değildir. İzolatörlerin karmaşık şekillerinin etkilerini ve atlama geriliminde kısmi ark durumunu açıklayamaz. D.a. ve a.a. atlama oluşumları farklı olduğundan, d.a. ve a.a. gerilimleri altında atlama gerilimini hesaplamak için kullanılacak metotlar da farklı olmalıdır. Kirli bir yüzey üzerindeki arkın karakteristiğini belirleyen parametreler ve kir tabakasının yüzey iletkenliği, atlama gerilimi hesabında çok önemlidir ve tam olarak tanımlanmalıdır.

Kirli iletim hattı izolatörlerinde atlama, enerji mühendislerinin karşı karşıya olduğu önemli bir problemdir. Kirli şartlar altında izolatörlerin performansı, güç iletim hattındaki izolatörün tasarım ve boyutlandırılmasındaki temel faktörlerden biridir (D. Megriche ve diğ., 1996).

Kritik atlama gerilimi ve kritik akımı doğru bir şekilde önceden belirlemek ve kirli izolatörlerde atlamının gelişimini daha iyi anlayabilmek için çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Bütün modellerin temel özelliklerinden biri, kir tabakası direncinin arkın yayılımına seri bir şekilde gösterilmesidir (Hampton, 1964; Wilkins, 1969). Kuru bant oluşumundan sonra kısmi arkın statik olarak göz önüne alınmasından dolayı, yapılan varsayımlar oldukça zayıftır (Rizk, 1981). Bu nedenle, bu modeller doğru sonuçlar veremezler.

Son zamanlarda koruma teknikleri üzerine yapılan geniş araştırmalar, UHV ve EHV iletim hatlarının tasarımını ve işletilmesini mümkün kılmıştır. Kuru bant oluşumundan sonra oluşan kıvılcımların daha uzun süre kalmasından dolayı, doğru gerilim altında izolatörün kirlilik performansı daha kritiktir. Yüksek gerilimli d.a. iletim hatlarının sayısını artırmak için, harici izolatörlerin tasarımına yardımcı olmak amacıyla geniş araştırmalar yapılmaktadır. Bunların amacı, sadece kirlenme atlamasının fiziksel oluşumunu daha iyi anlamak değil, yapay test metotları kullanarak kirlenme atlaması

dayanımlarını da tespit etmektir. Kirli bölgeler için optimum profiller geliştirilirken göz önüne alınan diğer bir konu da, kirli şartlar altındaki izolatörlerin dayanma seviyelerini önceden tespit etmeye yarayan matematiksel modeller geliştirmektir.

Böyle model çalışmaları birkaç araştırmacı tarafından çalışılıyor olsa bile, kuru bant oluşumundan sonra meydana gelen kısmi arkların statik olarak göz önüne alınmasından dolayı modelleri geliştirmek için yapılan varsayımlar oldukça zayıf kalmaktadır. Bu yüzden bu modeller, doğru sonuçları önceden tespit etmek için uygun değildir (Anjana ve Lakshminarasimha, 1989).

Teorik modeller gözden geçirilirse, mevcut modellerin çoğunun statik olduğu görülür (Rizk, 1981). Atlama olayı çok hızlı bir işlem olduğundan, ark parametrelerindeki ani değişimleri göz önüne alan dinamik modellerin, statik modellere göre atlama olayını daha iyi temsil ettiği bir gerçektir. Dinamik modellerin bazıları kavramsal (Rodriguez, 1989) veya istatistikeldirler (Gellert ve Rasmussen, 1989) ve/veya deneysel verilere ihtiyaç duyarlar (Jolly ve diğ., 1974; Anjana ve Lakshminarasimha, 1989). Ayrıca modellerin çoğu gerçek izolatör yerine, sadece elektrolit bir şerit göz önüne alırlar (Rizk, 1981; Jolly ve diğ., 1974). Bu durum mevcut çalışmayı, izolatörün gerçek geometrisini de hesaba katan dinamik bir model geliştirme hususunda teşvik etmiştir.

1.4. Tasarımla İlgili Tedbirler

Yapısal olarak bir izolatörde üç temel özelliğe dikkat edilir.

- a) Az kir toplama özelliği,
- b) Yağmur ve rüzgar tesiriyle iyi bir kendinden temizlenme özelliği,
- c) Uzun sızma aralığı.

Birinci ve ikinci özelliklerle, izolatör yüzeyinde teşekkül eden kir tabakası kontrol edilmek istenir. Üçüncü özellik ise, izolatör yüzeyi boyunca daha düşük bir ortalama gerilim gradyanı sağlar. Hava akışıyla gerçek bir kendinden temizlenme, hacim ve ağırlıkça büyük parçacıklarla olur. Bu amaçla izolatör şekli, yüzeyi ve hızı maksimum yapacak şekilde tasarlanır. İyi bir suyla artık temizleme işlemi sadece izolatörün şekline değil, aynı zamanda yıkamanın yön ve durumuna bağlıdır.

Hızlı rüzgarla gelen yağmur damlaları artıkların çoğunu temizler Rüzgardan doğan anafor şekilli hareketler, derin olmayan girintileri temizler. Islanma esnasında çarpan suyun yüzeyi hemen terk etmemesinden doğan dezavantajlar da vardır. Bu durum temas yüzeyinin kısa devre olması nedeniyle atlama riskini arttırır.

Hafif yağmur ve çiselti, kirin tehlikeli bileşenlerini uzaklaştırır. Fakat arkada bıraktığı tortu, yüzeyin pürüzlenmesine ve sürekli akış şeklinin bozulmasına sebep olur.

İyi bir kendiliğinden temizlenme özelliği temin etmek için izolatör tasarımında yağmur ve rüzgar etkisine maruz kalacak şekilde meyilli yüzeyler düşünülür. Bu tip izolatörlere “açık tip” izolatörler denir (Rumeli,1971). ‘Spirelec’ diye adlandırılan bir Fransız tasarımında bu husus spiral bir yapı ile temin edilmiştir. Yağmur suyunun spiral boyunca akmasıyla izolatör yıkanmaktadır.

Az kir toplamayı temin için, izolatör derin oyuklu ve daha fazla korunmuş yüzeyli yapılır. Böyle bir izolatöre “kapalı” veya “korunmuş” tip denir. İzolatör alt yüzeyinde derin oyuklar yapmak suretiyle bir yandan atmosferik kirlenmelere karşı korunma temin edilirken, bir yandan da daha uzun bir sızma aralığı sağlanmış olur.

Derin oyuklu izolatörlerin imali pahalı ve zordur. Böyle bir izolatör uzun süre devrede kalınca, derin oyuklarda biriken kirler buralara yapışır ve giderilmeleri çok zor olur. Özellikle çimento sanayii civarında bu durum önemlidir. Bir izolatör zincirinde veya bir çubuk izolatörde, komşu elemanlar arasındaki mesafe çok küçük tutulmamalıdır. Birbirine çok yakın etekler, aralarındadeşarjlara sebep olurlar.

İzolatör tasarımında sızma aralığının yüksekliğe oranının büyük olması arzu edilir. Hatta birçok araştırmacılara göre bu oran izolatörün iyiliği hakkında bir fikir verebilir.

İzolatör yüzeyinde belirli yerlerde iletken halkaların yapılmasının atlamaları önlemede etkili olacağı açıklanmıştır. “R-izolatörü” adı verilen böyle bir izolatörde bu iletken halkaların kirli yüzeyde oluşandeşarjların yayılmasını sınırlandırarak atlamayı önleyebileceği gösterilmiştir (Rumeli,1979).

1.4.1. İşletme süresince uygulanacak tedbirler

İzolatör yüzeyinde kir birikmesini tamamen önleyecek, yani izolatör yüzeyini daima temiz tutabilecek bir metodun bulunması, problemin kesin çözümü demektir. Şu

an için bunu yapmak mümkün olmadığından endüstriyel bölgelerde kirlenmeyi azaltmak için fabrika bacalarını yükseltmek, filtre takmak vb. gibi çevre tedbirleri alınmaktadır. İzolatörlerin elle çeşitli çözücüler yardımıyla temizlenmesi ve ayrıca izolatör yüzeyini gres türünden çeşitli maddelerle kaplamak da atlamayı önleyici tedbirler arasında sayılabilir (Rumeli,1970). Enerjisiz durumda ve enerji altında helikopter gibi özel araçlar vasıtasıyla yıkama gibi tedbirler düşünülebilir.

1.5. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada YG izolatörlerinde, işletme esnasında yüzeysel kirlenmelerden dolayı meydana gelen atlama olayının incelenmesi ve modellenmesi amaçlanmıştır. Bunun için aşağıda belirtilen adımlar izlenmiştir:

- 1- Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) 'ni kullanarak yüzeyi kirle kaplı izolatörün potansiyel ve alan dağılımının hesabı.
- 2- Yüzey üzerinde sızma aralığı boyunca alan şiddeti değerlerinin ve yerlerinin belirlenmesi.
- 3- SEY yardımıyla ark 'a seri kir direnci ($R(x)$) değerlerinin AR modeli üzerinden hesaplanması.
- 4- Değişen kir iletkenliğine bağlı olarak ark gerilim gradyenti (E_{ark}) ve yüzeyden akan kaçak akımın hesabı.
- 5- Yüzey üzerinde atlama kriterlerini sağlayan noktaların belirlenmesi.
- 6- Ark oluşan noktaların potansiyellerini eşitlemek için Lagrange çarpanları kullanılarak denklem sistemine enjekte edilmesi.
- 7- Sızma aralığı boyunca deşarj yayılımını hesaplamak üzere, işlem adımlarının zamana bağlı olarak tekrarlanması.
- 8- Hesaplanan değerlere ilişkin grafiklerin elde edilmesi ve karşılaştırılmaların yapılması.

Yukarıda tanımlanan prosedür izlenerek, izolatör tasarımına yönelik yeni bir dinamik modelin geliştirilmesi ve ark 'ın yüzey üzerinde ilerleyişini temsil eden bir benzetim programının geliştirilmesi bu çalışmanın temel amacıdır.

2. ATLAMA OLAYININ GENEL TEORİSİ

2.1. Genel Bilgi

Kirlenme atlaması birkaç safhada meydana gelir. Önce kuru bantlar oluşur. Sonra bu kuru bantlar boyunca ark tutuşmaları olur. Son aşamada ısıl etkiden doğan yavaş ark gelişimi, elektrostatik etki nedeniyle hızlı ark gelişimi ile takip edilir.

Atlama bir, iki ve hatta üç faz ile toprak arasında olabilir. Atlama öncesinde ısıtılı ön deşarjlar meydana gelir. Tam bir atlamaya sebep olan çok sayıda parametre vardır. Bunlar; yüzey tabakasının direnci, su varlığı ve dağılımı, hava akımı, yüzey özellikleri ve yüzey tabakasının kimyasal özellikleri olarak sıralanabilir.

YG izolatörlerinde ve boşlukta nemin atlama olayına etkisi önemli bir konu olup, 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 mm Hg ve 20 °C sıcaklığa indirgenebilir.

Şimdiye kadar nemin atlama üzerindeki etkisini gösterebilen doğru bir fiziksel model geliştirilememiştir. Bununla birlikte bazı ampirik 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. Hava boşluğunda, 10 gr/m³ nemde atlama geriliminde artma, 20 gr/m³ 'e kadar sabit bir değer, 20-25 gr/m³ arasında önemsiz bir azalma tespit edilmiştir.

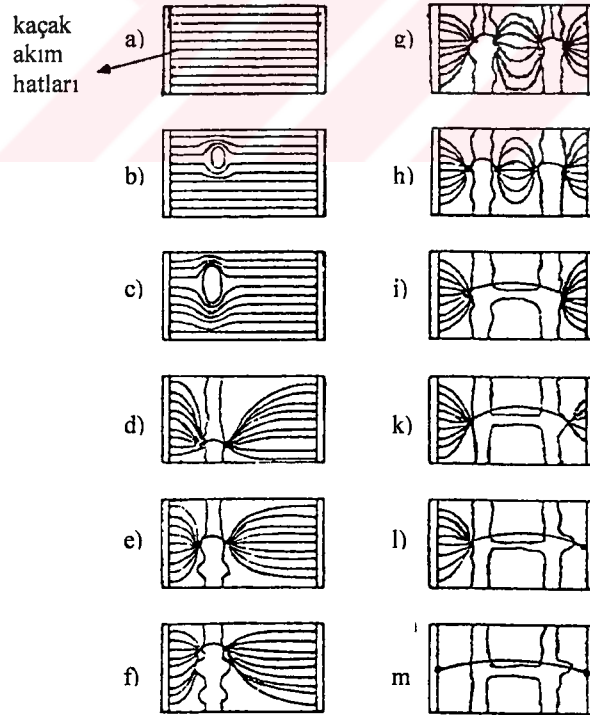
Sheshagiri (1989), nemin atlama gerilimleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla 11-400 kV ve 11-33 kV 'luk izolatörlerle yaptığı deneyler sonucunda, %30 ile %90 arasında değişen bağıl nem miktarının, atlama geriliminde; 11 kV 'luk izolatörler için %25, 400 kV 'luk izolatörler için ise %10 civarında bir azalmaya sebep olduğunu belirlemiştir.

2.2. Atlama Gelişiminin Fazları

İzolasyon üzerinde atlama, yani yüksek iyonizeli arkın tamamlanması Tablo 2.1 'de özetlenen birkaç aşamada meydana gelir. Bu durum Şekil 2.1 'de şematik olarak açıklanmıştır.

Tablo 2.1. Atlama olayının gelişimi

Safha	Özellği	Kir Tabakası	Deşarj Şekli	Akım
1	Yüzey tabakası ısınır	İletkenlik artar	Yok	Artar
2	Yüzey tabakası kurur	İletkenlik kısmen azalır	Yok	Azalır
3	Kuru bant şekillenir	Enine kısmi kuruma	Yok	Sıfır
4	Kısmi ark tutuşması	İletkenlik azalır	Enine ark	Yavaş artar
	İşilti ve buhar deşarjı	İletkenlik artar	İşilti ve parazit	Küçük ve dalgalı
5	(a) Ark ısıtıl	Kuru bant daha büyür	Ark büyür	Yavaş artış
	büyümesi elektrostatik	Artık kurumaz	İzolatörde atlama	Hızla artar
	(b) Atlama	Kısmen kurumuş	Ark	Kısa devre



Şekil 2.1. Kirlenme atlamasının safhaları .

Atlama aşamaları şunlardır :

- 1- Yüzey tabakasının ısınması, iletkenlik ve akımın artmasına sebep olur (Şekil 2.1.a).
- 2- Devam eden ısı, yüzey tabakasında kısmi kurumalara yol açar (Şekil 2.1.b-c).
- 3- Daha fazla ısınma, kuru bantlar oluşturur (Şekil 2.1.d).
- 4- Kuru bantlar üzerinde düzensiz hava kırılımı nedeniyle, 4 kV/cm 'lik alan şiddetlerinde, kısmi arkların başlaması kirli izolatörlere has bir davranıştır. Yerel ısı konsantrasyonu, kısmi arkların pozisyonlarını kuru bantlar boyunca yana doğru değiştirmelerine sebep olur (Şekil 2.1.d-e-f).

Ark sönümü, parıltı başlangıcı ve kuru bölgeler üzerinde hareketlideşarjların 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 2.1.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 2.1.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.

2.3. 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 bantların oluşmasından sonra meydana gelen yüzeye bitişik havanın kısmi delinmelerinin bir sonucu olan bölgesel arklarla daha da karmaşıklaşır (Çanakçı, 1993).

2.4. Deşarj Safhaları

Tüm bir kuru bant oluşuktan sonra akımın kesilmesi veya havanın delinmesi bu bölgeyi köprüleyen ve akımı devam ettiren bir ark oluşturacaktır (Şekil 2.1.g). Bunun yanı sıra arkın gaz plazmasındaki akım, yüzey tabakasındakinden tamamen farklı karakteristiklere sahiptir. Bunlardan en önemlisi ark akımının ısıyı, yüzey tabakasından olduğu gibi yüzeye dağıtmak yerine, ince bir kanalda çok yoğun bir şekilde yaymasıdır. Bu durum akımın en yoğun olduğu ark uçlarında kuru bantların uzamasına yol açar (Şekil 2.1.e). Bundan sonra şu üç durumdan biri meydana gelebilir :

- a- Ark ısı etki ile yanlara doğru hareket eder, uzunluğu azalır (Şekil 2.1.e-f).
- b- Arkın uzunluğu artabilir.
- c- Ark deiyonize olup, akım geçici veya kalıcı olarak kesilebilir. Bu ihtimal Tablo 2.1 de açıklanan 4. safhadır.

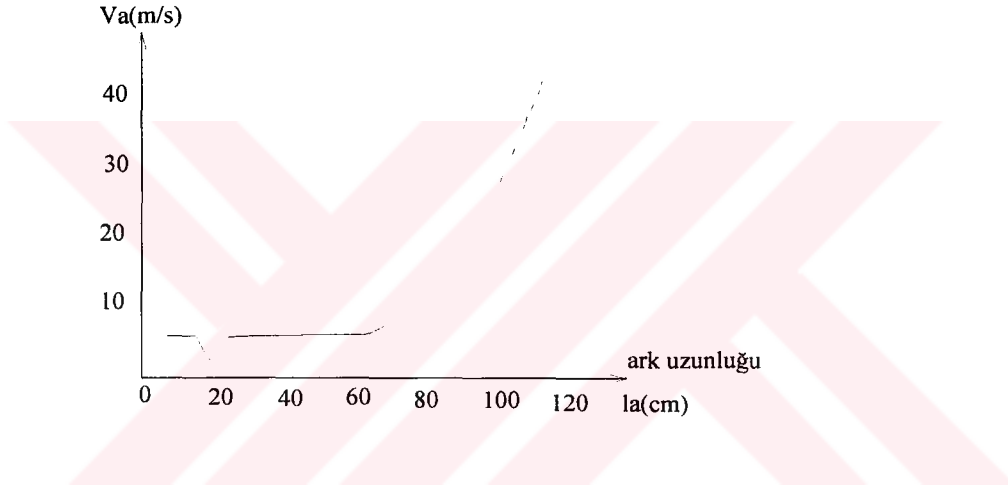
2.5. Ark Büyümesi

Kuru bant oluşumu ve ardından ark köprülenmesi, arkın nasıl meydana geldiğini açıklayabilir. Böyle birkaç ark birbiriyle birleşerek daha uzun bir ark oluşturabilir (Şekil

2.1.h-i). Yavaş bir şekilde oluşan bu birleşme göz veya kamerayla izlenebilir. Hem birleşme ve hem de uzama akımının ısı etkilerinden dolayı oluşur.

Ark büyümesinin ilk safhası uç kurumalarıyla ilgilidir (Şekil 2.1.k). Isıl etkilerle ark büyüdüktan sonra, sızma aralığının kalan kısmı da köprülenir (5.b safhası) ve ark, kuru bantlar oluşturmaksızın yüzey boyunca büyür (Şekil 2.1.l-m). Bu hızlı süpürme, gerilimin yarı periyodunda olur ve gözle takibi mümkün değildir.

Arkın yüzey boyunca yayılma hızı değişik tekniklerle ölçülmüştür. Şekil 2.2, atlama gelişiminin son safhasının tipik bir eğrisini verir. Tablo 2.1 '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 2.2. Ark büyümesinin değişik safhalarında ark hızı

2.6. Atlama Denklemleri

Eksenel simetrik bir izolatörün, σ öz iletkenliğine ve h kalınlığına sahip homojen bir kir tabakası ile kaplanması durumunda σ_s yüzeysel iletkenliği

$$\sigma_s = \sigma \cdot h \quad (2.1)$$

ve yüzey özdirenci

$$\rho_s = \frac{\rho}{h} \quad (2.2)$$

ile verilmiştir.

Yüzeysel iletkenlik σ_s , doyma iletkenliği G_0 ve izolatörün form faktörü F yardımı ile de hesaplanabilir.

$$\sigma_s = G_0 \cdot F \quad (2.3)$$

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

$$F = \int_0^L \frac{dl}{\pi \cdot D(l)} \quad (2.4)$$

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

Bu durumda kir tabakasının direnci

$$R = \rho_s \cdot F \quad (2.5)$$

ile bulunur.

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

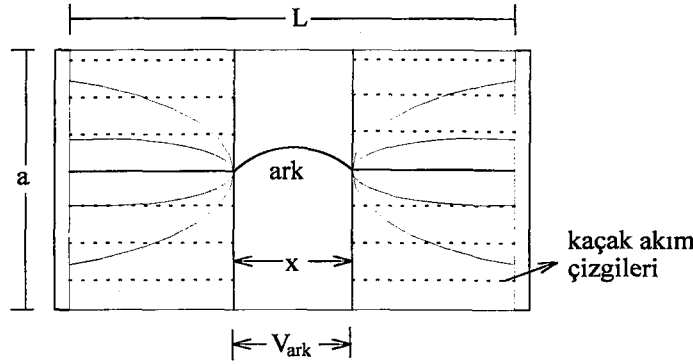
Görülebilir yüzeysel iletkenlik

$$\sigma_{sa} = \frac{F}{V} \quad (2.6)$$

ile bulunur.

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

Analitik çalışmalarda atlama problemi, çoğunlukla Şekil 2.3 'de gösterildiği gibi homojen kirle kaplı iki elektrotlu düzlemsel bir model üzerinde, bir doğru boyunca yayılan bir veya çok sayıda deşarjla temsil edilir.



Şekil 2.3. Bir kısmi arkdeşarjı için ideal model.

Şekil 2.3, başlangıçta homojen kirle kaplı olan, daha sonra kuru bant oluşup ark ile köprülenen düz bir yüzeyde tutuşan ark için ideal bir modeldir. Birçok araştırmacı bu modeli farklı yaklaşımlarla kullanıp, aynı sonuçlara ulaşmışlardır. Yapılan kabuller şunlardır :

- 1- Ark uzunluğu kuru bant uzunluğuna (x) eşittir.
- 2- Kir direnci R, sadece yüzey tabakasının arksız kısmının bir fonksiyonudur. Yani, $R=R(x)$ ve $(\partial R/\partial x) < 0$ dır.
- 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.

Atlama problemi Şekil 2.3 'de gösterildiği gibi iki elektrot arasında kirli bir izole yüzeyde tutuşan bir ark şeklinde basitleştirilebilir. Modelde ark ve ark 'a seri kir tabakası olmak üzere iki bölge vardır. Ark boyunca gerilim düşümü

$$V_{ark} = x \cdot E(i) + V_{ka} \quad (2.7)$$

şeklinde hesaplanır. Burada i, akım; x, ark boyu; E(i), ark gerilim gradyenti ve V_{ka} , ark anot-katot gerilim düşümleri toplamıdır. Birçok araştırmacılar ark gerilim gradyenti için $E(i) = A i^{-n}$ şeklinde bir bağıntı dikkate almışlardır. A ve n katsayılarının değerleri arkın tutuştuğu ortama bağlı olarak değişmektedir.

Havada tutuşan bir ark için $A=63$ ve $n=0.7$ olmaktadır. V_{ka} 'nın değeri ark ucunun temas ettiği yüzeyin cinsine bağlıdır. Metal yüzeyler için bu değer, bir kaç yüz

volt olup, ark köklerinin kirli izole bir yüzeyde tutuşması hallerinde birkaç katı kadar artabilir. Şekil 2.3 'deki modelde yalnız bir ark göz önüne alınmış, arkın elektrotlardan birinden başladığı ve bir doğru boyunca yayıldığı ve V_{ka} 'nın sabitliği kabul edilmiştir.

R, ark ucu ile topraklı elektrot arasında toplam kir direnci ise, deşarjsız bölge boyunca gerilim düşümü

$$V_r = i.R \quad (2.8)$$

olur. R direncinin artan ark boyu ile azaldığı ($\frac{\partial R}{\partial x} < 0$) kabul edilebilir. R direnci ayrıca,

kir filminin ıslaklığına bağlı olarak değişir. Kaçak akımdan dolayı açığa çıkan ısı enerjisi ($dw = R.i^2.dt$) kir filmini ısıtarak çözünebilir iletken maddelerin çözünmesine ve kir filminin iletkenliğinin artmasına yol açabileceği gibi, fazla enerji nemin buharlaşmasına, dolayısıyla artmasına da sebep olabilir. Bu nedenle R direnci hem ark boyu x ve hem de ısı enerjisi w 'ye bağlı, $R=R(x,w)$ şeklinde bir fonksiyon olarak düşünülmelidir. ($\frac{\partial R}{\partial x} dx$), dt zamanında ark boyunun dx kadar artması ile dirençteki

değişimi temsil ederken ($\frac{\partial R}{\partial x} dw$), dt süresi içinde enerjinin bu dirençte sebep olduğu

değişimleri temsil eder. Pratik şartlar dikkate alınırsa, ön deşarjların tutuşmasından sonra w enerjisinin kir filminde buharlaşmaya sebep olacağı ve direnci arttırıcı yönde

etki yapacağı ($\frac{\partial R}{\partial w} > 0$) söylenebilir. Ark, kir filmi boyunca çok süratli yayılıyorsa, kir

direncinin enerji ile değişimi ihmal edilebilir (Rumeli, 1979).

Uygulanan gerilim V ise, (2.7) ve (2.8) denklemlerinden

$$V = x. A.i^{-n} + V_{ka} + i.R(x,w) = f(x,i,R) \quad (2.9)$$

yazılabilir. (2.9) denkleminde “Atlama denklemi” denir.

Uygulanan gerilim bir V_m değerinden aşağı düşerse ark söner. Bu minimum gerilim için böyle bir şartı gerçekleyen I_m akımı, V 'nin I 'ya göre türevini alıp sıfıra eşitleyerek bulunabilir (Şekil 2.4).

$$R = R(x, w) \text{ ve } dw = R \cdot i^2 \cdot dt$$

oldukları dikkate alınır

$$dR = \frac{\partial R}{\partial x} dx + \frac{\partial R}{\partial w} dw \quad (2.13a)$$

$$dR = \frac{\partial R}{\partial x} dx + \frac{\partial R}{\partial w} dw \quad (2.13b)$$

yazılabilir. (2.12) ve (2.13) denklemlerinde

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad i' = \frac{di}{dt}, \quad \Delta E = \frac{\partial f}{\partial x} = E - i \left| \frac{\partial R}{\partial x} \right|, \quad Q = \frac{\partial f}{\partial i} = \left(x \frac{\partial E}{\partial i} + R \right) \text{ ve } \phi = Ri^3 \frac{\partial R}{\partial w}$$

dönüşümleri yapılarak,

$$v = -\frac{Q}{\Delta E} - \frac{\phi}{\Delta E} \quad (2.14)$$

bulunur. (2.14) denkleminde v , arkın ucunun yayılma hızını ve I' , akımın türevini gösteren temel değişken ve Q , ϕ ve ΔE zamanın fonksiyonu olan parametrik

değişkenlerdir. $i \left| \frac{\partial R}{\partial x} \right| = r \cdot i = E_r$ ifadesi, ark uzunluğunda birim değişmeye karşılık kir

bölgesi gerilim düşümündeki değişmeyi gösterir. r 'ye "efektif kir birim uzunluk

direnci" ve E_r 'ye "efektif kir gradyenti" denilmiştir. $\Delta E = \frac{\partial f}{\partial x} = E - E_r$ bağıntısı da,

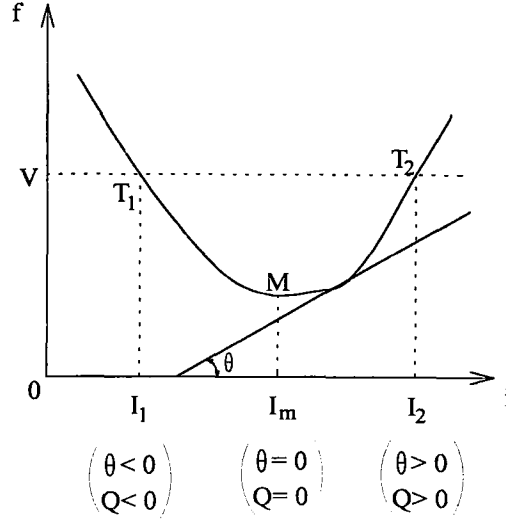
ark gradyenti, ile efektif gradyent farkını gösterir. ϕ , direncin enerji bağımlılığını temsil

eder. ΔE ve ϕ pozitif ve negatif olabilirler. $Q = \frac{\partial f}{\partial i} \left(x \cdot \frac{\partial E}{\partial i} + R \right)$, zamanın fonksiyonu ve

daima pozitif kalan bir parametredir.

Atlama denklemi dikkate alındığında bu denklemin geometrik çözümü şöyle yapılabilir. Bir $t=t_1$ anı için $x=x_1$ ve $R=R_1$ olup, $f(i)$ eğrisi Şekil 2.5'deki gibi olacaktır.

V , gerilim doğrusu ile $f(i)$ eğrisinin T_1 ve T_2 kesim noktaları, atlama denkleminin bu



Şekil 2.5. $f(i)$ eğrisi T_1 ve T_2 çalışma noktaları ve Q 'nun işareti

andaki çözümlerini veren çalışma noktaları olacaktır. T_1 noktasının labil ve T_2 noktasının stabil oldukları görülebilir. Bu nedenle, $t=t_1$ için I_2 akımı atlama denklemini sağlayan gerçek akım olacaktır. Stabil çözüm noktaları daima $f(i)$ eğrisinin stabil kolunda olacağından $Q(t)>0$ olacaktır. V doğrusunun $f(i)$ eğrisi ile kesim noktasının olmadığı hal, arkın fiziksel olarak tutuşmamasına tekabül edecektir.

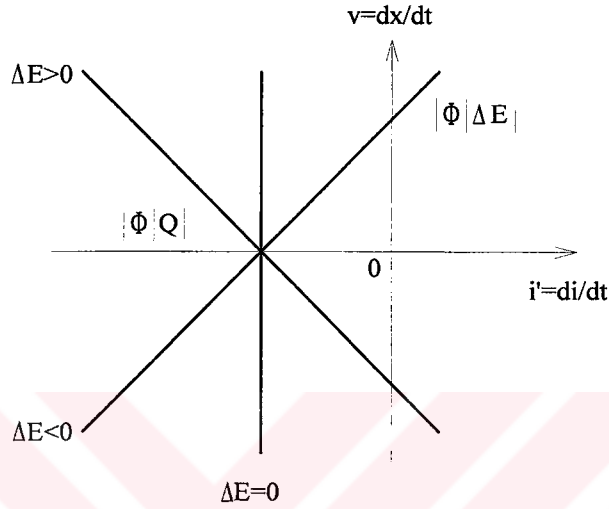
2.7.2. Bir ark kökü için atlama şartı

Atlamanın meydana gelmesi için arkın yüzey boyunca yayılarak elektrotlar arasını kısa devre yapması ($x=L$) gerekir. Birçok araştırmacılar atlamanın meydana gelebilmesi için ark boyu ve akımın beraberce artması fiziksel şartını kriter olarak almaktadırlar. Bu şart

$V > 0$ ve $i > 0$ veya $\frac{dx}{di} > 0$ şeklinde ifade edilebilir.

Atlama şartı (2.14) denkleminde şöylece araştırılabilir. Q , ϕ ve ΔE değişken parametreler olarak dikkate alınırsa, (2.14) denklemi v - i ' koordinatlarında bir doğru gösterir. Bu doğrunun konumu parametrelerin değerlerine bağlıdır. Atlama kriteri yönünden v - i ' koordinatlarında $n>0$ ve $i'>0$ bölgesi "atlama bölgesi" ve $v<0$ ve $i'<0$ bölgesi "atlamasız bölge" olarak tarif edilmiştir. Şekil 2.6, bu doğru üzerindeki her

nokta teorik olarak (2.14) denklemini sağlarsa da, fiziksel olarak akım ve ark boyunun bir t anında yalnızca bir değeri mümkün olduğundan, $v-i'$ doğrusu üzerinde yalnızca bir noktada gerçek çözüme tekabül edecektir. Bu noktanın atlama bölgesine göre konumu, atlamanın meydana gelme ihtimalini belirtecektir.



Şekil 2.6. Kirli bir yüzeyde bir ark kökünün hareketi için $v-i'$ değişimi ($\phi>0$).

2.7.2.1. Özel durum : $\phi > 0$

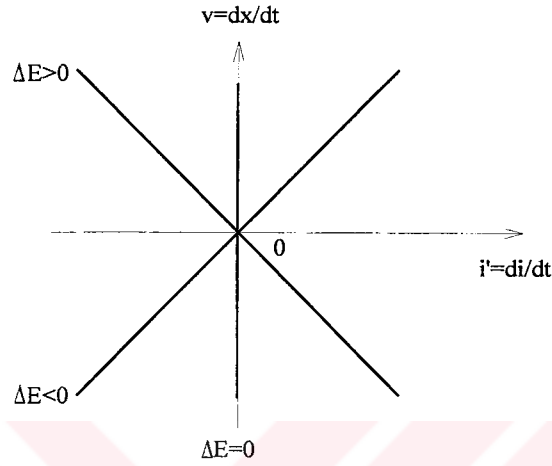
Bu durum, pratikte karşılaşılan kir tabakası direncinin ısınma ve diğer etkilerle zamanla artmasına tekabül eder. $\Delta E \neq 0$ için $v-i'$ eğrileri Şekil 2.6 'de çizilmiştir. Görüleceği gibi, ancak $\Delta E \neq 0$ halinde doğrunun atlama bölgesinden geçmesi, yani atlama ihtimali söz konusudur. $\Delta E > 0$ halinde atlama mümkün değildir. $\Delta E = 0$ halinde, ark boyu x değişirken akım sabit kalır. $\Delta E = 0$ şekline “kritik durum” ve bu şartı sağlayan akıma “kritik akım” denir. Kritik akım, I_c

$$\Delta E = E(I_c) - I_c \frac{\partial R}{\partial x} = 0 \quad (2.15)$$

şartından bulunabilir.

2.7.2.2. Özel durum : $\phi = 0$

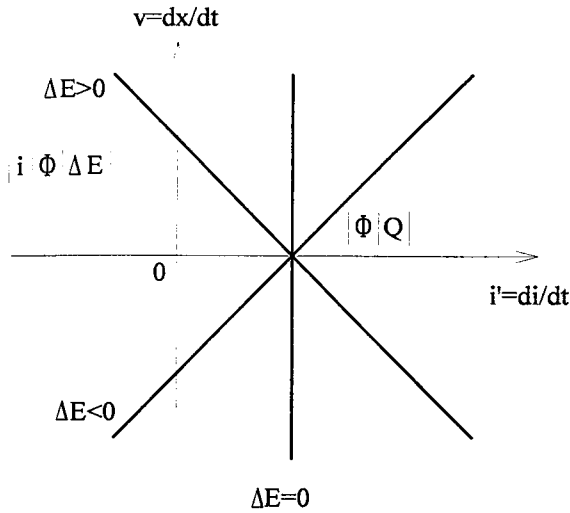
Bu durum, kir direncinin yalnızca ark boyu ile değişmesine tekabül eder. Bu şart için (2.14) denkleminde, $\Delta E \neq 0$ için v - i ' doğruları Şekil 2.7 'de çizilmiştir. Benzer açıklamalarla, ancak $\Delta E < 0$ halinde atlama ihtimali söz konusudur.



Şekil 2.7. Kirli bir yüzeyde bir ark kökünün hareketi için v - i ' değişimi ($\phi=0$)

2.7.2.3. Özel durum : $\phi < 0$

Bu durum kir direncinin enerji ve diğer etkenlerle azalmasına tekabül eder (Şekil 2.8). Ark boyundaki her artış, $\Delta E < 0$ halinde, akımda bir artışa yol açar. $\Delta E > 0$ halinde atlama için ayrıca $0 < v < \phi/\Delta E$ veya $0 < i < \phi/Q$ ilave şartı gerekmektedir.

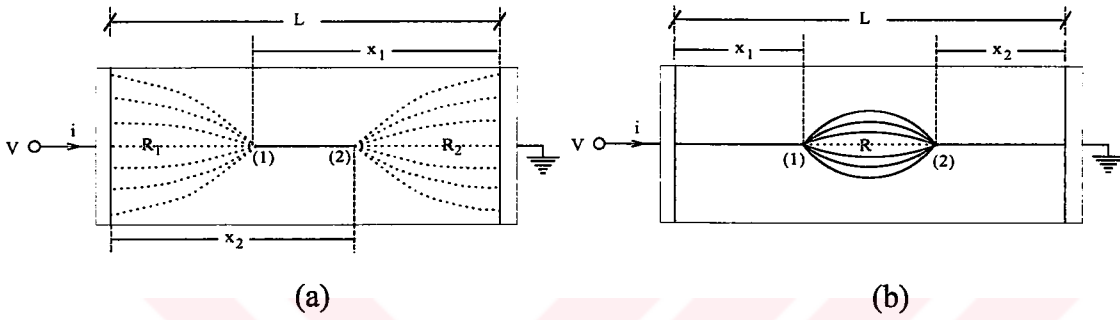


Şekil 2.8. Kirli bir yüzeyde bir ark kökünün hareketi için v - i ' değişimi ($\phi < 0$)

2.8. İki Ark Kökünün Kirli İzole Bir Yüzeyde Hareketi ve Atlama

2.8.1. İki ark kökü için atlama denklemleri

Şekil 2.9 'da kirli izole bir modelde iki ark kökünün hareketi dikkate alınmıştır. Şekil 2.9.a 'da, aynı doğru üzerinde yayılan ve elektrotlardan başlayan iki ark düşünülmüştür.



Şekil 2.9. Kirli bir yüzeyde iki ark kökünün hareketi: a)elektrotlardan başlayan iki ark, b) orta bölgede bir ark.

Her iki arkın toplam boyunda bir arkın elektrotlardan birinden yayılmaya başladığı veya Şekil 2.9.b 'de, orta bölgede tutuşan arkın, elektrotların birinden yayılmaya başladığı tarzında bir düşünüşle problemin bir önceki durumuna dönüşümü söz konusu olmaz. Çünkü akım çizgileri dağılımı dolayısıyla arka seri kir dirençlerinin değişimleri farklıdır. Ayrıca kirli yüzeyde tutuşan ark kökü sayısı farklı, dolayısıyla ark anot-katot gerilim düşümleri farklı olacaktır. Şekil 2.9.a için atlama denklemleri

$$V = x_1.E(i) + V_{ka1} + x_2.E(i) + V_{ka2} + iR(x_1, x_2, w)$$

veya

$$V = (x_1 + x_2).E + (V_{ka1} + V_{ka2}) + iR \quad (2.16a)$$

şeklinde ifade edilir.

Şekil 2.9.b 'de, arkın elektrotlar arasında başladığı ve elektrotlara doğru yayıldığı düşünülmüştür. Atlama denklemleri

$$V=(x_1+x_2-L).E(i)+V_{ka}+iR_1(x_1,w_1)+iR_2(x_2,w_2)$$

veya

$$V=(x_1+x_2-L).E+V_{ka}+I(R_1+R_2) \quad (2.16b)$$

olur. (2.14) denkleminin çıkarılışındaki benzer işlemler tekrarlanırsa

$$i' = -\frac{\Delta E_1}{Q} v_1 - \frac{\Delta E_2}{Q} v_2 - \frac{\phi}{Q} \quad (2.17)$$

bağıntısı bulunur. E_1 ve E_2 , (1) ve (2) no.lu ark kökleri için gradyent farklarını, v_1 ve v_2 (1) ve (2) no.lu ark köklerinin hızlarını ve i' akımın türevini gösterirler. Şekil 9.a için

$$Q = \left[(x_1 + x_2) \frac{\partial E}{\partial i} + R \right] \text{ ve } \phi = Ri^3 \frac{\partial R}{\partial w} \quad (2.18)$$

ve Şekil (10.b) için

$$Q = \left[(x_1 + x_2 - L) \frac{\partial E}{\partial i} + R_1 + R_2 \right] \text{ ve } \phi = i^3 (R_1 \frac{\partial R_1}{\partial w_1} + R_2 \frac{\partial R_2}{\partial w_2}) \quad (2.19)$$

$dw_1=R_1.i^2.dt$ ve $dw_2=R_2.i^2.dt$ oldukları (2.17) denkleminde göz önünde tutulmalıdır. Benzer tarzda $Q(t)>0$ olduğu gösterilebilir. (2.17) denkleminde i' , x_1 ve x_2 değişkenler ve ϕ , Q , ΔE_1 ve ΔE_2 değişken parametreler olarak alınıp, atlama ihtimali incelenebilir. Atlama için $i'>0$, $v_1>0$, $v_2>0$ olmalıdır.

2.8.2. İki ark kökü için atlama şartı

(2.16) atlama denklemi her t için sağlanmalıdır. (2.17) denklemi v_1 , v_2 ve i' koordinatlarında bir düzlemi ifade eder. Bu düzlemin koordinat eksenlerine göre konumu parametrelerin göz önüne alınan her t anındaki değerlerine bağlıdır. Düzlemin

(v_1, v_2) koordinat eksenlerinin teşkil ettiği düzlem ile ara kesit doğrusu, (2.17) denkleminde $i'=0$ konularak

$$\Delta E_1 \cdot v_1 + \Delta E_2 \cdot v_2 + \phi = 0 \quad (2.20)$$

ve buradan

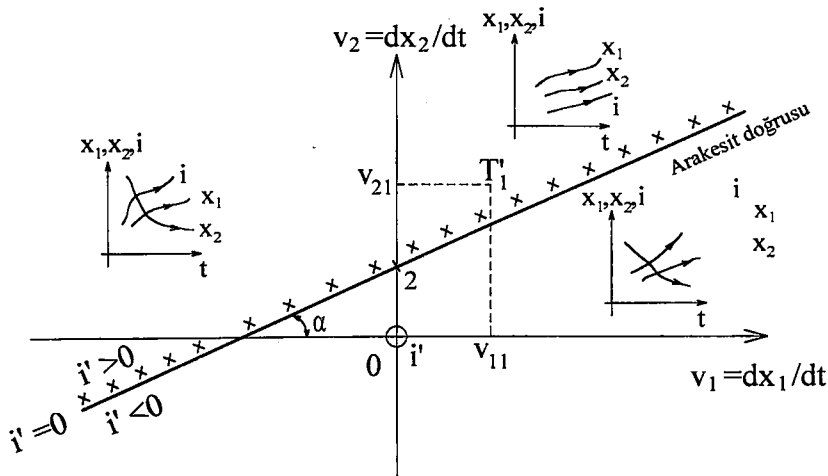
$$v_2 = -\frac{\Delta E_1}{\Delta E_2} v_1 - \frac{\phi}{\Delta E_2} = v_1 \tan \alpha + 2 \quad (2.21)$$

şeklinde elde edilir. Şekil 2.10, (v_1, v_2) koordinat düzleminde atlama bölgesi ve ara kesit doğrusunun taralı kısmı, düzlem üzerinde $i' > 0$ olan noktaların izdüşüm bölgesidir. Şekil 2.10 'da $x_1(t)$, $x_2(t)$ değişimleri bazı bölgeler için gösterilmiştir. Atlama için $v_1 > 0$, $v_2 > 0$ ve $i' > 0$ şartı gerektiğinden $v_2 \eta \alpha$ bölgesine atlama bölgesi denilmiştir.

Şekil 2.10 yardımıyla atlama ihtimali şu şekilde araştırılabilir. (2.20) denklemi ile beliren düzlem üzerindeki her nokta bu denklemi sağlar. Ancak bir $t=t_1$ anı için

$$v_{11} = \left(\frac{dx_1}{dt}\right)_{t=t_1}, \quad v_{21} = \left(\frac{dx_2}{dt}\right)_{t=t_1} \quad \text{ve} \quad i'_1 = \left(\frac{di}{dt}\right)_{t=t_1} \quad (2.22)$$

tek ve belirli değerleri haizdirler. Bu, düzlem üzerinde yalnızca bir noktanın gerçek çözüm olabileceği anlamına gelir.



Şekil 2.10. Kirli izole bir yüzeyde iki ark kökünün yayılımı halinde (v_1-v_2) düzleminde atlama bölgesi

Çözüm noktası $T_1 (v_{11}, v_{21}, i'_1)$ ve bunun (v_1, v_2) düzleminde izdüşümü T_1' olsun (Şekil 2.6). T_1' daima atlama bölgesinde kalıyorsa ($v_1 > 0$, $v_2 < 0$ ve $i' > 0$) atlama şartı sağlanacağından, akım ve uzunluklar beraberce artabilir ve atlama meydana gelebilir. Buna göre, ϕ , ΔE_1 ve ΔE_2 parametrelerinin pozitif, sıfır ve negatif değerleri için atlama ihtimalleri Tablo 2.2 'de özetlenmiştir. Benzer tarzda $Q(t) > 0$ alınmıştır.

Tablo 2.2. x_1 , x_2 ve i' 'nin beraberce artma ihtimali

ΔE_1	ΔE_2	$\phi > 0$	$\phi = 0$	$\phi < 0$
+	+	yok	$0 < v_1 < \phi/\Delta E_1 $ ve $0 < v_2 < \phi/\Delta E_2 $	yok
0	0	yok	$v_1 > 0$ ve $v_2 > 0$	yok
+	0	yok	$0 < v_1 < \phi/\Delta E_1 $ ve $v_2 > 0$	yok
-	0	yok	$v_2 > 0$ ve $0 < v_1 < \phi/\Delta E_1 $	$v_1 > 0$ ve $v_2 > 0$
-	-	$i' > 0$, $v_1 > \phi/\Delta E_1 $ ve $v_2 > \phi/\Delta E_2 $	$v_1 > 0$ ve $v_2 > 0$	$v_1 > 0$ ve $v_2 > 0$
+	-	$i' > 0$, $v_2 > \phi/\Delta E_2 $ ve $v_1 > 0$	$i' > 0$, $v_1 < \phi/\Delta E_1 $ ve $v_2 > 0$	$i' > 0$, $v_1 > 0$ ve $v_2 > 0$

Tablo 2.2 'in incelenmesinden şu sonuçlar çıkarılabilir :

$\Delta E_1 > 0$, $\Delta E_2 > 0$ hallerinde atlama ihtimali en az, $\Delta E_1 < 0$, $\Delta E_2 < 0$ hallerinde atlama ihtimali en fazladır. $\phi > 0$ için atlama ihtimali $\phi \leq 0$ 'a göre daha az, $\phi = 0$ için atlama ihtimali $\phi < 0$ 'a göre daha azdır. Şu halde atlama olmaması bakımından en uygun şart $\Delta E_1 > 0$, $\Delta E_2 > 0$ ve $\phi > 0$ olmaktadır. $\phi > 0$ ark 'a seri kir bölgesi direncinin açığa çıkan ısı enerjisi ile artışını ve pratik durumu temsil eder.

3. İZOLATÖR EŞDEĞER MODELLERİ

3.1. Genel Bilgi

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

3.2. Statik Model

3.2.1 Wilkins (RW) modeli

Wilkins (1969), verilen bir izolatörü eşdeğer bir dikdörtgen modelle 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 σ_s yüzeysel iletkenlikli kirle homojen kaplı bir izolatörün terminalleri arasındaki kir direnci

$$R_{iz} = \frac{1}{\sigma_s} \int_0^L \frac{dl}{\pi \cdot D(l)} \quad (3.1)$$

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 σ_s yüzeysel iletkenlikli kirlenmiş homojen kaplı bir modelin terminalleri arasındaki kirlenmiş direnci ise

$$R_{mo} = \frac{L}{\sigma_s \cdot a} \quad (3.2)$$

olur. Her iki direncin eşitliğinden, eşdeğer dikdörtgen modelin eni

$$a = \pi \cdot d_{eff} = \frac{\pi \cdot L}{\int_0^L \frac{dl}{D(l)}} \quad (3.3)$$

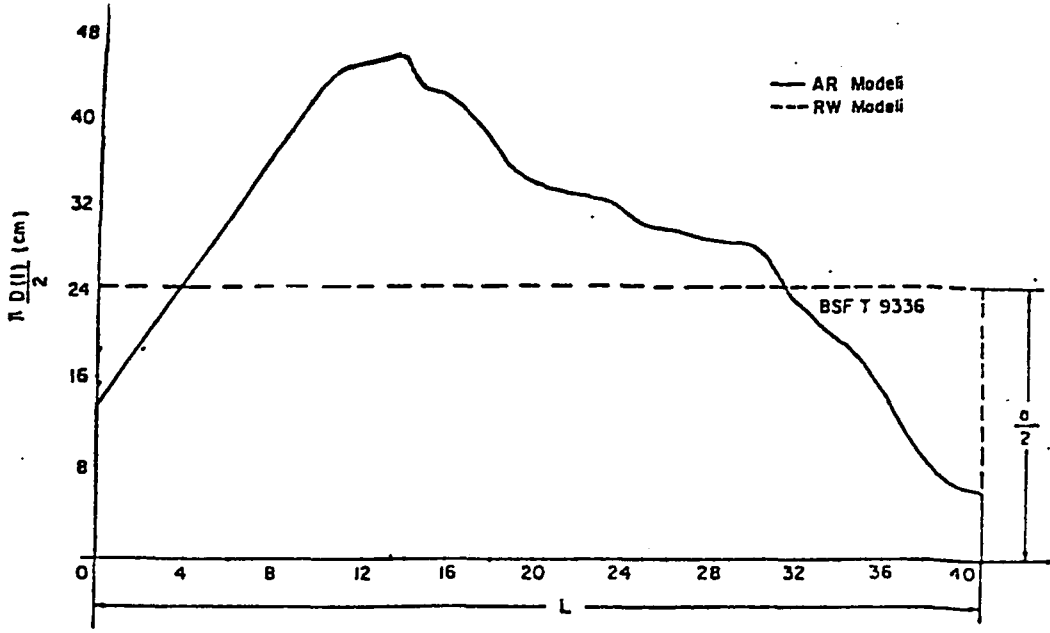
bulunur. Burada d_{eff} , efektif izolator çapıdır. Verilen bir izolator için kompleks şekil nedeniyle a 'nın hesabı ancak nümerik yollarla yapılabilmektedir. Hesaplamalarda göz önüne alınan Wilkins modeli RW sembolü ile gösterilmiş ve hesaplanan model Şekil 3.1 'de çizilmiştir (Wilkins, 1969).

3.2.2. Rumeli (AR) modeli

Rumeli (1969), bir izolatorün Bölüm 3.2.1 'de belirtilen şekilde bir dikdörtgen model yerine, boyu izolatorün sızma boyuna eşit ve eni

$$a(l) = \pi \cdot D(l) \quad (0 \leq l \leq L) \quad (3.4)$$

bağıntısına göre değişen eşdeğer düzlemsel bir model ile tespit edilmesi halinde, atlama olayında izolatorün fiziksel şeklinin gerçeğe daha uygun olacağını ortaya koymuştur. AR sembolü ile gösterilen ve daha sonra bazı araştırmacılar tarafından (Zhicheng ve Renyu, 1990) Açık Model olarak isimlendirilen bu model Şekil 3.1 'de BSFT 9336 izolatorü için RW modeli ile birlikte çizilmiştir.



Şekil 3.1. İzolatör RW ve AR yarı modelleri

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.(3.3) ve Şekil 3.1 '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.

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).

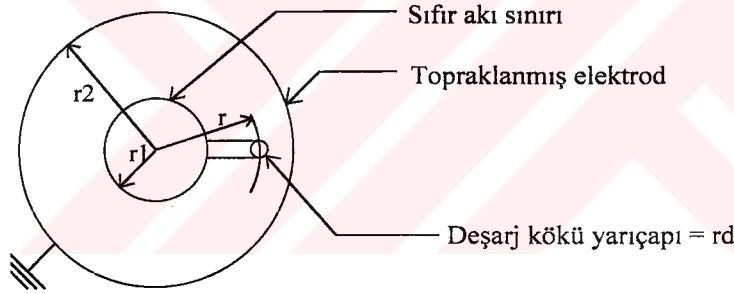
3.2.3. Dairesel şerit model

Bendapudi (1988) tarafından sunulan bu modelde, uygun bir gerilim tatbik edilen kir tabakası ile bir çubuk elektrot arasındaki ve topraklanmış bir elektrot ile çubuk elektrot arasındaki hava aralığından geçerek oluşmuş bir deşarj ile σ_s yüzeysel iletkenliğinin düzenli kirlenmesinin dairesel bir şeridi dikkate alınmıştır (Şekil 3.2).

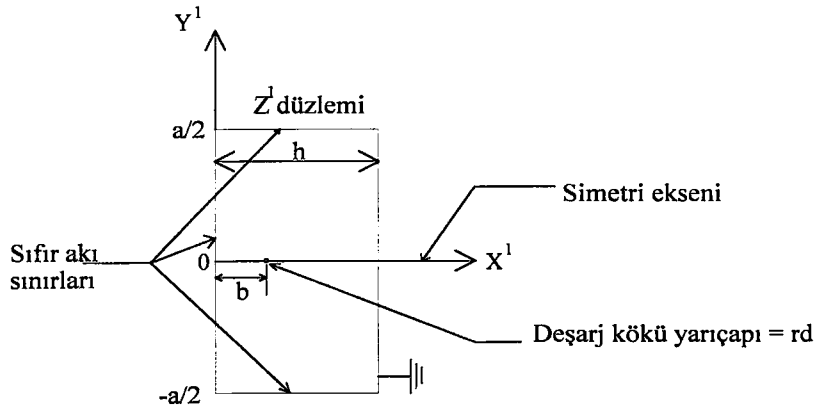
Hesaplamayı basitleştirmek için, dairesel şerit $1/r_1$ faktörü ile küçültülmüştür. İç daire birim çemberdir ve deşarj kökü yarıçapı r_d/r_1 'dir. Z düzlemindeki bu bölünmüş dairesel şerit $Z' = \ln Z$ dönüşümü kullanılarak düz dikdörtgen bir levha haline dönüştürülmüştür. Orijinal şerit ile dikdörtgen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

$$\begin{aligned} h &= \ln(r_2/r_1) & b &= \ln(r/r_1) \\ a &= 2\pi & r_{d1} &= \ln(1 + r_d/r) \end{aligned} \quad (3.5)$$

şeklinde verilir.



Şekil 3.2. Dairesel şerit model



Şekil 3.3. Dönüştürülmüş dairesel şerit

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

$$R = \frac{1}{2\pi\sigma_s} \left[\ln \frac{4h}{\pi \cdot r_{d1}} - \ln \tan \frac{\pi b}{2h} \right] \quad (3.6)$$

şeklinde bulunur. h , b , a ve r_{d1} denklem (3.5) ve (3.6) 'de yerine konursa aranan direnç değeri bulunur. Uygulama gerilimi

$$V = V_e + A(r-r_1) I^n + I.R \quad (3.7)$$

dir. Deşarj uzaması için,

$$\frac{di}{dr} = -\frac{\partial V / \partial r}{\partial V / \partial i} > 0 \quad (3.8)$$

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

$$\ln \left(1 + \frac{r_d}{r} \right) \approx \frac{r_d}{r} \quad (3.9)$$

olduğundan

$$\frac{\partial V}{\partial r} = A.I^{-n} + \frac{I}{2\pi\sigma_s} \left[\frac{1}{r} - \frac{\pi}{rh} \operatorname{Cosec} \frac{\pi b}{h} \right] \quad (3.10)$$

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

$$I_c' = \left[\frac{2A.\pi.\sigma_s.r}{\frac{\pi}{h} \operatorname{cosec} \frac{\pi.b}{h} - 1} \right]^{\frac{1}{1+n}} \quad (3.11)$$

Eğer $\partial V/\partial i \geq 0$ sağlanmamışsa, I_c' için doğru değer $\partial V/\partial i$ sıfıra eşit veya sıfırın hemen üstünde oluncaya kadar denklem (3.11) ile verilen akımın artışı ile bulunur. Deşarj kökü yarıçapı

$$r_c' = \left[\frac{I_c'}{1,45\pi} \right]^{0,5} \quad (3.12)$$

ile verilmiştir.

R direnci denklem (3.6) 'dan ve I_c' akımına karşı gelen V_c' gerilimi denklem (3.7) 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).

3.3. Dinamik Model

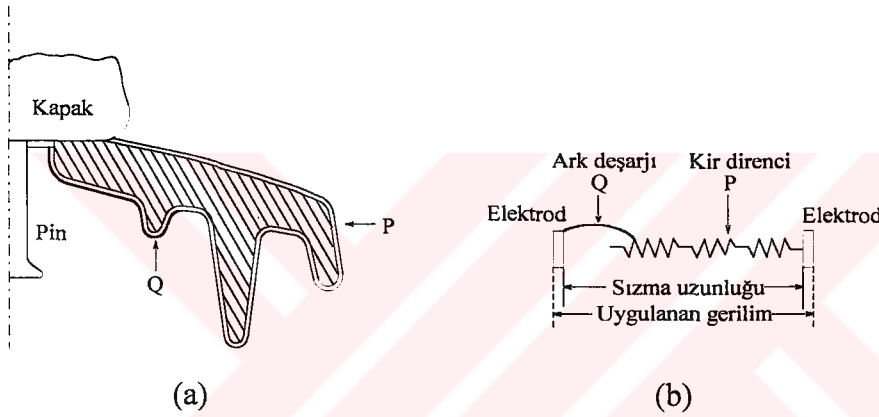
3.3.1 Sundararajan ve Gorur modeli

Sundararajan ve Gorur (1993), kirli izolatör yüzeylerinde oluşan olayları açıklayabilmek için dinamik bir model geliştirmişlerdir. Kirlenme probleminde kuru bantlarda oluşan deşarjlar ve kir tabakasının direnç değişimi önemlidir. Obenaus, kuru bant oluşumunun yüzey iletkenliğine ve atlama gerilimine olan etkisini adım adım incelemiştir. Bu inceleme Neumarker (1959) tarafından, kir tabakasının her birim boyunun düzenli bir kir direncine sahip olduğu kabulü yapılarak tamamlanmıştır. Ancak pratikte izolatör yüzeyindeki kir dağılımı düzensiz bir yapıya sahiptir. Ayrıca kir tabakasının ıslanması ve kuruması 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.

Kirli izolatörde kuru bant boyunca meydana gelen ark Şekil 3.4.a 'da gösterilmiş ve Şekil 3.4.b 'deki gibi yüksek bir dirence seri deşarjla modellenmiştir.



Şekil 3.4. a) Arkın meydana geldiği kirli izolatör, b) Obenaus modeli.

Deşarj, köprülenmemiş kısmın kir tabakasının atlama gerilimleri aşağıdaki adımlarda gösterilen şekilde hesaplanmıştır.

Adım 1: Gerilim eşitliği aşağıda yazıldığı gibidir.

$$V_s = V_c + V_a + R_{ark} \cdot L_{ark} \cdot I + I(R_{kir} + R_s) \quad (3.13)$$

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

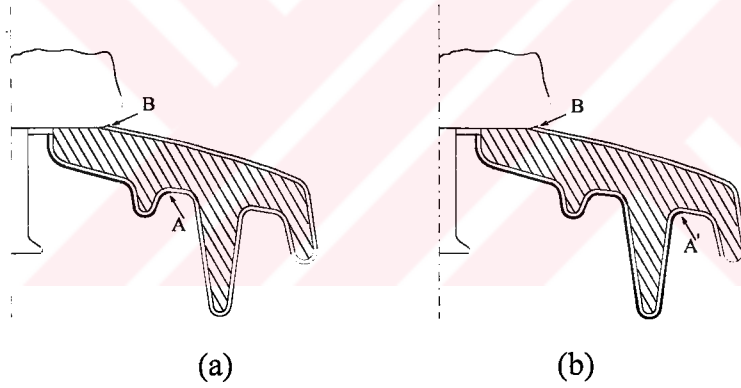
Adım 2: Güç kaynağından herhangi bir anda çekilen akım (R_s ihmal ediliyor)

$$I = \frac{V_s - (V_c - V_a)}{R_{ark} \cdot L_{ark} + R_{kir}} \quad (3.14)$$

ile verilir. $t=0$ anında; σ (μs) yüzey iletkenliği olmak üzere verilen bir V_s uygulama gerilimi ve kir yoğunluğu için aşağıda verilen başlangıç değerleri kullanılarak akım hesaplanmıştır.

L_{ark} =Sızma uzunluğunun 1/100 'ü (cm), R_{ark} =100 Ω/cm , V_c =700 V (sabit), V_a =200 V (sabit).

F form faktörü (2.4) denkleminde hesaplanır ve (2.5) denkleminde yerine konarak kir direnci bulunur.



Şekil 3.5. Kirlenmiş izolatörlerde arkın yayılışı.

Form faktörü ark uzunluğuna bağlı olarak her zaman diliminde, sayısal integrasyon teknikleriyle hesaplanmıştır. Sızma uzunluğu değişimi daima arkın yayılımına ve form faktörüne bağlıdır. Mesela; t_1 anında ark A pozisyonunda ise (Şekil 3.5-a), form faktörü A-B kısmı için hesaplanır. $t_2=t_1+dt$ anında ark A' ile gösterilen yeni pozisyona hareket etmişse (Şekil 3.5-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

$$E_{ark} = A \cdot I^{-n} \quad (3.15)$$

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

Adım 4: Kir gradyenti

$$E_k = A \frac{1}{1+n} \cdot R_k^{\frac{1}{1+n}} \quad (3.16)$$

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

$$R_k = \frac{R_{kir}}{L - L_{ark}} \quad (3.17)$$

Adım 5: Ark yayılım kriteri için $E_k > E_{ark}$ kullanılır. Eğer $E_{ark} \geq E_k$ ise ark söner. Kaynak gerilimi artırılarak yukarıdaki adımlar tekrarlanmış ve arkın yayılma durumu tekrar test edilmiştir. Ark uzunluğu sızma uzunluğundan daha küçük ise ve ark yayılım kriteri sağlanmışsa, ark direncindeki dinamik değişiklik nümerik diferansiyel bir teknik kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\frac{dR_{ark}}{dt} = \frac{R_{ark}}{\lambda} - \frac{R_{ark}^2 \cdot I^{n+1}}{\lambda \cdot N} \quad (3.18)$$

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

$$R_{ark}(\text{yeni}) = R_{ark}(\text{eski}) + dR_{ark} \quad (3.19)$$

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

3.3.2. Bu çalışmada geliştirilen yeni model

Bu çalışmada, kirli izolatör yüzeyinde meydana gelen ark olayını açıklayabilmek için dinamik bir model geliştirilmiştir. Kuru bantlarda oluşan deşarjlar ve kir tabakasının direnç değişimi önemlidir. Kir tabakasının direnci AR modeli üzerinde hesaplanmıştır. Burada kir tabakasının iletkenliği homojen bir yapıya sahiptir. Ancak iletkenlik değişimi lineer veya eksponansiyel olarak göz önüne alınabilir. Ayrıca ark esnasında kir tabakasında meydana gelen sıcaklık değişimlerini dikkate alınmamıştır.

Geliştirilen bu modelde, izolatörün gerçek yapısı dikkate alınarak, iki boyutlu şekli üzerinde sızma aralığı boyunca potansiyel ve alan şiddeti değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca ark 'a seri kir direnci değerleri de üç boyutlu yüzeyden açık modele geçmek ve o işlem anındaki potansiyel değerlerini kullanmak suretiyle hesaplanmıştır. Bu modelde göz önüne alınan denklemler ve izlenen işlem adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: SEY kullanılarak izolatörün içinde ve seçilen dış bölgesinde potansiyel ve alan şiddeti dağılımı hesaplanır:

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

$$W(\phi) = \int_V \rho E^2 dv \quad (3.20)$$

olur. Burada E, dv hacminin elektrik alan şiddeti ve ρ , kir tabakasının özgül direncidir. Ele alınan problem bölgesinde geçerli Laplace denklemi için aşağıdaki fonksiyonel ifadesi yazılabilir.

$$We = \int_S \rho_s \left[\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)^2 \right] dx.dy \quad (3.21)$$

Burada $\rho_s = \rho/h$ yüzey iletkenliği olup, h kir tabakasının kalınlığıdır. Bu enerji fonksiyonelinin minimizasyonu sonucunda incelenen bölge için potansiyel dağılımı elde edilir (Cebeci, 1992; Çanakçı, 1993).

Adım 2: İzolatör yüzeyi üzerinde sızma aralığı boyunca alan şiddeti değerleri ve yerleri belirlenir:

SEY sonucuna göre belirlenen düğüm potansiyellerinden, çözüm için kullanılan her bir üçgen elemana ilişkin alan şiddeti değerleri

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} \quad (3.22)$$

$$E_y = -\frac{\partial V}{\partial y} \quad (3.23)$$

denklemlerinden yararlanılarak

$$|\vec{E}| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (3.24)$$

şeklinde hesaplanır. Burada E_x ve E_y alan şiddetinin x ve y doğrultusundaki bileşenleridir. Yöntemin uygulanmasında türev hesaplamaları için ilgili üçgen elemana ilişkin köşe potansiyelleri, üçgen elemanın alanı ile enterpolasyon fonksiyonları kullanılır.

Adım 3: SEY yardımıyla ark 'a seri kir direnci ($R(x)$) değerleri AR modeli üzerinden hesaplanır:

Şekil 3.1 'de gösterilen ve BSFT-9336 izolatörüne ait Rumeli modeli üzerinde potansiyeller yardımıyla $R(x)$ değişiminin bulunabilmesi amacıyla, bu çözüm bölgesi üçgen elemanlar ile bölmelenmiş ve izolatörün kapak-sap kısımlarına başlangıç şartları uygulanarak çözüm elde edilmiştir. Direnç hesabı için bilgisayar programına ilişkin detay, Bölüm 4.6.1 'de verilmiştir.

Açık model (AR modeli) içinde kalan bölge üçgen elemanlara bölünerek çözüm yapılmıştır. Aynı şekilde topraklı elektroda oldukça yakın olan bölgede üçgenlere bölünmüş dörtgenlerden yararlanılmıştır. İki elektrot arasındaki toplam direnç aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Şekil 3.5 'de gösterilen ve işletme geriliminin uygulandığı (i,2) noktasındaki elektrot ile sıfır potansiyelindeki elektrot ($m,j; j=2,...,n$) arasındaki toplam direnç $\nabla^2 V=0$ denkleminin belirlenen sınır şartları altında çözümünden bulunur. Rumeli (1979), model

üzerinde yerleştirilen sondayı sızma aralığı boyunca, sap tarafından kapağa doğru belirli aralıklarla ilerleterek $R(x)$ değişimini hesaplamış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. Geliştirilen bu yeni modelde ise, sonda yerine sızma aralığı üzerindeki noktalara ait potansiyel değerleri hesaba katılmıştır.

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

$$E(m-1, j) = \frac{V(m-1, j)}{\epsilon}, \quad j=2, \dots, n \quad (3.25)$$

yazılabilir. J akım yoğunluğu, χ kir spesifik iletkenliği ve E elektrik alanı arasında

$$J_j = \chi \cdot E_j = \chi \frac{E(m-1, j-1) + E(m-1, j)}{2} \quad (3.26)$$

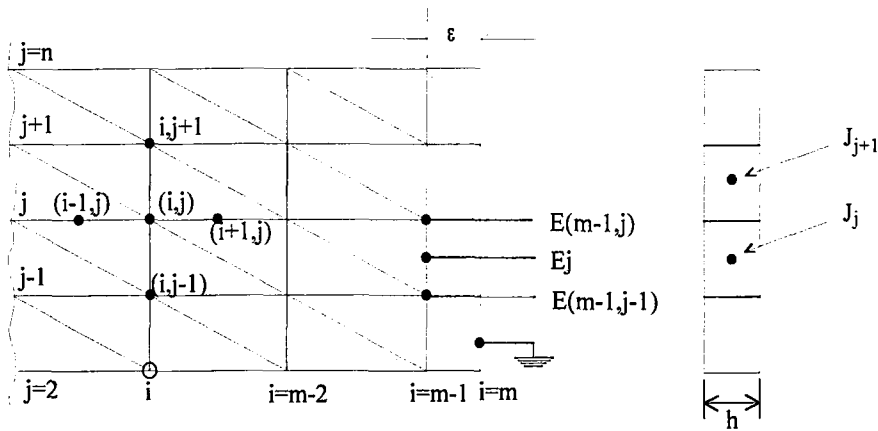
veya

$$J_j = \chi \cdot V_{ORT} \quad (3.27)$$

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

$$I = \frac{V_{ORT}}{RES} \quad (3.28)$$

dir. Gerilimin uygulandığı elektrot ile topraklı elektrot arasındaki toplam direnç



Şekil 3.6. Direnç hesabı

$$R = \frac{V}{2.I} = \frac{V.RES}{2.V_{ORT}} \quad (3.29)$$

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

Adım 4: Yüzey üzerinde atlama kriterini ($E > E_{ark}$) sağlayan kısmi deşarjın meydana geldiği noktalar belirlenir:

Bu adımda kir tabakasından akan akım topraklı elektroda yakın sık bölmelenmiş üçgenlere ait komşu iki düğüm noktasının potansiyellerinin ortalaması alınarak elde edilen V_{ORT} geriliminden de yararlanılarak

$$A_{TOP} = \frac{V_{ORT}}{R} \quad (3.30)$$

E_{ark} ile gösterilen ark gerilim gradyenti

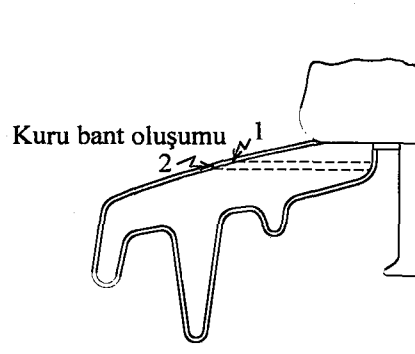
$$E_{ark} = A.A_{TOP}^{-n} \quad (3.31)$$

Şeklinde hesaplanır. Burada ark 'ın havada tutuştuğu kabul edilerek $A=63$ ve $n=0,76$ olarak alınmıştır (Sundararajan ve Gorur, 1991; Ghosh ve Chatterjee, 1995).

Adım 5: İzolatör yüzeyindeki herhangi iki nokta arasında ark meydana gelmesi durumunda bu iki noktanın potansiyelleri eşit olarak göz önüne alınır ($V_1=V_2$):

Bu durum bir sonraki adım için yapılacak olan hesaplamada başlangıç şartı olarak kullanılacaktır. Bunun için deşarj kriteri tarafından arkın oluşacağı belirlendiğinde $V_1=V_2$ şartı denklem sistemine enjekte edilmelidir. Bu işlemi yapmanın kolay bir yolu Lagrange Çarpanlarını kullanmaktır (Cebeci, 1991; Cebeci ve diğ., 1998).

Adım 6: Arkın oluştuğu iki nokta arasındaki bölgede kuru bant oluşması nedeniyle, ark 'a seri kir direnci hesabında bu durum dikkate alınır.



Şekil 3.6. Yeni modelde kuru bant oluşumu.

Adım 7: Ark yayılma kriteri için, $E > E_{ark}$ karşılaştırması göz önüne alınmıştır. Kir tabakasının gerilim gradyenti ark gradyentinden daha büyük olursa, akımdaki artış ile ark yolunun iyonizasyonu sağlanacaktır. Bu durumda gerilim gradyenti arkın önünde olacak ve ark yayılacaktır. Aksi takdirde ark sönecektir. Kaynak gerilimi ve yüzey iletkenliği lineer veya eksponansiyel olarak artırılmış ve yukarıdaki adımlar tekrarlanarak arkın yayılma durumu incelenmiştir. Eğer $E_{ark} \geq E$ ise ark söner.

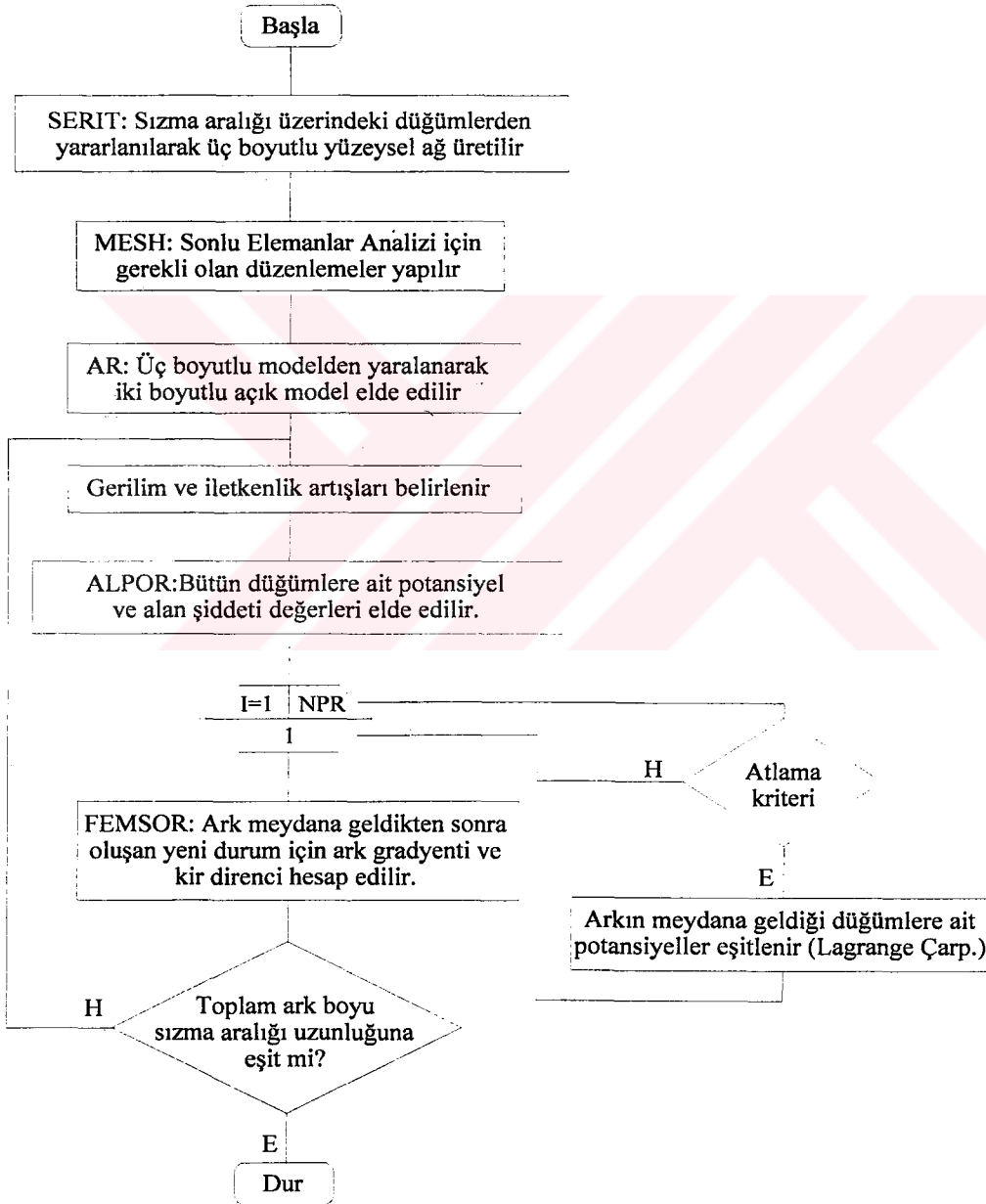
$E > E_{ark}$ durumunda; ark uzunluğu izolatorün sızma uzunluğuna eşit olursa, bu ark atlamaya sebep olur. Ark uzunluğu sızma uzunluğundan daha küçük ise ve ark yayılım kriteri sağlanmışsa, ark direncindeki dinamik değişiklik açık model üzerinden yeniden hesaplanarak ilgili denklemlerde göz önüne alınır.

Herhangi iki veya daha fazla noktada ark meydana gelirse, 2.adıma geri dönülerek işlem adımları sızma aralığı üzerindeki tüm düğümlerde ark meydana gelinceye kadar devam eder.

4. BİLGİSAYAR PROGRAMI

4.1. Giriş

Program genel olarak 5 alt programdan oluşur. Bunlar kısaca; (1) sızma aralığı üzerindeki düğümleri kullanarak izolatörün üç boyutlu modeli için yüzey üzerindeki bütün düğümlerin koordinatlarının elde edildiği SERİT alt programı,

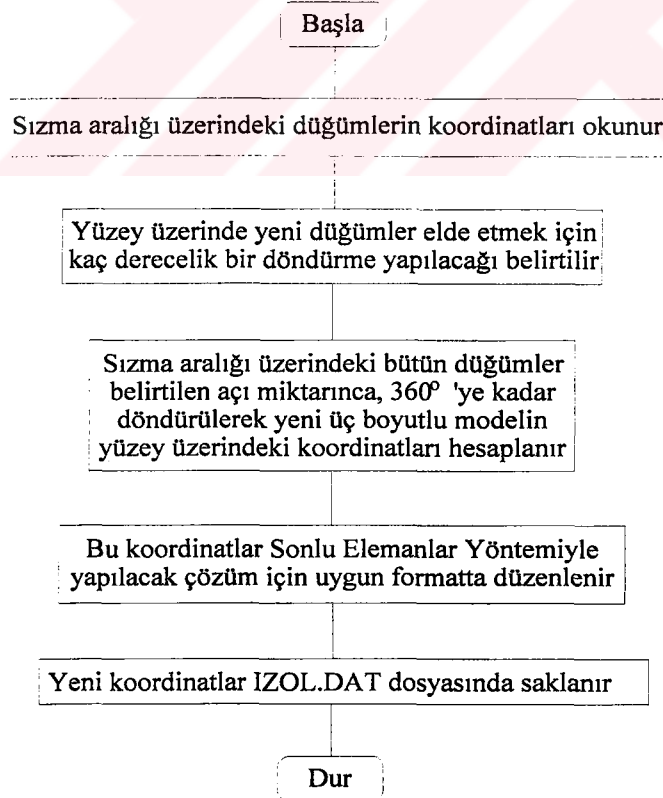


Şekil 4.1. Programa ait genel akış diyagramı.

(2) Sonlu Elemanlar Analizi için gerekli olan bütün verilerin elde edildiği MESH alt programı, (3) üç boyutlu modelden iki boyutlu AR modeline (Açık Model) geçişin yapıldığı AR alt programı, (4) başlangıç datasından yararlanılarak sızma aralığı üzerindeki düğümlerin, potansiyellerinin ve elektrik alan şiddetlerinin elde edildiği ALPOR alt programı, (5) sızma aralığı üzerindeki kir tabakasının direncinin hesaplandığı FEMSOR alt programı.

4.2. SERIT Altprogramı

SERIT alt programına ilişkin akış diyagramı Şekil 4.2 'de verilmiştir. İlk olarak B2PORPOT.DAT dosyasından sızma aralığı üzerinde bulunan düğümler ve koordinatları okunur. İzolatör, eksenel simetriye sahip olduğundan, sadece sızma aralığı boyunca bir çizgi halinde noktaların koordinatlarından yararlanılarak, belirtilen bir açı miktarınca bütün düğümler 360° döndürülerek izolatör yüzeyi boyunca bütün düğümlerin koordinatları elde edilir. Daha sonra Sonlu Elemanlar Yöntemiyle yapılacak çözüme uygun formatta düzenlenerek IZOL.DAT dosyasına yazılır.



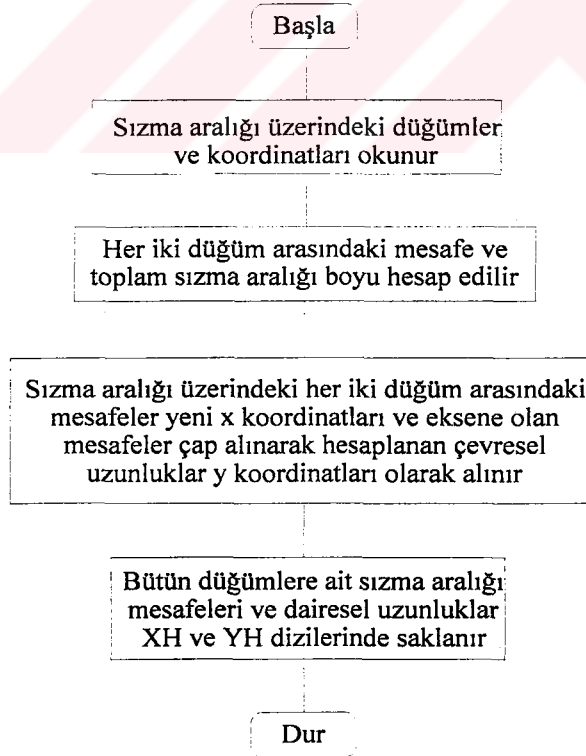
Şekil 4.2. SERIT altprogramına ait akış diyagramı.

4.3. MESH Altprogramı

Daha sonra MESH alt programında Sonlu Elemanlar Analizi için gerekli olan; düğüm, eleman ve başlangıç şartı bilinen düğüm sayıları, tüm elemanları çevreleyen düğüm numaraları, başlangıç şartı bilinen tüm düğümler ve potansiyel değerleri, tüm elemanların özellikleri (dielektrik sabiti, iletkenlik, malzeme özellikleri vb.) gibi bilgiler elde edilir.

4.4. AR Altprogramı

Bu çalışmada, ark 'a seri kir direnci hesabında, Bölüm 3.2.2 'deki değerlendirmeler dikkate alınarak AR modeli kullanılmıştır. Bu alt programda, üç boyutlu modelden iki boyutlu açık model elde edilir. Bunun için önce sızma aralığı üzerindeki düğümlerden yararlanarak her iki düğüm arasındaki mesafe ve toplam sızma aralığı boyu hesaplanır. Rumeli modelinde x koordinatları, üç boyutlu koordinatlar



Şekil 4.3. AR altprogramına ait akış diyagramı.

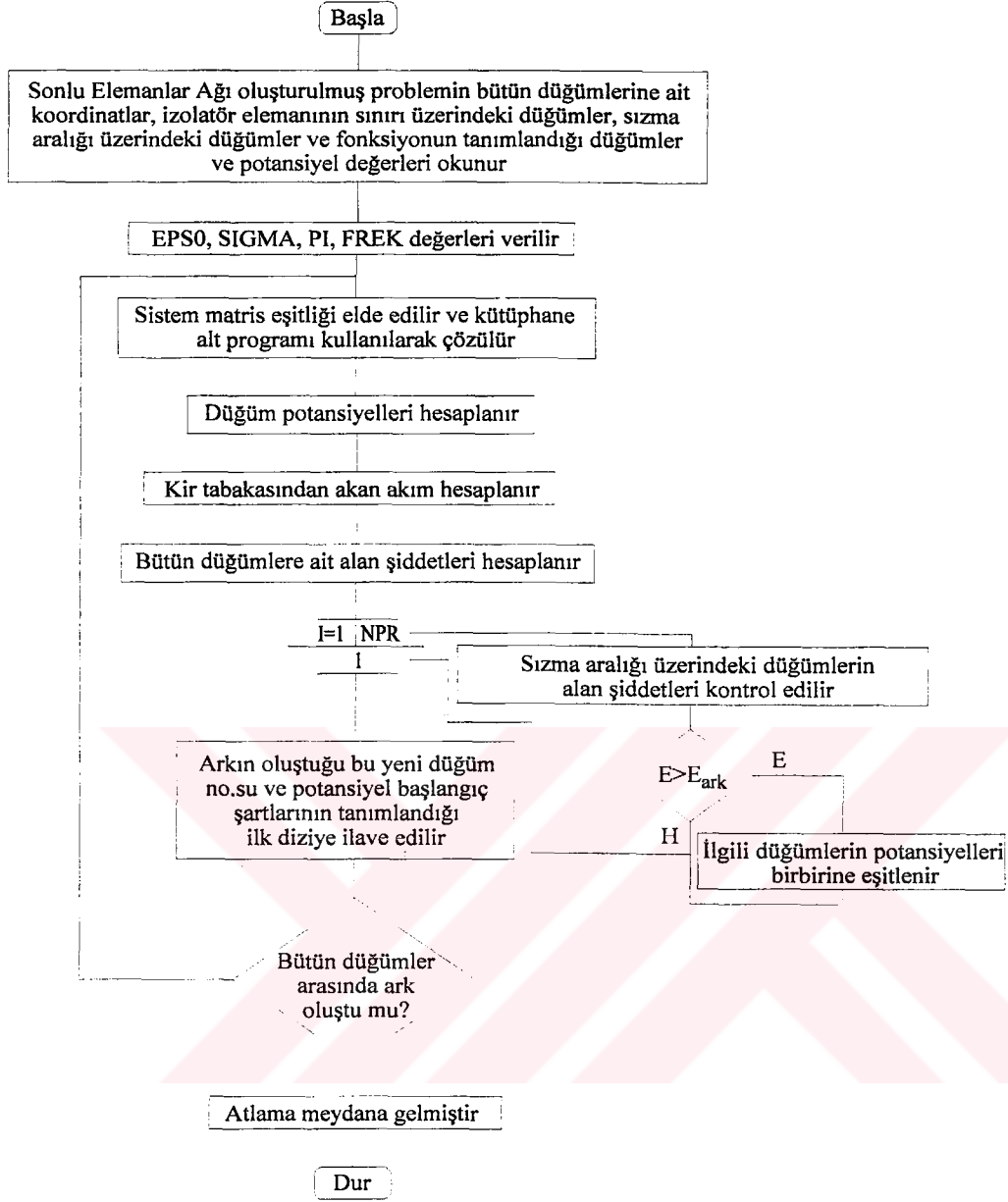
kullanılarak hesap edilen sızma aralığı uzunlukları, y koordinatları da her bir düğümün izolatör eksenine olan mesafesi yarıçap olarak alınarak elde edilen çevresel uzunluklardır. Böylece açık modele ait yeni iki boyutlu koordinatlar elde edilir.

Üç boyutlu izolatör çiziminden, program yardımıyla, elde edilen iki boyutlu açık model Şekil 5.7 'de gösterilmiştir.

4.5. ALPOR Altprogramı

El ile yapılan bölmelemeye ait bütün düğüm koordinatları, her bir elemanı belirleyen üç düğüm numarası, fonksiyonun tanımlandığı düğümler ve potansiyelleri ve her bir elemana ait dielektrik sabitlerinin bulunduğu B.DAT dosyası, izolatörü belirleyen sınır noktalarına ait koordinatların bulunduğu BS.DAT dosyası ve sızma aralığı boyunca bulunan düğümler ve koordinatlarının bulunduğu BSZ.DAT dosyası okunur. Daha sonra program içinde dielektrik sabiti (ϵ_0, ϵ_r), iletkenlik (σ), pi, frekans (f) vb. gibi sabitler belirtilir. Bütün düğüm potansiyelleri, sistem matris eşitliğinin standart kütüphane altprogramı yardımıyla hesaplanmasından elde edilir. Bu noktalara ait potansiyeller hesaplanarak BSZPOT.DAT dosyasına yazılır. Kir tabakasından akan akım hesaplandıktan sonra, yine bütün düğümlere ait alan şiddetleri hesaplanır.

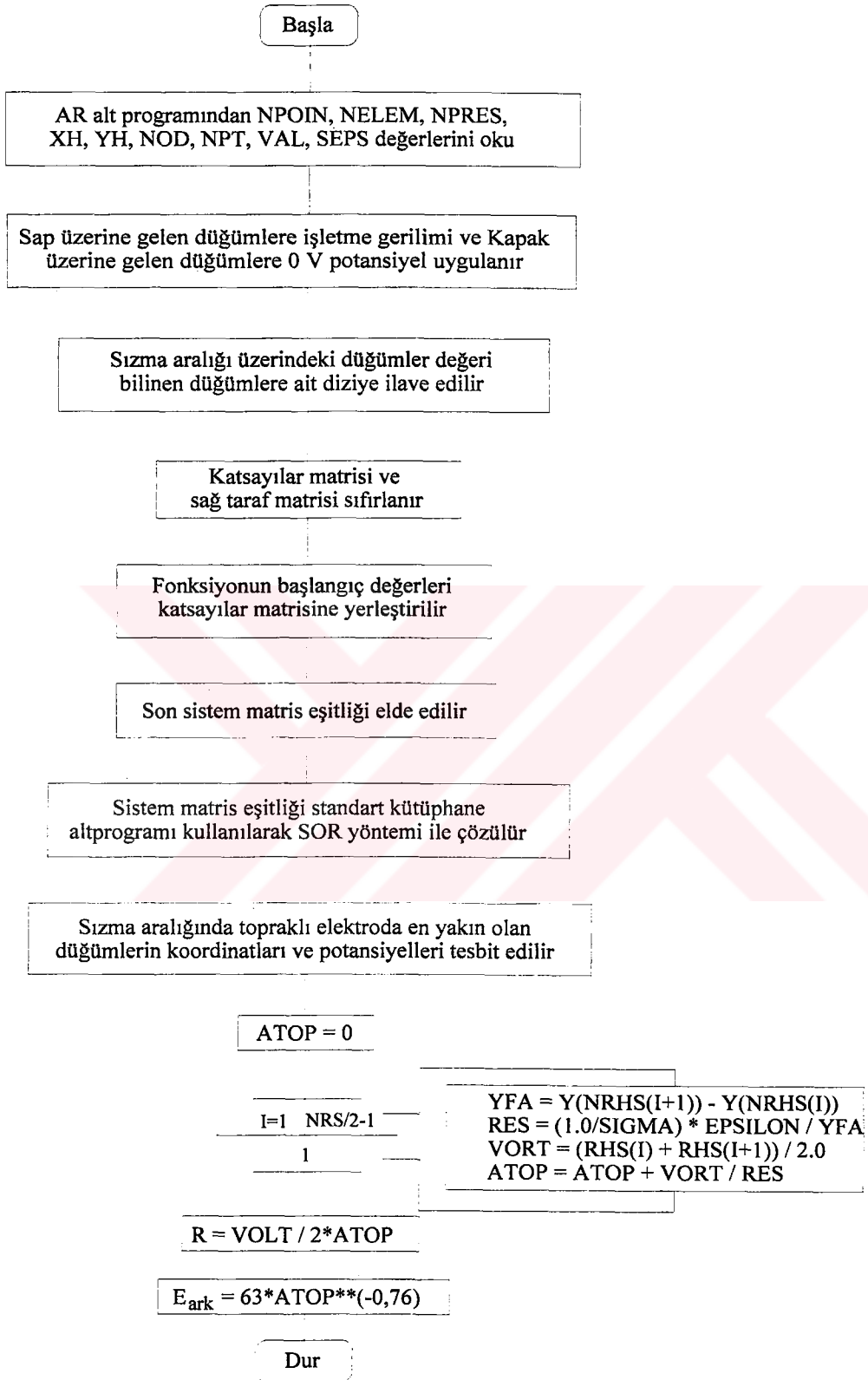
Sızma aralığı boyunca, sırasıyla her iki düğüm arasındaki ΔE alan şiddeti farkı kontrol edilir. Bu fark belirli bir değerden daha büyük ise, bu iki düğüm arasında ark meydana geldiği kabul edilir ve potansiyeli küçük olan düğümün gerilim değeri büyük olan gerilime eşitlenir. Arkın meydana geldiği düğüm numaraları ve potansiyel değeri, başlangıçta potansiyeli belli olan düğümlerin oluşturduğu diziye eklenir. Tekrar düğüm potansiyellerinin elde edildiği kısma dönülür ve potansiyel değeri artırılır. Düğümler arası alan şiddeti değeri tekrar kontrol edilerek ark oluşup oluşmadığı kontrol edilir. Eğer bütün düğümler arasında ark oluşursa izolatör yüzeyi boyunca atlama meydana gelmiş olur.



Şekil 4.4. ALPOR altprogramına ait akış diyagramı.

4.6. FEMSOR Altprogramı

Atlama denkleminin yazılabilmesi ve atlama gerilimlerinin hesaplanabilmesi için ark 'a seri kir direnci $R(x)$ değişimlerinin yeterli doğrulukta bilinmesi gerekir. $R(x)$ değişimlerinin hesaplanması için bir ana program ve bir de yardımcı program kullanılmıştır. FEMSOR alt programı, elde edilen AR modelini kullanarak tüm sızma aralığı için toplam direnç değerini hesap etmektedir. SEY ile elde edilen lineer denklem sistemi SOR (Successive Over Relaxation) yöntemiyle çözülmüştür.



Şekil 4.5. FEMSOR alt programına ait akış diyagramı.

$R(x)$ değişimlerinin hesaplanması için AR altprogramında elde edilen çözüm bölgesi (Açık Model) kullanılarak SEY ile elde edilen lineer denklem sistemi sayısal bir yöntemle (SOR) çözülmüştür. Programa ait akış diyagramı Şekil 4.5 'de gösterilmiştir.

Sızma aralığı üzerinde alınan son sonda ile topraklı elektrot arasında çok yakın aralıkta ($\approx 0,1$ cm) bölmeleme yapılmıştır. Model üzerindeki düğümlerin potansiyelleri ve bu düğümler ile topraklı elektrot arasında bulunan ve yüzey iletkenlik değeri bilinen kir tabakası parçalarından geçen akımlar bulunmuştur. Sap kısmına uygulanan gerilim, sızma aralığı üzerindeki noktalardan bu parçalardan topraklı elektroda geçen toplam akıma bölünmek suretiyle direnç değeri hesaplanmıştır.

Şekil 4.6 'deki akış diyagramından görüldüğü gibi, ilk olarak düğüm sayısı, eleman sayısı, fonksiyonun tanımlandığı düğümlerin sayısı, üç düğüm belirleyicisi, her düğümün koordinatları ve dielektrik sabitleri gibi değerler belirlenmektedir. Kapak üzerine gelen düğümlere 0 V ve sap üzerine gelen düğümlere işletme gerilimi uygulanır.

Çözüme 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 tespit edilerek direnç değeri hesaplanır ve yazdırılır.

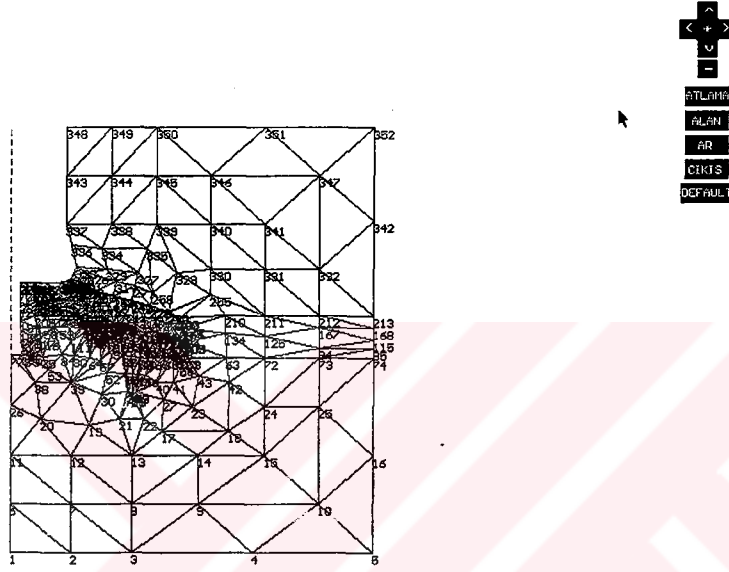
4.7. İzolatör Yüzeyinde Ark Yayılımının Program Yardımıyla İzlenmesi

Programla elde edilen sonuçları izlemek amacıyla C dilinde yazılmış bir çizim programı geliştirildi. Bu program ana programın hesaplama sonuçlarını kullanmaktadır. İzolatörün çözüm bölgesi, AR modeli, sızma aralığı boyunca alan şiddeti değişimi ve atlama olayının gelişimi izlenebilmektedir. Ana programdaki zamana bağlı olarak her adımda elde edilen alan şiddeti değeri peş peşe veya aynı anda ekrana getirilmektedir. Bölmelenmiş izolatör üzerindeki kritik noktaları daha iyi görebilmek için istenilen noktayı yakınlaştırma özelliği mevcuttur.

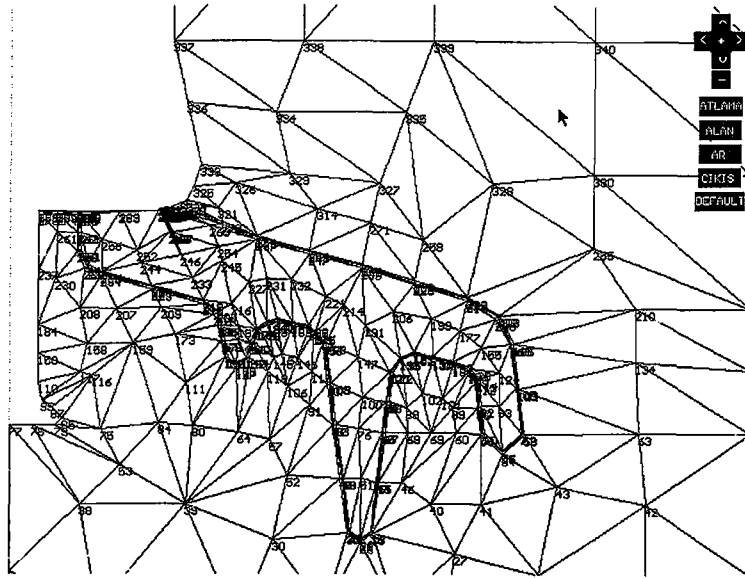
5. UYGULAMA

Bölüm 3.3.2 'de belirtilen, bu çalışmada gerçekleştirilen yeni modelin işlem adımları sırasına uygun olarak elde edilmiş olan sonuçlar aşağıda verilmiştir. Uygulama için çalışmaların büyük bir bölümünde BSFT-9336 tipi izolatör ele alınmıştır.

Adım 1: Ele alınan YG izolatörünün Sonlu Eleman bölmelemesi Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 'de gösterilmiştir.

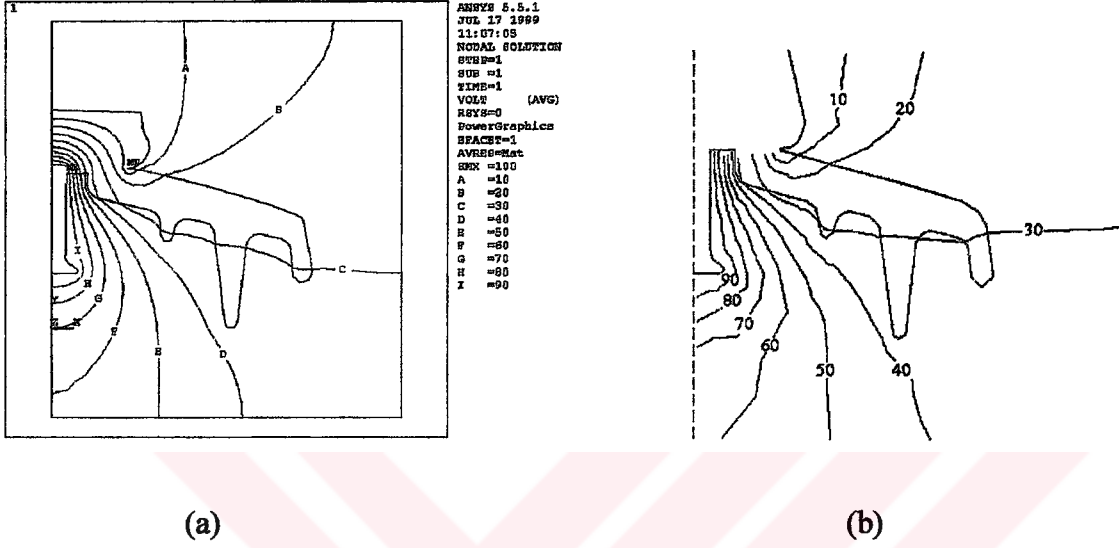


Şekil 5.1. İzolatöre ait Sonlu Eleman bölmelemesi.



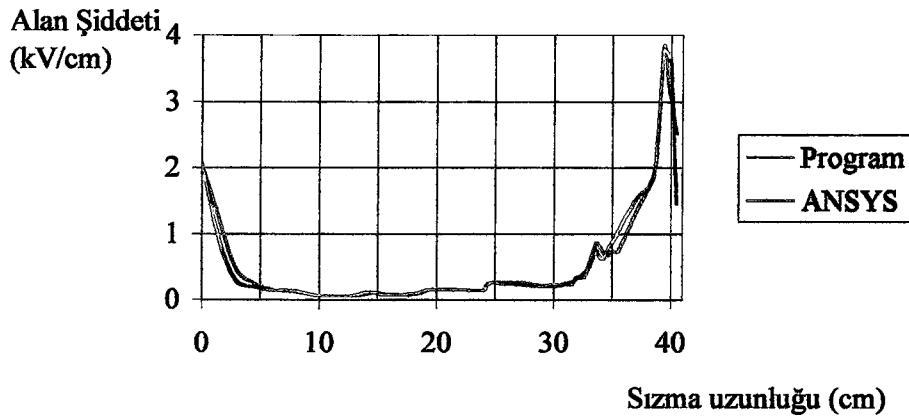
Şekil 5.2. Çözüm bölgesinin yakınlaştırılması.

Bu izolatörün Sonlu Elemanlar Yöntemine göre hesaplanan potansiyel dağılımı Şekil 5.3.a 'da verilmiştir. Şekil 5.3.b 'de ise ANSYS programıyla elde edilen potansiyel dağılımı gösterilmiştir. ANSYS; Sonlu Elemanlar Yöntemini kullanan, bir analiz ve tasarım paket programıdır.



Şekil 5.3. BSFT-9336 izolatörüne ait temiz durumdaki yüzeyde potansiyel dağılımı: a) ANSYS , b) program.

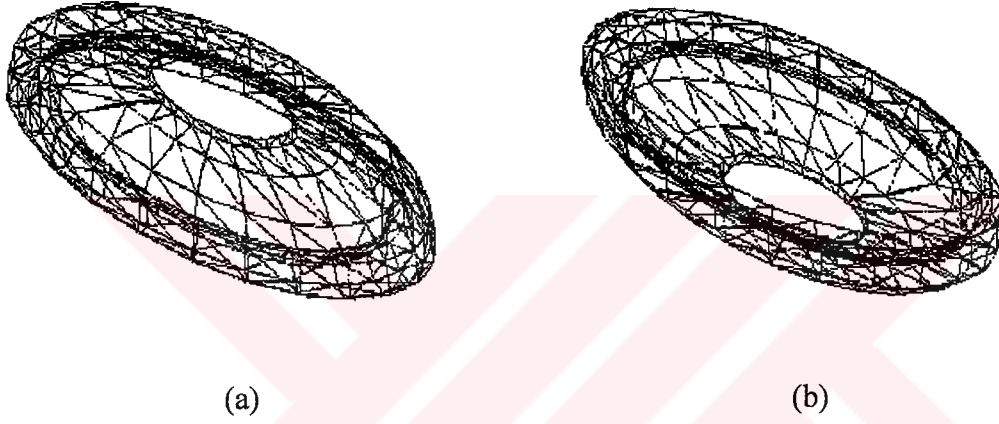
Adım 2: İzolatörün sızma aralığı boyunca alan şiddeti dağılımları Şekil 5.4 'de verilmiştir. Şekil üzerinde geliştirilen program ve ANSYS sonuçları birlikte gösterilmiştir.



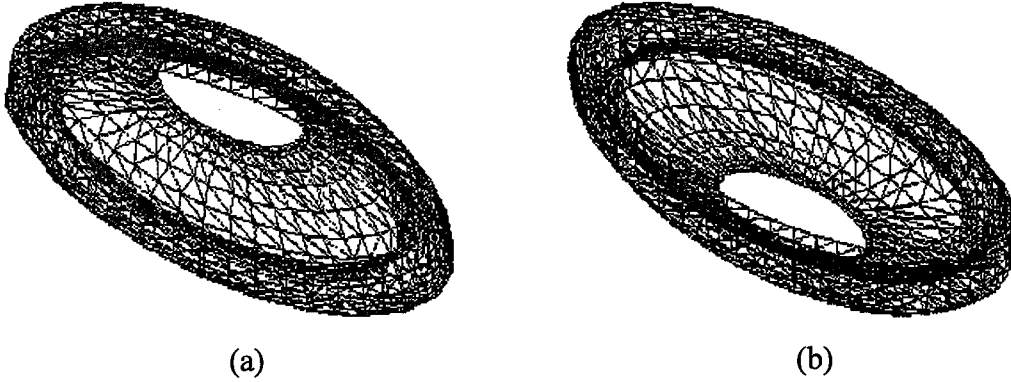
Şekil 5.4. Sızma aralığı boyunca alan şiddeti dağılımı.

Adım 3: Ark 'a seri kir direnci değerlerinin AR modeli üzerinden hesaplanabilmesi için önce iki boyutlu izolatör şeklinden üç boyutlu duruma geçilmelidir. Bunun için SERIT altprogramından yararlanılır. İki boyutta ölçekli çizilmiş bir izolatör kesitinden elde edilen üç boyutlu görünüş Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 'da gösterilmiştir.

Aşağıda, 15 'er derecelik şeritlerle bölmelemesi gerçekleştirilmiş olan izolatör görülmektedir ($M=1$). Şekil, alttan ve üstten görünüş olarak çizilmiştir. Şeklin karışık görünmesi nedeniyle, izolatörün alt kısımları çizdirilmemiştir.

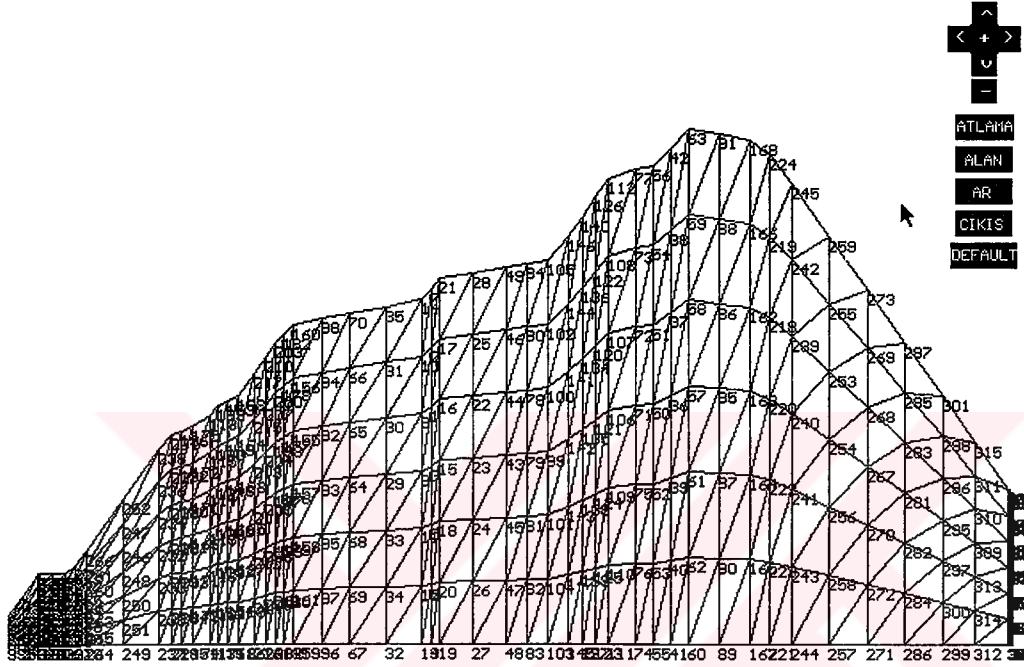


Şekil 5.5. $M=1$ için U40BL tipi zincir izolatörün yüzey bölmelemesi
(alt kısım hariç).(a) üstten görünüş, (b) alttan görünüş.



Şekil 5.6. $M=2$ için U40BL tipi zincir izolatörün yüzey bölmelemesi
(alt kısım hariç):(a) üstten görünüş, (b) alttan görünüş.

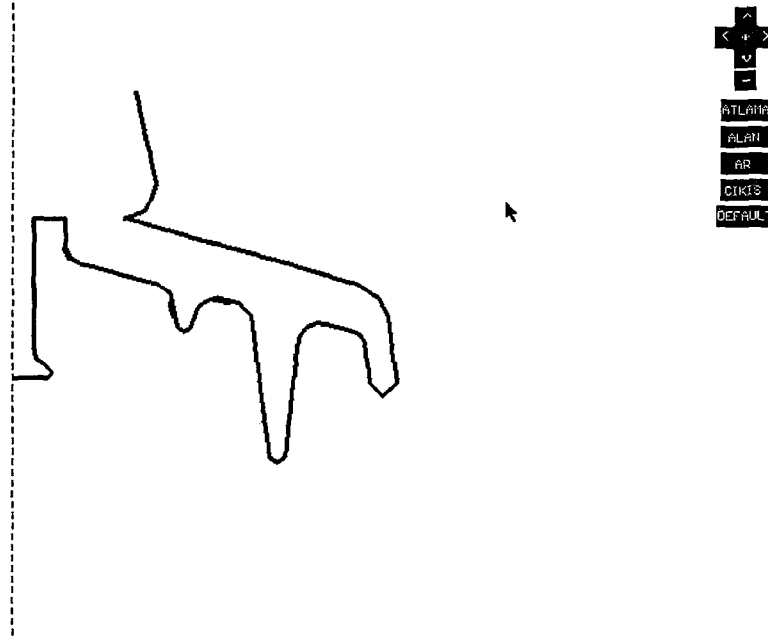
Üç boyutlu düzlemde elde edilen izolatörün yüzeyindeki kir tabakası sızma aralığı boyunca Bölüm 4.5 ‘de belirtildiği gibi açıldığında AR Modeli (Açık Model) ortaya çıkar. Bunu gerçekleştiren AR alt programının BSFT-9336 izolatörüne uygulanması sonucu elde edilen AR Modeli Şekil 5.7 ‘de verilmiştir.



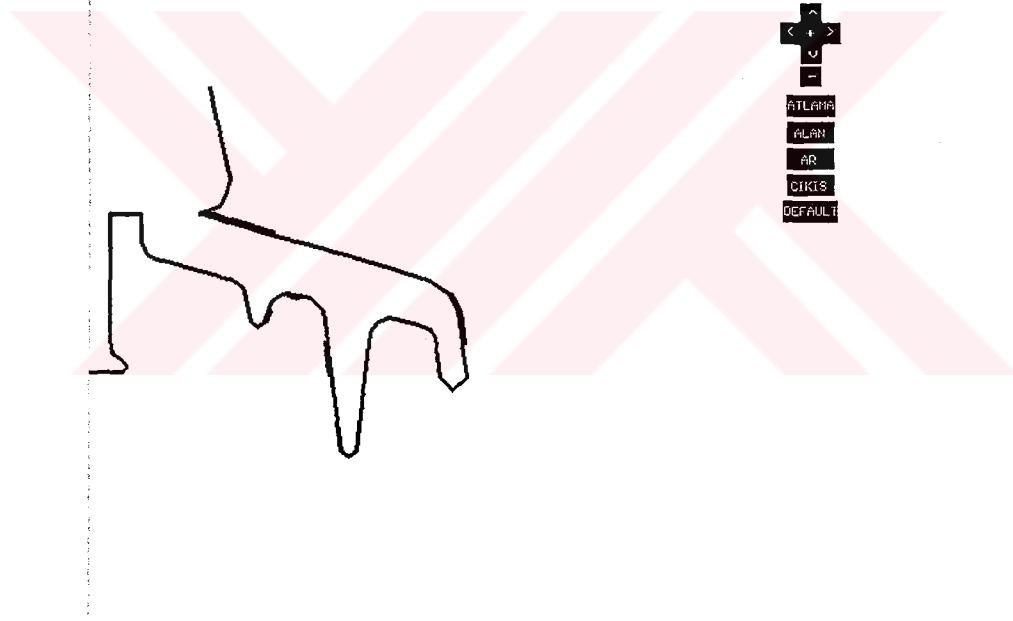
Şekil 5.7. BSFT-9336 izolatörüne ait AR Modeli.

Adım 4: Yüzey üzerindeki noktalarda $E > E_{ark}$ atlama kriterinin sağlanması sonucunda oluşan kısmi deşarjlar Şekil 5.8a ve Şekil 5.8b ‘deki gibi yayılırlar. Ark ‘ın yayılış yönü; kriterin sağlandığı noktadan itibaren bir önceki ve bir sonraki noktalardan alan şiddeti büyük olan noktaya doğrudur.

Aynı anda birden fazla noktada atlama kriteri gerçekleşebilir. Tüm noktalarda atlama kriterinin sağlanması ise, yayılarak yüzeyi kaplayan ve yüzeysel atlamanın oluşmasına neden olan, sonuç durumudur.



(a)



(b)

Şekil 5.8. Ark yayılışının programla izlenmesi: a) kısmi deşarjların başlaması b) kısmi deşarjların ilerlemesi.

Adım 5: Şekil 5.8 'de görüldüğü üzere, izolator yüzeyinde ark, öncelikle kapak ve sap civarında meydana gelmektedir. $\sigma = 5 \mu\text{S}$ ve $V = 10 \text{ kV}$ başlangıç değerleri olarak alınmaktadır.

Adım 6: Şekil 5.7 'de görüldüğü gibi, kuru bant oluşumunun dikkate alınabilmesi için AR Modeli; üç boyutlu izolatör şeklinden yararlanmak suretiyle, izolatör yüzeyi üzerinde elde edilen dairesel şeritlerin, düşey şeritler halinde iki boyuta göre yeniden düzenlenmesiyle oluşturulmuştur. Böylece, ark 'ın yayılımında izolatörün gerçek geometrisi göz önüne alınmak suretiyle ark 'a seri kir direnci hesaplanmıştır.

Adım 7: Kısmideşarjlar başladıktan sonra, herhangi bir anda, birden fazla noktadadeşarj oluşabilir veya oluşan budeşarjlar kesilebilir (Şekil 5.8). Her defasında Adım 2 'ye geri dönülerek gerilim ve/veya iletkenlik artışına bağlı olarak hesap adımları yeniden tekrarlanır ve meydana gelen yeni arklar tesbit edilir. Sonuçta tüm sızma aralığı boyunca bulunan bütün düğümler arasında atlama oluşuncaya kadar işlemler devam eder.

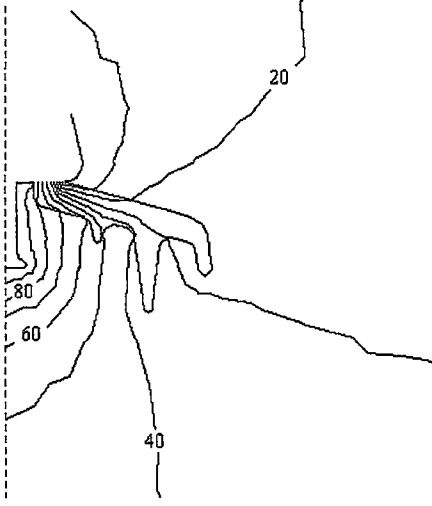
Uygulama için, araştırmacılar tarafından üzerinde deneysel ve teorik çalışmalar yapılmış olan BSFT-9336 tipi zincir izolatör elemanı kullanılmıştır. Kullanılan bu izolatörün bazı özellikleri Tablo 5.1 'de verilmiştir.

Tablo 5.1. BSFT-9336 izolatörü ile ilgili bilgiler.

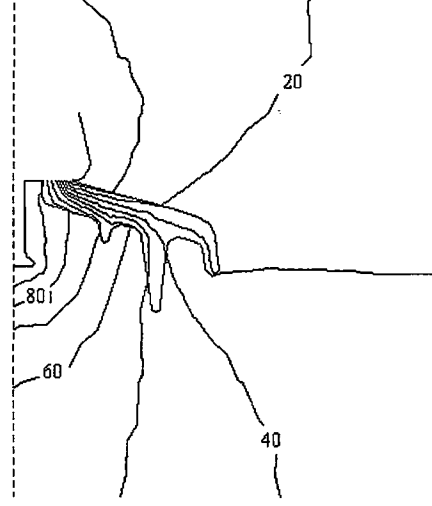
Toplam yükseklik -H- (cm)	Sızma aralığı -L- (cm)	Form faktörü -F-	Alan hesabı için SEY düğüm sayısı -NPO-	AR modeli SEY düğüm sayısı -NPOIN-	Sızma aralığı üzerindeki düğüm sayısı
126	40,5	1,09	352	392	56

Yukarıda hesaplama adımları verilen yöntem, BSFT-9336 tipi izolatöre uygulanmak suretiyle aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Potansiyel dağılımları, farklı iletkenlik değerleri için hesaplanmış ve % olarak eşpotansiyel eğriler çizdirilmiştir. $\sigma=2,5 \mu S$ ve $\sigma=5 \mu S$ değerinde iletkenliğe sahip kir tabakası durumları için potansiyel dağılımları sırasıyla Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 'da gösterilmiştir.

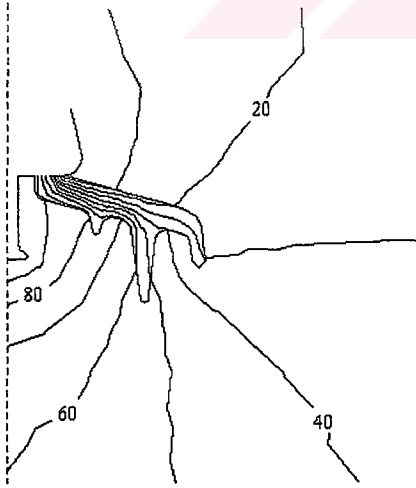


Şekil 5.9. $\sigma=2,5 \mu\text{S}$ için eşpotansiyel eğriler.

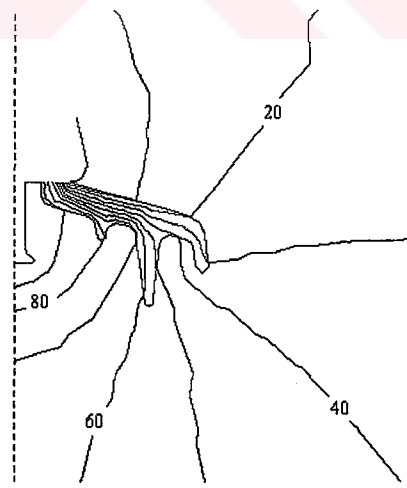


Şekil 5.10. $\sigma=5 \mu\text{S}$ için eşpotansiyel eğriler.

Kir tabakası iletkenliğin $10 \mu\text{S}$ ve $40 \mu\text{S}$ olması durumunda elde edilen potansiyel dağılımları ise Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 'de verilmiştir.

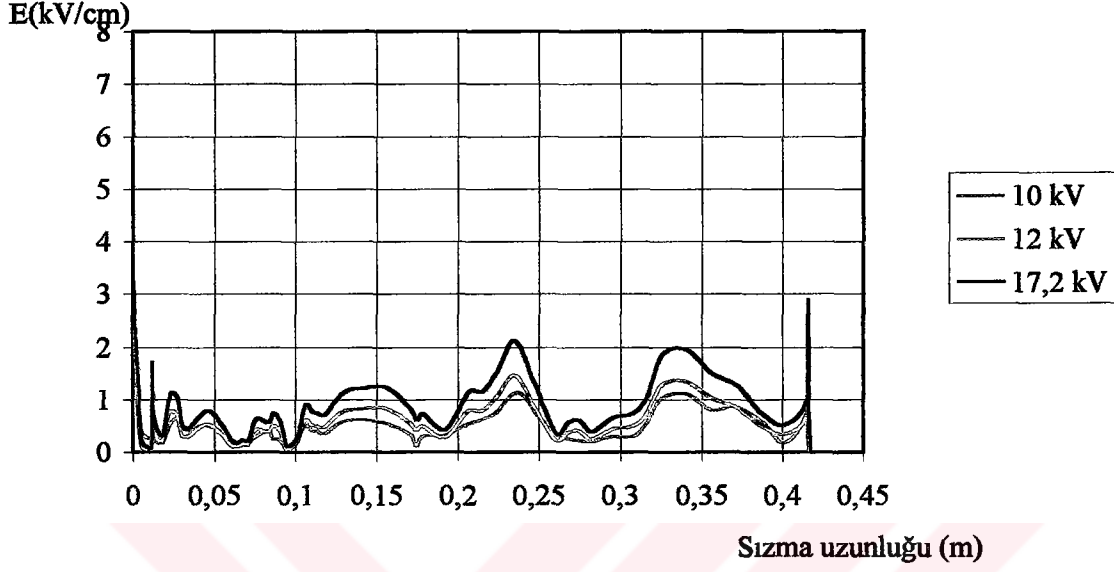


Şekil 5.11. $\sigma=10 \mu\text{S}$ için eşpotansiyel eğriler.

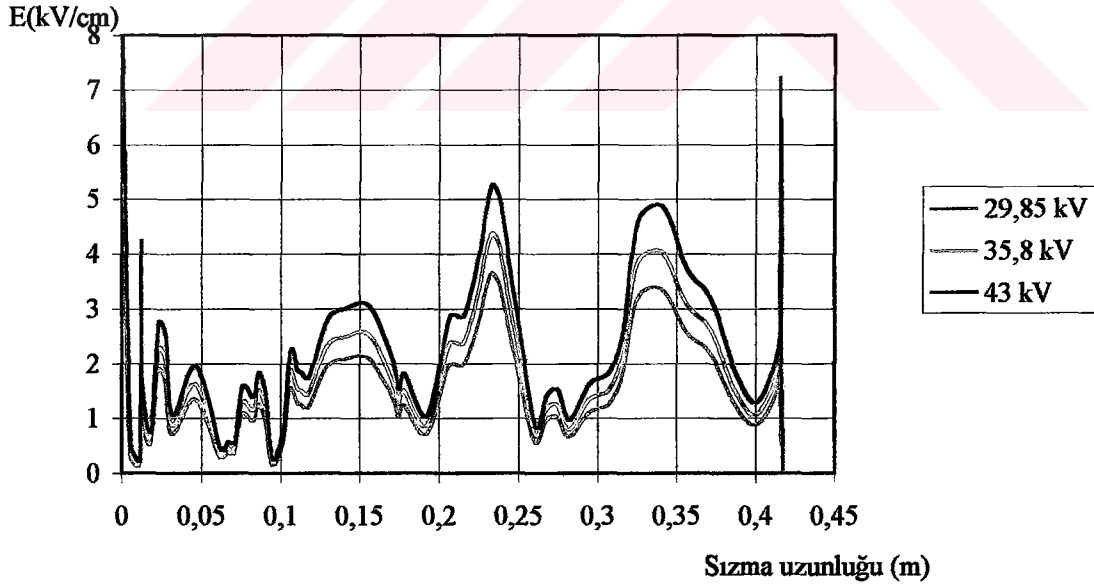


Şekil 5.12. $\sigma=40 \mu\text{S}$ için eşpotansiyel eğriler.

İletkenliğin sabit olması durumunda, gerilimin artışına bağlı olarak sızma aralığı üzerindeki noktaların alan şiddetleri de artacaktır. Bu durum Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'deki eğrilerden görülmektedir.

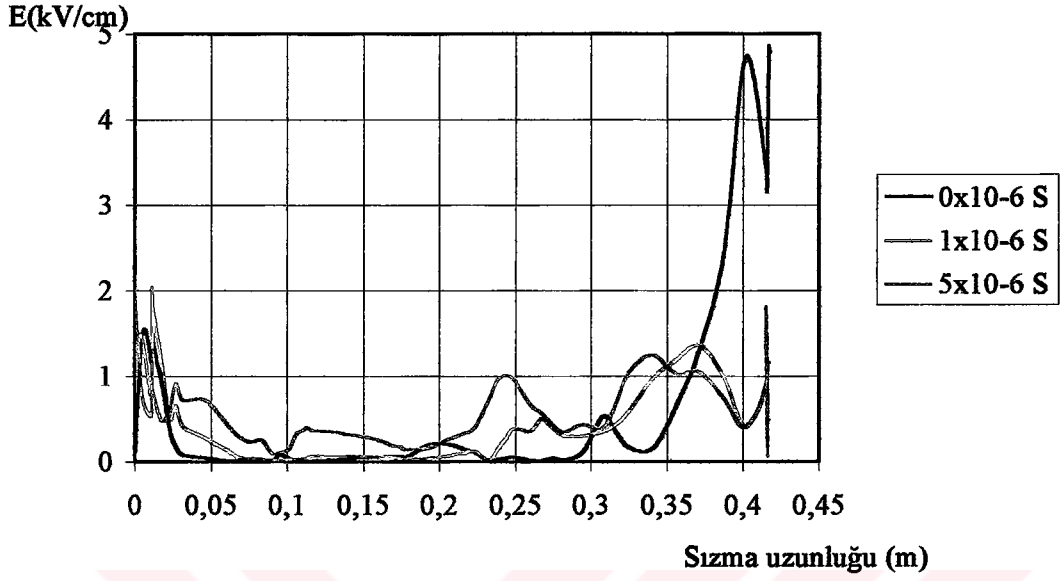


Şekil 5.13. $\sigma=15 \mu\text{S}$ iletkenliğinde, işletme gerilimin artışı durumunda (10-12-17,2 kV) elde edilen alan şiddeti değişimleri.

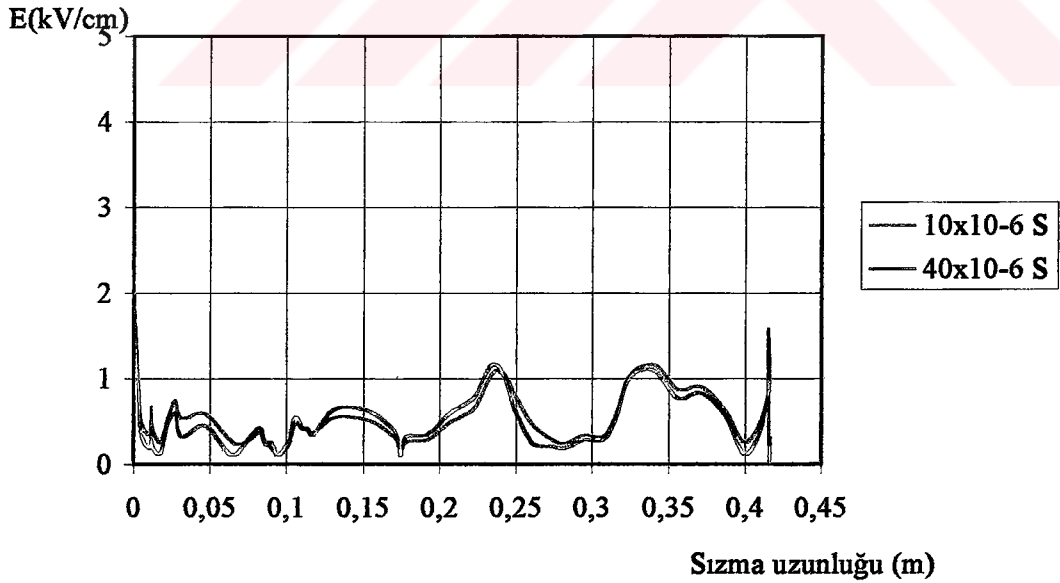


Şekil 5.14. $\sigma=15 \mu\text{S}$ iletkenliğinde, işletme gerilimin artışı durumunda (29,85-35,8-43 kV) elde edilen alan şiddeti değişimleri.

İşletme gerilimde, iletkenliğin artması durumunda elde edilen alan şiddeti değişimleri ise Şekil 5.15 ve Şekil 5.16 'da gösterilmiştir.

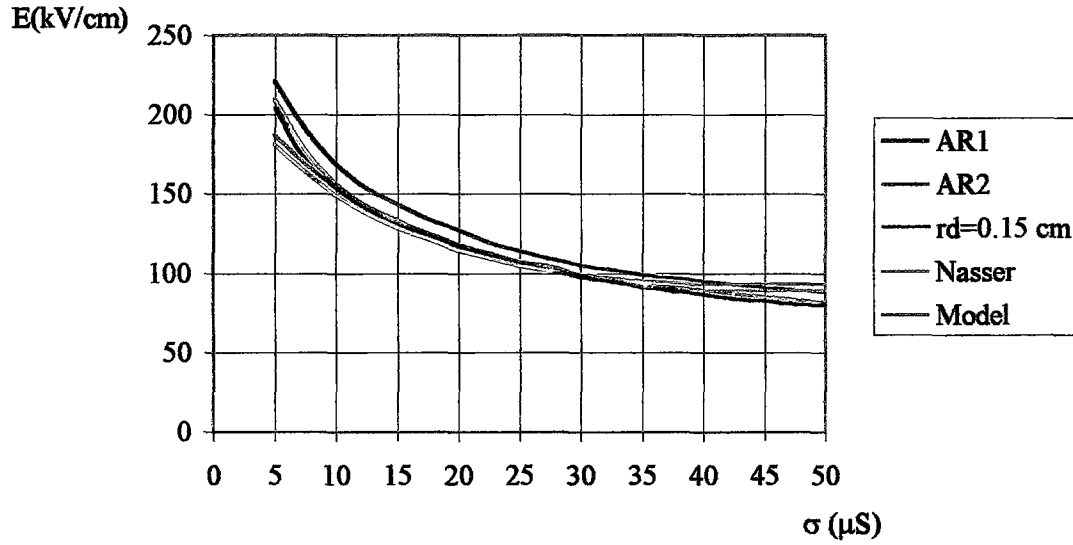


Şekil 5.15. İşletme geriliminde farklı iletkenlik değerleri için (0-5 μ S) alan şiddeti değişimleri.



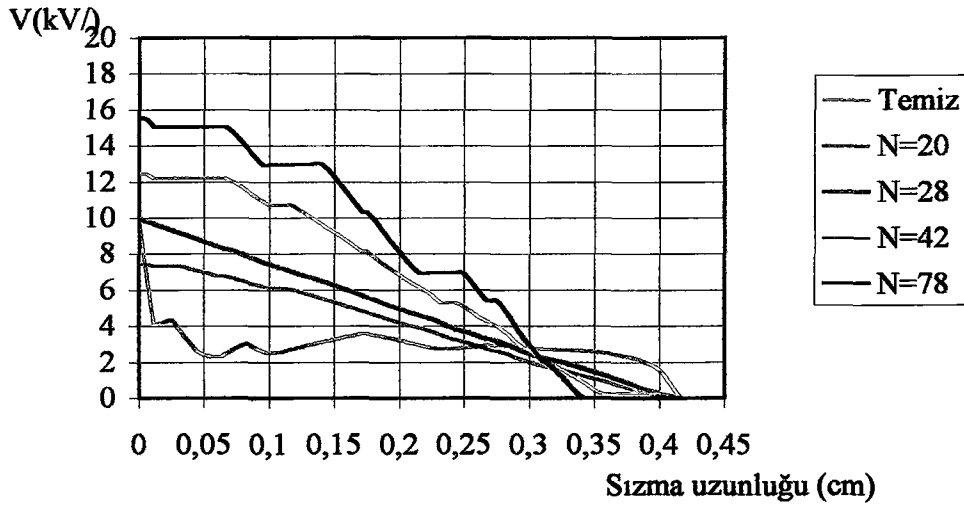
Şekil 5.16. İşletme geriliminde farklı iletkenlik değerleri için (10-40 μ S) alan şiddeti değişimleri.

9 üniteli zincir izolatör durumunda elde edilen atlama gerilimi değerleri Şekil 5.17 'de verilmiştir.



Şekil 5.17. Yeni modelin atlama gerilimi değerlerinin teorik ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.

Sızma aralığı üzerinde ark meydana gelmesi durumunda, bu noktalara ait potansiyel değerleri eşit olacaktır. Yüzey üzerindeki ayrı noktalarda oluşan N sayıdaki ön deşarjlar için elde edilen, sızma aralığı boyunca gerilim değişimleri Şekil 5.18 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Aynı anda farklı noktalarda ark oluşması durumuna ilişkin, sızma aralığı-potansiyel değişimleri.

Şekil 5.18 'de $N=28$ için çizilen eğri incelendiğinde izolatörün sızma aralığı üzerinde 6 ayrı kısımda atlama kriterinin gerçekleştiği görülür. Lagrange çarpanlarının uygulanması ile ortaya çıkan yeni denklem sisteminin çözümünden bu kısımlardaki düğümler ve ortak potansiyel değerleri Tablo 5.2 'deki gibi elde edilmiştir.

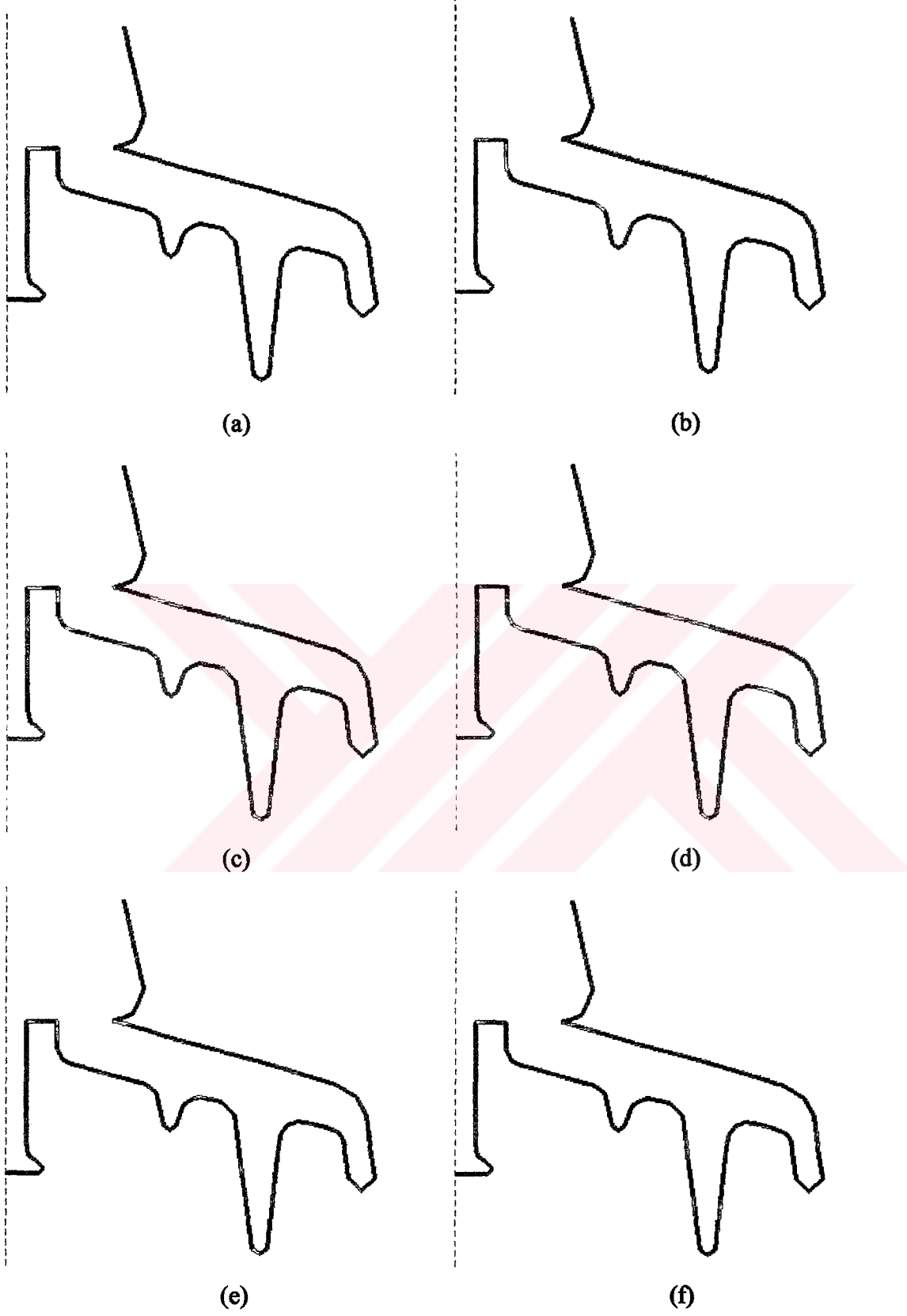
Tablo 5.2. Atlama kriterini sağlayan örnek noktalar.

Kısım	Atlama Kriterinin Sağlandığı Düğüm Sayısı	Düğüm Numaraları	Düğümlerin Potansiyeli (V)
1	2	284-285	10000
2	14	282-268-251-242- 236-225-218-205	9815
3	6	198-196-190-176	8770
4	2	36-31	6870
5	2	154-149	4900
6	2	257-269	207

Tek izolatör elemanı için, iletkenliğin artması durumunda, atlama gerilimindeki azalma Tablo 5.3 'den görülmektedir.

Tablo 5.3. Tek eleman için farklı σ değerlerinde hesaplanan atlama gerilimleri.

Kir tabakası iletkenliği (μS)	Atlama Gerilimi (kV)
5	29
10	22
20	16
30	12,5
40	11
50	11



Şekil 5.19. Farklı noktalarda ark oluşması ve ark 'ın ilerleyişine ilişkin benzetim programı sonuçları.

Şekil 5.19 'da ise, bilgisayar programı yardımıyla hesaplanarak çizilen ve izolatörün sap kısmından başlayıp, tüm yüzeyi kaplayıncaya kadar ark 'ın ilerleyişini gösteren durumlar için veriler Tablo 5.4 'de özetlenmiştir.

Tablo 5.4. $\sigma=15 \mu\text{S}$ için Şekil 5.19 'daki atlama aşamaları.

Durum	Gerilim (kV)	Deşarj oluşan düğüm sayısı (N)
(a)	7	8
(b)	9	14
(c)	15	28
(d)	21	48
(e)	27	80
(f)	29	104

6. SONUÇ

Endüstri ve sahil bölgelerindeki izolatörlerde oluşan kirlenme atlaması, yüksek gerilim enerji iletiminin önemli bir problemidir. İzolatörlerdeki çevresel kirlenmelerin meydana getirdiği kirlenme atlamalarını önlemeye yönelik olarak yapılan çalışmalarda, atlama olayının daha iyi anlaşılmasını sağlayan çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Yüksek Gerilim izolatörlerinde işletme süresince yüzeysel kirlenmelerden meydana gelen atlama olayını temsil etmek için, yeni bir dinamik model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu dinamik model, atlama olayını diğer modellere göre daha iyi temsil etmekte ve ark 'ın yayılışını, pratik duruma uygun olarak ortaya koymaktadır.

İlk olarak Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak, yüzeyi kir ile kaplı bir izolatörde potansiyel ve alan dağılımları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlere göre, izolatör yüzeyi üzerinde kısmi deşarj neden olabilecek noktalar, atlama kriterleri ile kontrol edilerek belirlenmiştir. Herhangi bir andaki işletme geriliminin değerine ve kir tabakasının iletkenliğine bağlı olarak izolatör yüzeyi üzerindeki bir noktada hesaplanan alan şiddeti E , efektif kir gradyanı E_{ark} değerinden büyük olursa atlama kriteri sağlanmış olur ve o noktada kısmi deşarj meydana gelir. Kısmi deşarjların zamana bağlı olarak yayılması, kirli izolatör yüzeyinden kaçak akımın artmasına ve olayın yüzeysel atlama ile sonuçlanmasına neden olur.

Ele alınan BSFT 9336 izolatörünün temiz olması durumunda, elde edilen sızma aralığı boyunca alan şiddeti değişimi, gerilimin %20, %100 ve %200 artışları için hesaplanmıştır. Temiz izolatör durumu için, geliştirilen program ve ANSYS sonuçları karşılaştırıldığında, potansiyel ve alan şiddeti dağılımları arasında oldukça iyi uyum olduğu görülmüştür.

Daha sonra alan şiddeti değişimleri, iletkenliğin artması ve ayrıca hem iletkenliğin ve hem de gerilimin aynı anda artması durumları için bulunmuştur. Gerilim ve iletkenlik değerlerinin artış şekli, kullanıcının isteğine bağlı olarak ve pratik durumları temsil etmek üzere lineer, eksponansiyel, logaritmik veya random seçilebilir. Bunun için programda gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

Birbirini izleyen ve atlama kriterini sağlayan iki düğüm arasında, hava yeterince iyonize olmuş ve yüzeyde ön deşarj meydana gelmiş demektir. Bu noktadan hareketle,

bu iki düğümün potansiyellerinin eşit olduğu düşünülür. Potansiyellerin eşitliği ve değeri, denklem sisteminin çözümünden ortaya çıkmaktadır. Bunu sağlamak için denklem sistemine zorlayıcı sınır şartlarının enjekte edilmesi gerekmektedir. Bunun bir yolu Lagrange çarpanlarının kullanılmasıdır. Geliştirilen bu yeni dinamik modelde, Lagrange çarpanlarının bu şekilde kullanımı, bir yeniliktir ve çalışmanın orijinal yönlerinden en önemlisidir.

Şekil 5.17 'deki karşılaştırmalar incelendiğinde, deneysel ve diğer teorik sonuçlarla, yeni dinamik model sonuçlarının iyi bir uyum sağladığı görülmektedir.

Bu tez çalışmasında ortaya konulan yeni dinamik model ve geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak, her tip izolatörün atlama performansı kolaylıkla incelenebilir.



KAYNAKLAR

- Al-Sayed, M.L., El-Refaie, F.M. and Awed, M.M., 1978, **Effect of Pollution on the Breakdown Voltage of Air**, Proc. IEEE, 25, 714.
- Amer, R.Y., 1995, **Performance of Suspension Insulators Under Flashover Conditions**, University of Cairo, Egypt.
- 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.
- Astorga, O.A.M. and Prado, A.J., 1994, **The Flashover Phenomenon: An Analysis with Influence of the Thickness of the Layer Pollution of the High Voltage Polluted Insulators**, IEEE Transactions on Electrical Insulation, 546-549.
- Bendapudi, S. Ram., 1988, **Flashover Voltage of Contaminated Insulators**, Conference Record of The 1988 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston.
- Casson, W. and Howard, P.R., 1964, **The Performance of Outdoor Insulation of the Transmission Systems in England and Wales during the Winter of 1962-1963**, CIGRE, 420.
- Cebeci, M., 1992, **Zincir İzolatörlerde Elektrik Alan Dağılımının İncelenmesi**, Doktora Tezi, Elazığ.
- Cebeci, M., Kürüm, H. ve Akpınar, S., 1998, **Lagrange Multipliers for the Intermediate Metallic Regions in the Computation of the Potential Distribution of Insulator Chains by FEM**, Electric Machines and Power Systems, Vol.26, No.5.
- Cherney, E.A. (Working Group), 1983, **The AC Clean Fog Test for Contaminated Insulators**, IEEE Trans. PAS, Vol. 102, No. 3, pp. 604-612.
- Cheng, T.C. and Wu, C.T., 1980, **HVDC Insulators under Contaminated Conditions**, IEEE Trans, EI, Vol. 15, No. 3, pp. 270-284.
- Clark, C.H.W., 1965, **Wet tests on HV Insulators**, Electrical Review, 754.
- Çanakçı, 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.
- Gellert, B.C. and Rasmussen, J.K., 1989, **Finite Element Modeling of Dry Zone Formation on Polluted Outdoor HV Insulators**, Sixth International Symposium on HV Engineering, No.24.07.
- Gençoğlu, M.T., 1997, **Yüksek Gerilim İzolatörlerinin Kirlenme Atlama Davranışlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi Yardımıyla Belirlenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- Ghosh, P.S. and Chatterjee, N., 1995, **Polluted Insulator Flashover Model for ac Voltage**, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.2, No.1.
- Gouda, E.O., 1990, **Influence of Pollution on High Voltage Insulators**, Conference Record of the 1990 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Toronto, Canada.
- Grönwald, H., 1983, **Computer-Aided Design of HV Insulators**, Fourth International Symposium on High Voltage Engineering, Athens-Greece.
- Guan, Z., Warren, L., Bagdahdi, A.A.J. and Goulsbra, D.R., 1989, **The Polarity Effect of Discharges on Polluted Insulators**, Sixth International Symposium on HV Engineering, No. 30.03.
- Habib, D. and Khalifa, M., 1986, **A New Monitor for Pollution on Power Line Insulator**, IEEE Proceedings, Vol.133, No.2.
- Hampton, B.F., 1964, **Flashover Mechanism of Polluted Insulation**, Proc. IEEE, 111, 985, 990.
- Hasegawa, Y., Naito, K., Arakawa, Schneider, H.M. and Zaffanella, L.F., 1987, **A Comparative Program on HVDC Contamination Tests**, IEEE PES Summer Meeting, Paper No. 87.
- Haznadar, Z., Sokolija, K., Sadovic, S., 1989, **Dynamic Model of Pollution Flashover**, Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans.

- Hirose, Y., Seta, T., Anjo, K., Ichihara, Y. and Okada, T., 1972, **Switching Surge Insulation Characteristics of Insulators under Polluted Conditions**, CIGRE, 33-02.
- Jacobsen, J.K., Pedersen, A., Holmgren, B. and Norback, K., 1972, **Experience and Investigations of Insulator Performance under the Influence of Salt Pollution**, CIGRE, 33-02.
- James, A.G., 1965, **Review of the Problem of Polluted Insulation**, IEE, 35, 140-146.
- Jolly, D.C., Cheng, T.C. and Otten, D.M., 1974, **Dynamic Theory of Discharge Growth over Contaminated Insulator Surfaces**, Conf. Paper No. 74-068-3, IEEE PES Winter Power Meeting.
- Kato, S., Kokai, H., Nakajima, Y. and Kouno, T., 1979, **Finite Element Method for the Calculation of Potential Distribution to the Porcelain Insulator with Semiconducting Surface Layer**, Third International Symposium on High Voltage Engineering, 12.11.
- Kimoto, I., Fujimura, T. and Naito, K., 1973, **Performance of Insulators for Direct Current Transmission Line under Polluted Condition**, IEEE, PAS 92, 943-949.
- Lambeth, P.J., Kuipers, J.B. and Jumah, A., 1975, **High Voltage Insulation for Bahrain and the Problem of Desert Pollution**, Seminar on Engineering and Development in the Gulf, Bahrain Society of Engineering.
- Lantz, A.D., 1956, **A review of the surface leakage problem**, 9th Annual Power Conference, Texas, USA.
- Last, F.H., Pegg, T.H., Sellers, N., Stalewski, A., Whittaker, E.G., 1966, **Live Washing of High Voltage Insulators in Polluted Areas**, Proc. IEEE, 487-860.
- Looms, J.S.T., 1988, **Insulators for High Voltages**, Peregrinus, P., 276, London.
- Matsuoka, R., Ito, S., Sakanishi, K. and Naito, K., 1991, **Flashover on Contaminated Insulators with Different Diameters**, IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol.26, No.6.
- Magriche, N.D. Beroual, A. and Krahenbühl, L., 1996, **A New Proposal Model for Flashover of Polluted Insulators**, IOP Publishing Ltd., 889-894.

- Nasser, E., 1963, **Behaviour of Insulators with an unevenly Distributed Pollution Layer**, E.T.Z.A., 84, 353.
- Nasser, E., 1972, **Contamination Flashover of Contaminated Insulators**, Electrotech., Z.A., 93, 321-325.
- Neumarker, G., 1959, **Verschmutzungs Zustand und Kriechveg**, Monatsber. D. Deut. Akad. Wiss., Berlin, Vol.1, 352-359.
- Pigini, A., Perin, D., Zagliani, F., Ramamoorthy, M., Lakshminarasimha C.S. and Rammohan, V.B., 1988, **Performance of Insulators for EHVDC Systems under Polluted Conditions**, CIGRE, No. 33-11.
- Rashwan, M.M. and McDermid, W., 1989, **D.c. Wall Bushings on the Nelson River HVDC System**, IEEE Canadian Review, pp. 12-14.
- Rizk, F.A.M., 1981, **Mathematical Models for Pollution Flashover**, Electra, Vol. 78, pp. 71-103.
- Rizk, F.A.M. and Assaad, 1972, **Flashover Tests on Dust-Contaminated Insulators**, IEEE Trans. PAS, Vol. 91, No.1, pp. 328-334.
- Rizk, F.A.M., El-Sarky, A.A., Assad, A.A. and Awad, M.M., 1972, **Comparative Tests on Contaminated Insulators with Reference to Desert Conditions**, CIGRE, 33-03.
- Rizk, F.A.M. and Rezzazada, A.Q., 1997, **Modeling of Altitude Effects on AC Flashover of Polluted High Voltage Insulators**, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.12, No.2.
- Rodriguez, A., Wang, F. and Cheng, T.C., 1989, **Time-Depended Stochastic Modeling of Surface Flashovers on Contaminated Insulators**, Sixth International Symposium on HV Engineering, No.12.04.
- Rumeli, A., 1967, **The Flashover Mechanism of Polluted Insulation**, Ph.D. Thesis, The University of Strathclyde, Glasgow.
- Rumeli, A., 1971, **İzolatör Dizayn Ve Koordinasyonu Ve Bazı İzolatörlerin Kirli Şartlar Altındaki Davranışlarının Mukayesesi**, Elektrik Müh., 178:35-39.
- Rumeli, A., 1972, **Kir Altında İzolatör Testleri**, Elektrik Mühendisliği, 185:99
- Rumeli, A., 1972, **Control of Flashover of Polluted Insulators**, METU Journal of Pure and Applied Sciences, Vol.5, No.2, 331-345.

- Rumeli, A., 1972, **Factors Affecting the Growth of Discharges on Polluted Insulators**, METU Journal of Pure and Applied Sciences, Vol.5, No.2, 319-329.
- Rumeli, A., 1973, **Yüksek Gerilim İzolatörlerinin Kirlenme Atlama Gerilimlerinin Hesaplanması**, TÜBİTAK Bilimsel Araştırma Grubu, Proj.No.294.
- Rumeli, A., Koraşlı, C., 1975, **Kirlenmiş İzolatörlerin Atlama Davranışlarının Analitik İncelenmesi için Geliştirilen Model Kavramı**, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Yayın Organı, 179-185.
- Rumeli, A., 1978, **Characteristics of High Voltage Insulators for Different Polluted Conditions and Voltage Levels**, Pan-Arab Seminar on Pollution problems of High Voltage Insulators, Cairo.
- Rumeli, A., 1979, **Homojen Kirle Kaplı Yüksek Gerilim İzolatörlerinin Dayanım Gerilimlerinin Hesaplanması**. Profesörlük Tezi, 53 Sayfa, Odtü, Ankara.
- Rumeli, A., Hızal, M., Demir, Y., 1981, **Analytical Estimation of Flashover Performances of Polluted Insulators**, Ispisid, Madras.
- Schneider H.M. and Lux, A.E., 1989, **Mechanism of HVDC Wall Bushing Flashover in Nonuniform Rain**, IEEE PES Winter Power Meeting.
- Seta, T., Nagai, K., Naito, K. and Hasegawa, Y., 1981, **Studies on Performance of Contaminated Insulators Energized with DC Voltage**, IEEE Trans. PAS, Vol. 100, No.2, pp. 518-526.
- 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., 1991, **Dynamic Modeling of Flashover on Dielectric Surfaces**, Proceedings of the 3rd International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Tokyo, Japan.
- 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

- Sundararajan, R., Gorur, R. S., 1994, **Effect of Insulator Profiles on dc Flashover under Polluted Conditions Dc Voltage**, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.28 No.2
- Sundararajan, R., Sathureddy, N.R. and Gorur, R. S., 1995, **Computer-aided Design of Porcelain Insulators under Polluted Conditions**, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.9, No.1.
- Swift, D.A., 1989, **Flashover of Polluted Insulators: Electric Field in the Arc**, Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans.
- Ulusoy, H., 1993, **Yüksek Gerilim Elektrik Malzemeleri Ve Testleri**.
- Wilkins, R., 1969, **Flashover Voltage of High Voltage Insulators with Uniform Surface-Pollution Films**, IEEE, Vol.116, No.3.
- Zaffanella, L.E., Schneider, H.M. and Dunlop, J.H., 1986, **Performance of Contaminated Insulators for HVDC Lines**, CIGRE, No. 33-05.
- Zhicheng, G. and Renyu, Z., 1990, **Calculation of dc and ac Flashover Voltage of Polluted Insulators**, IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol.25, No.4.

EK: BİLGİSAYAR PROGRAM LİSTESİ

C ANA PROGRAM

```

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
INTEGER LDA,NPOIN,NADIM,NODE1,NPREC,NELEM,N
COMMON /G/ AN(6)
COMMON /BUJKS/ NCO(6)
COMMON /KSG/ XX(6),YY(6),ZZ(6)
COMMON /GPIMND/ X(4000),Y(4000),Z(4000)
COMMON /KEDO/ BX(4000),BY(4000),BZ(4000)
COMMON /JPD/ NKE(1000)
COMMON /PM/ NSTOR(4000)
COMMON /CMN/ ICON(4000,8)
COMMON /GPI/ NODE(4000)
COMMON /M/ NEW(4000),IOLD(4000),NODOLD(4000),NS(4000)
COMMON /N/ NV(4000),NT(4000)
COMMON /S/ IKENAR(4000)
COMMON /D/ MZ(4000)
COMMON /KS/ MBOL(4000),MKOL(4000)
COMMON /NDBO/ NODZ(4000,3)
COMMON /UPID/ NPT(1000),VALA(1000)
COMMON /PDO/ NPTZ(1000),VALZ(1000),NKEZ(1000)
COMMON /ND/ XNODE(4000),YNODE(4000),ZNODE(4000),NENN(4000,3)
1,NR(4000,2),NC(4000)
COMMON /EO/ BXS(1500),BYS(1500),NXYS(1500),NENS(1510,3)
COMMON /A/ SRTX(1200),SRTY(1200),SRTZ(1200),XH(4000),YH(4000)
1,SZMA(100),SZTOP(100),PIDL(100),AA(1100)
DIMENSION XXX(3),YYY(3),A(1680,3),B(1680,3),C(1680,3),NPTT(100)
1,DELTA(1680)

COMMON /SRT1/ SXX(6),SYY(6),SZZ(6)
COMMON /SRT2/ SBX(4000),SBY(4000),SBZ(4000)
COMMON /SRT3/ SRO(1000,6),SCX(2500),SCY(2500),SCZ(2500)
COMMON /SRT4/ SAX(2500),SAY(2500),SAZ(2500),NPOR(200)

COMMON CK,DEGER,EPS,IAB,IAC,INC,IMF,IMM,ITT,JAD,JMF,JMM,JSIDE
1,KKI,KOL,KONT,LAB,LAC,LDA,LKI,LIMIT,M,MCINS,MDO,MDON,NBANT
2,NDI,NE,NELES,NENB,NKENS,NKI,NKKI,NL,NNCO,NNKI,NNSPO,NOKU,NPOIN
3,NPOS,NPRES,NPRESC,NSALT,N1,N11,N1T,N4T,N88,SMA,YALT,YKOT,YTOP
4,YUST,NT3,X88,Y88,MSON,T,KW,MAX,FARK,IER,OMEGA,NPREC,NPRS,NPO

DIMENSION MPR(100),XPR(100),YPR(100),NSUR(1680,15)
DIMENSION NOD(864,3),VALT(200),VAL(200)
COMPLEX*16 ABDV(1000,1000),AB(1000,1000)
COMPLEX*16 SEPS(652),SEPS1(652)
COMPLEX*16 STE(1680,3,3),RHS(1000)
REAL*4 ZZ

CALL SERIT
WRITE(*,*) 'SERITTEN DONDU'
CALL MESH
WRITE(*,*) 'MESH DEN DONDU'
CALL AR

OPEN(1,FILE='b2.DAT',FORM='FORMATTED')
OPEN(2,FILE='b2S.DAT',FORM='FORMATTED')
OPEN(3,FILE='b2por.DAT',FORM='FORMATTED')

```

C
C.....TOP.DÜĞÜM SAYISI, TOP.ELEMAN SAYISI VE FONKSİYONUN
C..... TANIMLANDIĞI DÜĞÜMLERİN TOP.SAYISI OKUNUR.

```

10 READ(1,10) NPO,NELEM,NPRES
FORMAT(3I7)
WRITE(*,*)
WRITE(*,*) 'NPO.NEL.NPRES. ',NPO,NELEM,NPRES
12 READ(1,12) NNKI,YKOT,NNSPO,NBANT,LDA
FORMAT(I7,F10.4,3I7)

```

```

C..... BÜTÜN DÜĞÜMLER İÇİN X VE Y KOORDİNATLARI OKUNUR.
      READ(1,30) (X(K),Y(K),K=1,NPO)
30    FORMAT(5(2F12.4))
C..... BÜTÜN ELEMANLAR İÇİN J=1,2 VE 3 ÜÇ DÜĞÜM BELİRLEYİCİSİNE
C      TEKABÜL EDEN ÜÇ DÜĞÜM OKUNUR.
      READ(1,20) ((NOD(K,J),J=1,3),K=1,NELEM)
20    FORMAT(6(3I7))
C      WRITE(*,*)((NOD(K,J),J=1,3),K=1,NELEM)
C..... FONKSİYONUN TANIMLANDIĞI DÜĞÜMLER VE DEĞERLERİ OKUNUR.
      READ(1,40) (NPTT(I),VALT(I),I=1,NPRES)
40    FORMAT(6(I7,F10.2))
C..... DEĞİŞİK DİELEKTRİKLİ ELEMANLARIN SAYISI, DİELEKTRİK SABİTLERİ
C..... VE ELEMAN NO.LARI OKUNUR.
      READ(1,45) (SEPS1(I),I=1,NELEM)
45    FORMAT(6(2F10.4))
C
C..... MALZEMENİN SINIRLARI ÜZERİNDEKİ DÜĞÜMLER OKUNUR.
      READ(2,43) NKENS,JAD,NSALT
43    FORMAT(3I7)
      READ(2,42) (NKE(I),I=1,NKENS)
42    FORMAT(14(I8))

      CLOSE(1)
      CLOSE(2)
C
      DO 48 I=1,100
      MPR(I)=0
      XPR(I)=0.0
      YPR(I)=0.0
48    CONTINUE

      K=1
51    READ(3,512) MPR(K),XPR(K),YPR(K)
      IF (MPR(K).EQ.0.AND.XPR(K).EQ.0.AND.YPR(K).EQ.0) GOTO 52
      K=K+1
      GOTO 51
52    NPR=K-1
512  FORMAT(I12,2(F16.6))
      CLOSE(3)

      NPRILK=0
      DO 656 I=1,NPRES
      VALT(I)=(VALT(I)/0.60)
      NPT(I)=NPTT(I)
      VAL(I)=VALT(I)
      IF(VAL(I).NE.555.0)GOTO 656
      VAL(I)=0.0
656  CONTINUE
      VOLT=VAL(1)

      DO 657 I=1,NPRES
      IF(VAL(I).EQ.0.0)GOTO 657
      NPRILK=NPRILK+1
657  CONTINUE
C
      DO 658 I=1,200
      NPTT(I)=0
658  CONTINUE

C ***** SIGMA *****
CC    Lineer
C      NSGM=1
CC    Exponansiyel
C      NSGM=2
CC    Logaritmik
C      NSGM=3
C*****

```

```

NPREC=1
NPR100=NPRILK
NADIM=0
TZ=10.0
DT=1.0D-01
EPS0=8.85D-12
SIGMA=15.0D-06
PI=22.0/7.0
FREK=50.0
OMEGA=2.0*PI*FREK
NGER=1
NSIG=0

C
DO 504 I=1,NPO
X(I)=X(I)*1.0D-03
Y(I)=Y(I)*1.0D-03
504 CONTINUE

C
C.....NSUR(P,Q) DİZİSİ VE Q=2,3 VS. KOLONLARINDAKİ ÇEVRE-
C.....LEYEN ELEMANLARIN BELİRLEYİCİ NUMARALARI TAYİN EDİLİR.
DO 646 I=1,NELEM
DO 648 J=1,15
NSUR(I,J)=0
648 CONTINUE
646 CONTINUE
DO 170 I=1,NPO
170 NSUR(I,1)=0
DO 190 I=1,NELEM
DO 180 J=1,3
LK=NOD(I,J)
NSUR(LK,1)=NSUR(LK,1)+1
LL=NSUR(LK,1)+1
180 NSUR(LK,LL)=I
190 CONTINUE

C.....1,2 VE 3 DÜĞÜM BELİRLEYİCİLERİNE BAĞLI OLAN K MATRİS ELEMANI
C.....BÜTÜN ELEMANLAR İÇİN ELDE EDİLİR VE HAFİZADA DEPOLANIR.
DO 270 I=1,NELEM
DO 200 J=1,3
LK=NOD(I,J)
XX(J)=X(LK)
200 YY(J)=Y(LK)
DO 240 J=1,3
LK=J+1
LL=J+2
IF(LK-3)230,220,210
210 LK=1
LL=2
GO TO 230
220 LL=1
230 A(I,J)=XX(LK)*YY(LL)-XX(LL)*YY(LK)
B(I,J)=YY(LK)-YY(LL)
240 C(I,J)=XX(LL)-XX(LK)
DELTA(I)=(C(I,3)*B(I,2)-C(I,2)*B(I,3))/2.0
DELTA(I)=DABS(DELTA(I))
DO 260 IR=1,3
DO 250 IC=1,3
STE1=(B(I,IR)*B(I,IC)+C(I,IR)*C(I,IC))/(4.0*DELTA(I))
STE(I,IR,IC)=CMPLX(STE1,0.0)
250 CONTINUE
260 CONTINUE
270 CONTINUE

SLTOP=SZTOP(NPR)
VA=200
VC=700
SLARC=SLTOP/100

```

```

ASBT=63
ANSBT=0.7
RILK=1.0D05
XLILK=SLARC
EARK=50000

```

```
2000 CONTINUE
```

```

C ***** SIGMA DEGİSİMİ *****
C     IF(NSGM.EQ.1) THEN
C       SIGMA=SIGMA*5
C     END IF
C     IF(NSGM.EQ.2) THEN
C       SIGMA=1-CEXP(SIGMA)
C     END IF
C     IF(NSGM.EQ.3) THEN
C       SIGMA=SIGMA*5
C     END IF
C *****

```

```

FORM=0
C ***** FORM FAKTORU *****
C     DO 324 I=1,KW
C       FORM=FORM+(SZMA(I)/PIDL(I))
324 CONTINUE
C *****

```

```

MM=NPO+NPRES/2
IF (NATLA.EQ.1)MM=NPO+NPRES/2
IF (NPRES.EQ.0)MM=NPO

DO 502 I=1,NELEM
AA1=DREAL(SEPS1(I))*EPS0*OMEGA
BB1=DIMAG(SEPS1(I))*SIGMA
SEPS(I)=CMPLX(BB1,AA1)
502 CONTINUE

```

```

C.....KATSAYI MATRİSİ VE SAĞ TARAF MATRİSİ SIFIRLANIR.
C     DO 290 I=1,1000
C       RHS(I)=(0.0,0.0)
290 CONTINUE
C     DO 296 I=1,1000
C       DO 297 J=1,1000
C         ABDV(I,J)=(0.0,0.0)
C         AB(I,J)=(0.0,0.0)
297 CONTINUE
296 CONTINUE
NBAN=NBANT

```

```

C.....FONKSİYONUN TANIMLANAN (BAŞLANGIÇ) DEĞERLERİ KATSAYILAR
C.....MATRİSİNE YERLEŞTİRİLİR.
C     DO 370 NODE1=1,NPO
C       DO 310 I=1,NPRES
C         IF(NODE1-NPT(I)) 310,300,310
300 ABDV(NODE1,NODE1)=(1.0,1.0)
C         RHS(NODE1)=CMPLX(VAL(I),VAL(I))
C         GO TO 370
310 CONTINUE

```

```

C.....SON SİSTEM MATRİS EŞİTLİĞİ ELDE EDİLİR.
C     IE=NSUR(NODE1,1)
C     IEL=IE+1
C     DO 360 ITEL=2,IEL
C       LEL=NSUR(NODE1,ITEL)
C       DO 320 I=1,3
C         IR=I
C         IF(NOD(LEL,I)-NODE1) 320,340,320
320 CONTINUE
C       WRITE(3,330)

```

```

330  FORMAT(//,1X,'ELEMEN DÜĞÜMLERİNİ NUMARALAMADA HATA VAR!')
      GO TO 500
340  DO 350 IC=1,3
      ICO=NOD(LEL,IC)
      ABDV(NODE1,ICO)=ABDV(NODE1,ICO)+SEPS(LEL)*STE(LEL,IR,IC)
350  CONTINUE
360  CONTINUE
370  CONTINUE

```

C

```

      IF(NPREC.EQ.1) GOTO 120
      DO 110 K=2,NPREC,2
      KL=NPTT(K)
      KM=NPO+K/2
      ABDV(KL,KM)=(1.0,1.0)
      ABDV(KM,KL)=(1.0,1.0)
      NP=NPTT(K-1)
      ABDV(NP,KM)=(-1.0,-1.0)
      ABDV(KM,NP)=(-1.0,-1.0)
110  CONTINUE
120  CONTINUE

      OPEN(8,FILE='ABDVKARE.DAT',FORM='FORMATTED')
      WRITE(8,402)MM
      WRITE(8,403)((I,J,ABDV(I,J),J=1,MM),I=1,MM)
402  FORMAT(I5)
403  FORMAT(5(2I4,2F18.15))
      CLOSE(8)

```

C..... STANDART KÜTÜPHANE SUBROUTINE KULLANILARAK SİSTEM MATRİS
C..... EŞİTLİĞİ ÇÖZÜLÜR.

```

      LDA=MM
      N=MM

      CALL ALPOR(AB,NPO,LDA,N,RHS,SIGMA,X,Y,B,C,SZTOP
1,NSUR,NOD,DELTA,NELEM,NPREC,NATLA,NPTT,NPR,MPR,TZ,DT
2,XLILK,SLARC,SLTOP,ASBT,ANSBT,VA,VC,RILK,VOLT,EARK,SZMA)
C
      IF(NGER.EQ.0) GOTO 169
      DO 165 I=1,NPR100
      VAL(I)=VAL(I)+VAL(I)*.5
165  CONTINUE
169  CONTINUE
      VOLT=VAL(1)
C      TZ=TZ+DT
      NADIM=NADIM+1
      IF(NSIG.EQ.0) GOTO 119
      WRITE(*,*)'SIGMA=',NADIM,SIGMA
      SIGMA=5*SIGMA
119  CONTINUE
C      IF(NADIM.LT.10) GOTO 5000

      GOTO 2000

500  STOP
      END

```

C***** ALPOR *****

```

      SUBROUTINE ALPOR(AB,NPO,LDA,N,RHS,SIGMA,X,Y,B,C,SZTOP
1,NSUR,NOD,DELTA,NELEM,NPREC,NATLA,NPTT,NPR,MPR,TZ,DT
2,XLILK,SLARC,SLTOP,ASBT,ANSBT,VA,VC,RILK,VOLT,EARK,SZMA)
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      INTEGER LDA,IPVT(1000),NPREC,N,NPR,NELEM,NODE1,NATLA

      DIMENSION MPR(100)
      DIMENSION B(1680,3),C(1680,3),NSUR(1680,15),DELTA(1680)

```

```

DIMENSION NOD(864,3),NPTT(200)
DIMENSION X(1000),Y(1000),SZTOP(100),POT(200),SZMA(100)

COMPLEX*16 AB(N,N),Z1(1000)
COMPLEX*16 RHS(N)
COMPLEX*16 ED(652),EE(652),SUM1,SUM2
COMPLEX*16 DELTAE

OPEN(8,FILE='ABDVKARE.DAT',FORM='FORMATTED')
READ(8,402)N
READ(8,403)((K,L,AB(I,J),J=1,N),I=1,N)
402 FORMAT(I5)
403 FORMAT(5(2I4,2F18.15))
CLOSE(8)

297 CONTINUE

DO 290 I=1,1000
  IPVT(I)=0
  Z1(I)=(0.0,0.0)
290 CONTINUE

CALL ALPO(AB,LDA,N,RHS,IPVT,Z1)

DO 404 I=1,NPO
  RRS=CDABS(RHS(I))
404 CONTINUE

C .....ELEKTRİK ALAN ŞİDDETİNİN HESABI

DO 21 I=1,NELEM
21 EE(I)=0.0
DO 22 I=1,NPO
22 ED(I)=0.0

DO 2010 I=1,NELEM
  SUM1=0.0
  SUM2=0.0
DO 2020 J=1,3
  LM=NOD(I,J)
  SUM1=B(I,J)*DREAL(RHS(LM))+SUM1
2020 SUM2=C(I,J)*DIMAG(RHS(LM))+SUM2
  EX=SUM1/(2.0*DELTA(I))
  EY=SUM2/(2.0*DELTA(I))
  EE(I)=CMPLX(EX,EY)
2010 CONTINUE
DO 2050 NODE1=1,NPO
  IE=NSUR(NODE1,1)
  IEL=IE+1
DO 2052 ITEL=2,IEL
  LEL=NSUR(NODE1,ITEL)
  ED(NODE1)=ED(NODE1)+EE(LEL)
2052 CONTINUE
  ED(NODE1)=ED(NODE1)/IE
2050 CONTINUE

C
C ALAN SİDDETLERİ KV/CM YE CEVRİLİR
DO 5 I=1,NPO
  ED(I)=ED(I)*1.0E-03/1.0E+02
5 CONTINUE

DO 311 I=1,NPR
  POT(I)=CDABS(RHS(MPR(I)))
  S=I/20
  IF((S*20).EQ.I) PAUSE
311 CONTINUE
513 FORMAT(I6,3(F17.6))

```

C***** ATLAMA KRİTERİ *****

NPRES=0
NATLA=0
XARKTOP=0.0

NSAYAC=0

DO 333 I=1,NPR
IF (CDABS (ED (MPR (I))) .GT. EARK) THEN

NPRES=NPRES+1
NPTT (NPRES)=MPR (I)
NATLA=1
NSAYAC=NSAYAC+1
XARKTOP=XARKTOP+SZMA (I-1)
S=I/10
IF ((S*10) .EQ. I) PAUSE

END IF

333 CONTINUE

CALL FEMSOR (NPR, POT, SIGMA, VOLT, XARKTOP, EARK)

GOTO 2060

2060 RETURN

END

C *****

SUBROUTINE ALPO (AB, LDA, N, RHS, IPVT, Z1)

INTEGER LDA, IPVT (N), N, JOB
COMPLEX*16 RHS (N)
COMPLEX*16 AB (N, N)
COMPLEX*16 Z1 (N)
DOUBLE PRECISION RCOND

CALL ZGECO (AB, LDA, N, IPVT, RCOND, Z1)

C WRITE (*, *) 'ZGECO DAN GELDİ'

JOB=0

CALL ZGESL (AB, LDA, N, IPVT, RHS, JOB)

C WRITE (*, *) 'ZGESL DEN GELDİ'

RETURN

END

C***** FEMSOR *****

SUBROUTINE FEMSOR (NPR, POT, SIGMA, VOLT, XARKTOP, EARK)

IMPLICIT REAL*8 (A-H, O-Z)

COMMON /A/ SRTX (1200), SRTY (1200), SRTZ (1200), XH (4000), YH (4000)
1, SZMA (100), SZTOP (100), PIDL (100), AA (1100)
COMMON /NDBO/ NODZ (4000, 3)

DIMENSION XXX (3), YYY (3), AFS (1680, 3), BFS (1680, 3), CFS (1680, 3)
1, DELTAFS (1680), NSURFS (1680, 15), STEFS (1680, 3, 3)
2, RHSFS (392), RHS1 (392), ST2 (392, 392), NRHS (100), R (100)
3, NPTFS (1000), VALFS (1000), POT (NPR), NPOR (200), SEPSFS (4000)

COMMON CK, DEGER, EPS, IAB, IAC, INC, IMF, IMM, ITT, JAD, JMF, JMM, JSIDE
1, KKI, KOL, KONT, LAB, LAC, LDA, LKI, LIMIT, M, MCINS, MDO, MDON, NBANT
2, NDI, NE, NELES, NENB, NKENS, NKI, NKKI, NL, NNCO, NNKI, NNSPO, NOKU, NPOIN
3, NPOS, NPRES, NPRES, NSALT, N1, N11, N1T, N4T, N88, SMA, YALT, YKOT, YTOP
4, YUST, NT3, X88, Y88, MSON, T, KW, MAX, FARK, IER, OMEGA, NPRES, NPRS, NPO

```

OMEGA=1.915

OPEN(3,FILE='R4ZZZ.DAT',FORM='FORMATTED')

OPEN(1,FILE='SZM.DAT',FORM='FORMATTED')

DO 311 I=1,NPR
  READ(1,*)NPOR(I)
311 CONTINUE
  CLOSE(1)

DO 45 I=1,NE
  SEPSFS(I)=1.0
45 CONTINUE

ITER=2
ITR=1
NPRECFS=0

C***** SAP ÜZERİNE GELEN DÜĞÜMLERE *****
C ***** 100 V POTANSİYEL UYGULANIR *****
  DO 5000 I=1,NPOIN
    IF (XH(I).EQ.SZTOP(1)) THEN
      NPRECFS=NPRECFS+1
      NPTFS(NPRECFS)=I
      VALFS(NPRECFS)=VOLT
    END IF
5000 CONTINUE

C***** KAPAK ÜZERİNE GELEN DÜĞÜMLERE *****
C ***** 0 V POTANSİYEL UYGULANIR *****
  NPRESFS=NPRECFS
  DO 5050 I=1,NPOIN
    IF (XH(I).EQ.SZTOP(KW)) THEN
      NPRESFS=NPRESFS+1
      NPTFS(NPRESFS)=I
      VALFS(NPRESFS)=0
    END IF
5050 CONTINUE

C***** SIZMA ARALIGI UZERINDEKI *****
C ***** DUGUMLER ILAVE EDILIR *****

  NRR=NPRESFS

  DO 44 I=2,KW-1
    NRR=NRR+1
    NPTFS(NRR)=NPOR(I)
    VALFS(NRR)=POT(I)
44 CONTINUE

  DO 144 I=2,KW-2
    IF(POT(I).EQ.POT(I+1))THEN
      DO 145 J=1,NPOIN
        IF(XH(NPOR(I)).EQ.XH(J).OR.XH(NPOR(I+1)).EQ.XH(J)) THEN
          NRR=NRR+1
          NPTFS(NRR)=J
          VALFS(NRR)=POT(I)
        END IF
      145 CONTINUE
    END IF
  144 CONTINUE

  DO 502 I=1,NE
    SEPSFS(I)=SEPSFS(I)*SIGMA

```

502 CONTINUE

C.....Q=1 KOLONUNDAKİ P DÜĞÜMÜNÜ ÇEVRELEYEN ELEMANLARIN TOP.SAYISINI
C.....İHTİVA EDEN NSURFS(P,Q) DİZİSİ VE Q=2,3 VS. KOLONLARINDAKİ ÇEVRE-
C.....LEYEN ELEMANLARIN BELİRLEYİCİ NUMARALARI TAYİN EDİLİR.
C

C.....ST2 MATRİSİ SIFIRLANIR.....

DO 5001 I=1,NPOIN
DO 5002 J=1,NPOIN
ST2(I,J)=0.0

5002 CONTINUE

5001 CONTINUE

C

DO 646 I=1,NE
DO 648 J=1,15
NSURFS(I,J)=0

648 CONTINUE

646 CONTINUE

DO 170 I=1,NPOIN

170 NSURFS(I,1)=0

DO 190 I=1,NE

DO 180 J=1,3

LK=NODZ(I,J)

NSURFS(LK,1)=NSURFS(LK,1)+1

LL=NSURFS(LK,1)+1

180 NSURFS(LK,LL)=I

190 CONTINUE

C.....1,2 VE 3 DÜĞÜM BELİRLEYİCİLERİNE BAĞLI OLAN K MATRİS ELEMANI

C.....BÜTÜN ELEMANLAR İÇİN ELDE EDİLİR VE HAFİZADA DEPOLANIR.

DO 270 I=1,NE

DO 200 J=1,3

LK=NODZ(I,J)

XXX(J)=XH(LK)

200 YYY(J)=YH(LK)

DO 240 J=1,3

LK=J+1

LL=J+2

IF(LK-3)230,220,210

210 LK=1

LL=2

GO TO 230

220 LL=1

230 AFS(I,J)=XXX(LK)*YYY(LL)-XXX(LL)*YYY(LK)

BFS(I,J)=YYY(LK)-YYY(LL)

240 CFS(I,J)=XXX(LL)-XXX(LK)

DELTAIFS(I)=(CFS(I,3)*BFS(I,2)-CFS(I,2)*BFS(I,3))/2.0

DO 260 IR=1,3

DO 250 IC=1,3

STEFIS(I,IR,IC)=(BFS(I,IR)*BFS(I,IC)+CFS(I,IR)*CFS(I,IC))

1/(4.0*DELTAIFS(I))

250 CONTINUE

260 CONTINUE

270 CONTINUE

C.....KATSAYI MATRİSİ VE SAĞ TARAF MATRİSİ SIFIRLANIR.

DO 290 I=1,NPOIN

RHSFS(I)=0.0

RHS1(I)=0.0

290 CONTINUE

C.....FONKSİYONUN TANIMLANAN (BAŞLANGIÇ) DEĞERLERİ KATSAYILAR

C.....MATRİSİNE YERLEŞTİRİLİR.

DO 370 NODE=1,NPOIN

DO 310 I=1,NRR

IF(NODE-NPTFS(I)) 310,300,310

300 ST2(NODE,NODE)=1.0

RHSFS(NODE)=VALFS(I)

```

      GO TO 370
310 CONTINUE
C
C
C.....SON SISTEM MATRIS ESITLIGI ELDE EDILIR.
      IE=NSURFS(NODE,1)
      IEL=IE+1
      DO 360 ITEL=2, IEL
      LEL=NSURFS(NODE, ITEL)
      DO 320 I=1,3
      IR=I
      IF(NODZ(LEL, I)-NODE) 320,340,320
320 CONTINUE
      WRITE(3,330)
330 FORMAT(//,1X,'ELEMEN DUGUMLERINI NUMARALAMADA HATA VAR!')
      GO TO 500
340 DO 350 IC=1,3
      ICO=NODZ(LEL, IC)
      ST2(NODE, ICO)=ST2(NODE, ICO)+DREAL(SEPSFS(LEL))*STEFS(LEL, IR, IC)
350 CONTINUE
360 CONTINUE
370 CONTINUE

```

```

C
C..... STANDART KUTUPHANE SUBROUTINE I KULLANILARAK SISTEM MATRIS
C..... ESITLIGI COZULUR.
C

```

```

      max=500
C
      CALL SOR(RHS1, RHSFS, NPTFS, NPRECFS, ST2)
      IER=IER+1
      DO 807 II=2, NPRECFS
      RHS1(NPTFS(II))=RHS1(NPTFS(1))
807 CONTINUE

      K=1
      DO 801 I=1, NPOIN
      ZY=ABS(XH(I)-SZTOP(KW-1))
      IF (ZY-0.0001) 802,802,801
802 NRHS(K)=I
      RHSFS(K)=RHS1(I)
      K=K+1
801 CONTINUE
      DO 921 I=1, NPOIN
      ZX=ABS(XH(I)-SZTOP(KW))
      IF (ZX-0.0001) 922,922,921
922 NRHS(K)=I
      RHSFS(K)=RHS1(I)
      K=K+1
921 CONTINUE
      NRS=K-1

      ATOP=0
      DO 805 I=1, (NRS/2)-1
      YFA=ABS(YH(NRHS(I+1))-YH(NRHS(I)))
      EPSILON=XH(NRHS(I+(NRS/2)))-XH(NRHS(I))
      WRITE(*,*) 'NRHS... ', I, NRHS(I+1), NRHS(I), YFA, EPSILON
      PAUSE
C*****
C      RES=(1.0/SIGMA)*EPSILON/YFA
      HKALIN=1.0E-04
      RES=1.0/(SIGMA*YFA*HKALIN)
      WRITE(*,*) 'RESSS=', RES
      ATOP=ATOP+VORT/RES
      PAUSE
805 CONTINUE
C*****
      R(ITR)=VOLT*1.0E-03/(2.0*ATOP)

```

```

EARK=ATOP*R(ITR)/(SZTOP(NPR)-XARKTOP)
EARK=EARK*1.0E-02
PAUSE

```

```

500 WRITE(3,409) (I,R(I),I=1,ITR)
409  FORMAT(I6,F9.2)
      CLOSE(3)
      RX=R(1)
      RETURN
      END

```

C***** SERIT *****

```

SUBROUTINE SERIT

```

```

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

```

```

COMMON /SRT1/ SXX(6),SYY(6),SZZ(6)
COMMON /SRT2/ SBX(4000),SBY(4000),SBZ(4000)
COMMON /SRT3/ SRO(1000,6),SCX(2500),SCY(2500),SCZ(2500)
COMMON /SRT4/ SAX(2500),SAY(2500),SAZ(2500),NPOR(200)

```

```

COMMON CK,DEGER,EPS,IAB,IAC,INC,IMF,IMM,ITT,JAD,JMF,JMM,JSIDE
1,KKI,KOL,KONT,LAB,LAC,LDA,LKI,LIMIT,M,MCINS,MDO,MDON,NBANT
2,NDI,NE,NELES,NENB,NKENS,NKI,NKKI,NL,NNCO,NNKI,NNSPO,NOKU,NPOIN
3,NPOS,NPRES,NPRESC,NSALT,N1,N11,N1T,N4T,N88,SMA,YALT,YKOT,YTOP
4,YUST,NT3,X88,Y88,MSON,T,KW,MAX,FARK,IER,OMEGA,NPREC,NPRS,NPO

```

```

OPEN(1,FILE='b2por.DAT',FORM='FORMATTED')
OPEN(3,FILE='IZOL.DAT',FORM='FORMATTED')

```

```

T=60

```

```

R=T*3.1415/180
RT=(T+T)*3.1415/180
TT=T
K=1

```

```

51 READ(1,*) NPOR(K),SAY(K),SAZ(K)
   SAX(K)=0.0

```

```

IF (SAX(K).EQ.0.0.AND.SAY(K).EQ.0.0.AND.SAZ(K).EQ.0.0) THEN
  LL=K-1
  GOTO 52
END IF
K=K+1
GOTO 51

```

```

52 WRITE(*,*) '>>>>>>...LL...',LL

```

```

NPRS=LL
DO 7007 I=1,LL
  RO1=SQRT(SAX(I)**2+SAY(I)**2)
  SCX(I)=RO1*SIN(R)
  SCY(I)=RO1*COS(R)
  SCZ(I)=SAZ(I)

```

```

7007 CONTINUE

```

```

LL=LL-1
K=1

```

```

DO 7008 I=1,LL
  SBX(K)=SAX(I)
  SBX(K+1)=SAX(I+1)
  SBX(K+2)=SCX(I)
  SBY(K)=SAY(I)
  SBY(K+1)=SAY(I+1)
  SBY(K+2)=SCY(I)
  SBZ(K)=SAZ(I)
  SBZ(K+1)=SAZ(I+1)

```

```

      SBZ (K+2)=SCZ (I)
      K=K+6
7008 CONTINUE

      DO 7009 I=1,LL
      SBX (K)=SCX (I)
      SBX (K+1)=SAX (I+1)
      SBX (K+2)=SCX (I+1)
      SBY (K)=SCY (I)
      SBY (K+1)=SAY (I+1)
      SBY (K+2)=SCY (I+1)
      SBZ (K)=SCZ (I)
      SBZ (K+1)=SAZ (I+1)
      SBZ (K+2)=SCZ (I+1)
      K=K+6
7009 CONTINUE

      NES=2*LL
      NP=K-6
      K=1

      DO 7010 I=1,NES
      DO 7011 J=1,6
      SRO (I,J)=SQRT (SBX (K)**2+SBY (K)**2)
      K=K+1
7011 CONTINUE
7010 CONTINUE

      D=1
1103 DO 7012 I=1,NES
      DO 7013 J=1,6
      IF (I.GT.(NES/2))GOTO 32
      SBX (K)=SRO (I,J)*SIN (R)
      SBY (K)=SRO (I,J)*COS (R)
      SBZ (K)=SBZ (D)

      IF (J.EQ.3) THEN
      SBX (K)=SRO (I,J)*SIN (RT)
      SBY (K)=SRO (I,J)*COS (RT)
      END IF
      GOTO 34
32 SBX (K)=SRO (I,J)*SIN (R)
      SBY (K)=SRO (I,J)*COS (R)
      SBZ (K)=SBZ (D)
      IF (J.EQ.1.OR.J.EQ.3) THEN
      SBX (K)=SRO (I,J)*SIN (RT)
      SBY (K)=SRO (I,J)*COS (RT)
      END IF
34 K=K+1
      D=D+1
7013 CONTINUE
7012 CONTINUE

      D=1
      TT=TT+T
      IF (TT.EQ.360)GOTO 21
      R=TT*3.1415/180
      RT=(TT+T)*3.1415/180
      GOTO 1103
21 NES=(K-1)/6
      M22=1

      WRITE (3,*)3,0.0,0
      WRITE (3,*)0,6.0,0,31.0,0,20.0

      DO 7014 I=1,NES
      DO 7015 J=1,6
      SAX (J)=INT (SBX (M22)*10)/10

```

7014 CONTINUE

```
  Nsfr=0
  DO 7018 I=1,3
    WRITE(3,*)Nsfr,Nsfr,Nsfr
```

7018 CONTINUE

```
  CLOSE(1,STATUS='KEEP')
  CLOSE(3)
```

```
  RETURN
  END
```

C***** AR *****

SUBROUTINE AR

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

```
COMMON /KEDO/ BX(4000),BY(4000),BZ(4000)
COMMON /ND/ XNODE(4000),YNODE(4000),ZNODE(4000),NENN(4000,3)
1,NR(4000,2),NC(4000)
COMMON /A/ SRTX(1200),SRTY(1200),SRTZ(1200),XH(4000),YH(4000)
1,SZMA(100),SZTOP(100),PIDL(100),AA(1100)
COMMON /NDBO/ NODZ(4000,3)
```

```
COMMON /SRT4/ SAX(2500),SAY(2500),SAZ(2500),NPOR(200)
```

```
COMMON CK,DEGER,EPS,IAB,IAC,INC,IMF,IMM,ITT,JAD,JMF,JMM,JSIDE
1,KKI,KOL,KONT,LAB,LAC,LDA,LKI,LIMIT,M,MCINS,MDO,MDON,NBANT
2,NDI,NE,NELES,NENB,NKENS,NKI,NKKI,NL,NNCO,NNKI,NNSPO,NOKU,NPOIN
3,NPOS,NPRES,NPRESC,NSALT,N1,N11,N1T,N4T,N88,SMA,YALT,YKOT,YTOP
4,YUST,NT3,X88,Y88,MSON,T,KW,MAX,FARK,IER,OMEGA,NPREC,NPRS,NPO
```

C SERIT DIZISININ OLUSTURULMASI

```
OPEN(4,FILE='SZM.DAT',FORM='FORMATTED')
```

```
PI=3.1415
KW=0
DO 821 I=1,NPOIN
  IF(XNODE(I).EQ.0.0) THEN
    KW=KW+1
    SRTY(KW)=ABS(YNODE(I))
    SRTZ(KW)=ABS(ZNODE(I))
  END IF
```

821 CONTINUE

```

      DO 823 I=1,KW
      PIDL(I)=2*PI*SRTY(I)
823  CONTINUE
C    SIZMA DIZISININ OLUSTURULMASI

      SZTOP(1)=0
      DO 825 I=1,KW-1
      SZMA(I)=SQRT((SRTY(I+1)-SRTY(I))**2+(SRTZ(I+1)-SRTZ(I))**2)
825  CONTINUE
      DO 826 I=2,KW
      SZTOP(I)=SZTOP(I-1)+SZMA(I-1)
826  CONTINUE

C    *****
      HDS=(360/T)*MSON
      DO 827 I=1,KW
      DO 1002 J=1,NPOIN
      IF (BZ(J).EQ.SRTZ(I)) THEN
      GOTO 1001
      ELSE
      GOTO 1002
      END IF
1001 IF (BZ(J).EQ.SRTZ(I).AND.BX(J).EQ.0.0.AND.BY(J).GT.0.0) THEN
      XH(J)=SZTOP(I)
      YH(J)=0
      AA(1)=J
      END IF
C    ***** 1. *****
      K=1
      DO 828 JF=1,NPOIN
      IF (BZ(JF).EQ.BZ(J).AND.BX(JF).LT.0.0.AND.BY(JF).GT.0.0) THEN
      K=K+1
      AA(K)=JF
      END IF
828  CONTINUE
5001 X=0
      DO 829 JF=2,K-1
      IF (BZ(AA(JF)).EQ.BZ(J).AND.AA(JF).LT.AA(JF+1).AND
1.BY(AA(JF)).LT.BY(AA(JF+1))) THEN
      GOTO 5002
      ELSE
      GOTO 5003
      END IF
5002 C=AA(JF+1)
      AA(JF+1)=AA(JF)
      AA(JF)=C
      X=1
5003 IF (X.EQ.1) GOTO 5001
829  CONTINUE
      DO 830 JF=1,NPOIN
      IF (BZ(JF).EQ.BZ(J).AND.BX(JF).LT.0.0.AND.BY(JF).EQ.0.0) THEN
      K=K+1
      AA(K)=JF
      END IF
830  CONTINUE
C    ***** 2. *****
      K1=K
      DO 831 JF=1,NPOIN
      IF (BZ(JF).EQ.BZ(J).AND.BX(JF).LT.0.0.AND.BY(JF).LT.0.0) THEN
      K1=K1+1
      AA(K1)=JF
      END IF
831  CONTINUE
5004 X=0
      DO 832 JF=K+1,K1-1
      IF (BZ(AA(JF)).EQ.BZ(J).AND.AA(JF).LT.AA(JF+1).AND
1.BY(AA(JF)).LT.BY(AA(JF+1))) THEN
      GOTO 5005

```

```

ELSE
GOTO 5006
END IF
5005 C=AA(JF+1)
AA(JF+1)=AA(JF)
AA(JF)=C
X=1
5006 IF (X.EQ.1) GOTO 5004
832 CONTINUE

DO 833 JF=1,NPOIN
IF (BZ(JF).EQ.BZ(J).AND.BX(JF).EQ.0.0.AND.BY(JF).LT.0.0) THEN
K1=K1+1
AA(K1)=JF
END IF
833 CONTINUE

C ***** 3. *****
K2=K1
DO 834 JF=1,NPOIN
IF (BZ(JF).EQ.BZ(J).AND.BX(JF).GT.0.0.AND.BY(JF).LT.0.0) THEN
K2=K2+1
AA(K2)=JF
END IF
834 CONTINUE
5014 X=0
DO 835 JF=K1+1,K2-1
IF (BZ(AA(JF)).EQ.BZ(J).AND.AA(JF).LT.AA(JF+1).AND
1.BY(AA(JF)).GT.BY(AA(JF+1))) THEN
GOTO 5015
ELSE
GOTO 5016
END IF
5015 C=AA(JF+1)
AA(JF+1)=AA(JF)
AA(JF)=C
X=1
5016 IF (X.EQ.1) GOTO 5014
835 CONTINUE
DO 836 JF=1,NPOIN
IF (BZ(JF).EQ.BZ(J).AND.BX(JF).GT.0.0.AND.BY(JF).EQ.0.0) THEN
K2=K2+1
AA(K2)=JF
END IF
836 CONTINUE

C ***** 4. *****
K3=K2
DO 837 JF=1,NPOIN
IF (BZ(JF).EQ.BZ(J).AND.BX(JF).GT.0.0.AND.BY(JF).GT.0.0) THEN
C WRITE(*,*) 'BZ(JF).EQ.BZ(J)',BZ(JF),BZ(J)
C PAUSE
K3=K3+1
AA(K3)=JF
END IF
837 CONTINUE
5024 X=0
DO 838 JF=K2+1,K3-1
IF (BZ(AA(JF)).EQ.BZ(J).AND.AA(JF).LT.AA(JF+1).AND
1.BY(AA(JF)).GT.BY(AA(JF+1))) THEN
C WRITE(*,*) 'BZ',BZ(J)
GOTO 5025
ELSE
GOTO 5026
END IF
5025 C=AA(JF+1)
AA(JF+1)=AA(JF)
AA(JF)=C

```

```

      X=1.0
5026 IF (X.EQ.1.0) GOTO 5024
      838 CONTINUE
1002 CONTINUE
      DO 839 JF=1,K3
      XH(AA(JF))=SZTOP(I)
      YH(AA(JF))=PIDL(I)*(JF-1)/HDS
      839 CONTINUE
      827 CONTINUE
C *****
      K=0
      KS=KW+1
      DO 841 J=1,KW
      DO 840 I=1,NPOIN
      IF (K.EQ.2) THEN
      K=0
      END IF
      IF (BZ(I).EQ.SRTZ(J).AND.BX(I).EQ.0.0.AND.BY(I).GT.0.0
      *.AND.XH(I).EQ.SZTOP(J)) THEN
C
      K=K+1
      AA(K)=I
      END IF
      IF (K.EQ.2) THEN
      KS=KS-1
      YH(AA(2))=PIDL(J)
C
      END IF
      840 CONTINUE
      841 CONTINUE

      DO 2241 J=1,KW
      DO 2240 I=1,NPOIN
      IF (XH(I).EQ.SZTOP(J).AND.YH(I).EQ.0.0) THEN
      END IF
      2240 CONTINUE
      2241 CONTINUE

C  SIZMA ARALIĞI ÜZERİNE GELEN DÜĞÜM NO.LARI *****
      DO 124 J=1,KW
      DO 123 I=1,NPOIN
      IF (XH(I).EQ.SZTOP(J).AND.YH(I).EQ.0.0) THEN
      NPOR(J)=I
      WRITE(4,*)I
      END IF
      123 CONTINUE
      124 CONTINUE
      CLOSE(4)

      DO 46 I=1,KW
      SZTOP(I)=SZTOP(I)*1.0E-03
      SZMA(I)=SZMA(I)*1.0E-03
      46 CONTINUE
      DO 47 I=1,NPOIN
      XH(I)=XH(I)*1.0E-03
      YH(I)=YH(I)*1.0E-03
      47 CONTINUE

      RETURN
      END

```