

**İZOLATÖR YÜZEY KAÇAK AKIMLARININ
KARINCA KOLONİ ALGORİTMASI YARDIMIYLA İNCELENMESİ**

Yük. Müh. Dursun ÖZTÜRK

**Doktora Tezi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Prof. Dr. Mehmet CEBECİ
MART-2012**

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İZOLATÖR YÜZEY KAÇAK AKIMLARININ
KARINCA KOLONİ ALGORİTMASI YARDIMIYLA İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Dursun ÖZTÜRK

(04113206)

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Programı: Elektrik Tesisleri

Danışman: Prof. Dr. Mehmet CEBECİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 29 Şubat 2012

MART-2012

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İZOLATÖR YÜZEY KAÇAK AKIMLARININ
KARINCA KOLONİ ALGORİTMASI YARDIMIYLA İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Dursun ÖZTÜRK

(04113206)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 29 Şubat 2012
Tezin Savunulduğu Tarih: 16 Mart 2012**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet CEBECİ (F.Ü.)

**Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. M. Salih MAMIŞ (İ.Ü.)
Prof. Dr. Erhan AKIN (F.Ü.)
Doç. Dr. Zafer AYDOĞMUŞ (F.Ü.)
Doç. Dr. Muhsin T. GENÇOĞLU (F.Ü.)**

MART 2012

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Programı'nda hazırlanmıştır.

Bu çalışmada Karınca Koloni Algoritması ile yüksek gerilim izolatörlerinin yüzeyinde meydana gelen kısmi arkların yayılımı arasındaki benzerliklerden yararlanılarak bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model ile izolatör yüzeyindeki düzensiz kir dağılımı ve oluşan deşarjın parametrelerindeki değişimler incelenmiş, atlama gerilimi hesabında kullanılmak üzere yüzey kaçak akımları hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasını yönlendiren ve çalışma süresince yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet CEBECİ'ye şükranlarımı arz ederim. Çok değerli yardım ve destekleri nedeniyle Arş. Gör. M. Temel ÖZDEMİR'e teşekkür ederim. Ayrıca bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan annem ile babama ve tez süresince sabırla bana destek olan aileme de çok teşekkür ederim.

Dursun ÖZTÜRK
ELAZIĞ - 2012

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	XI
SİMGELER LİSTESİ.....	XII
KISALTMALAR LİSTESİ	XV
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yüksek Gerilim İzolatörlerinde Yüzey Kirlenmesi	1
1.2. Kir Tabakasının Oluşumunu Etkileyen Faktörler	2
1.3. Kir Tabakasının İletkenliği	6
1.4. Yüzey Kirlenmesinin Önemi ve Etkileri	7
1.5. İzolasyon Dayanımı	8
1.6. Tez Konusuna İlişkin Literatür Özeti	12
1.7. Tez Çalışmasının Amacı	14
2. YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNDE YÜZEYSEL ATLAMA.....	15
2.1. Yüzeysel Atlamanın Oluşumu	15
2.1.1. Kuru Bant Oluşumu ve Ön Deşarjların Başlaması.....	17
2.1.2. Deşarj Oluşum Aşamaları	17
2.1.3. Ark'ın Büyümesi ve Atlamanın Gerçekleşmesi.....	18
2.2. Yüzeysel Atlama Gerilimi ve Hesabı	19
2.3. Yüzeysel Atlama Geriliminin İzolatör Modelleri Yardımıyla Hesabı.....	22
2.3.1. Statik Modeller.....	24
2.3.2. Dinamik Modeller	25
3. İZOLATÖR YÜZEY KAÇAK AKIMLARI	30
3.1. İzolatörlerde Kaçak Akımların Önemi.....	30
3.1.1. Porselen İzolatörler İçin Kaçak Akımların Önemi.....	30
3.1.2. Silikon Kompozit (Polimer) İzolatörler İçin Kaçak Akımların Önemi.....	32

3.2. İzolatör Yüzey Kaçak Akımlarının Özellikleri.....	37
3.2.1. Yüzey Kaçak Akımlarının Genliği.....	37
3.2.2. Yüzey Kaçak Akımlarının Frekansı.....	39
3.3. Farklı Yapay Kirlenme Nedeniyle Porselen İzolatörlerin Yüzey Kaçak Akımları	42
3.4. İzolatör Yüzey Kaçak Akımlarının Sınıflandırması.....	42
3.4.1. Kapasitif Tip.....	42
3.4.2. Rezistif Tip.....	43
3.4.3. Nonlineer Tip	43
3.4.4. Deşarj Tipi.....	43
3.4.5. Kuvvetli Deşarj Tipi.....	43
3.5. Yüzey Kaçak Akımlarının İzolatör Modelleri Üzerinden Hesaplanması	45
4. KARINCA KOLONİ ALGORİTMASI İLE İZOLATÖR YÜZEY KAÇAK AKIMLARININ İLİŞKİLENDİRİLMESİ	46
4.1. Karınca Sistemi.....	46
4.2. Karınca Koloni Algoritmaları	48
4.2.1. Karınca Yoğunluk Modeli.....	51
4.2.3. Karınca Çevrim Modeli.....	53
4.3. Karınca Kolonilerinin Davranışları İle İzolatör Yüzey Kaçak Akım Dağılımlarının Benzerlikleri.....	55
5. İZOLATÖR YÜZEY KAÇAK AKIMLARININ HESABINDA KARINCA KOLONİ ALGORİTMASINI KULLANAN DİNAMİK BİR MODEL.....	57
5.1. Genel Bilgi.....	57
5.2. Bilgisayar Programı.....	57
5.2.1. ab_serit Altprogramı	60
5.2.2. ab_mesh2d ve ab_mesh3d Altprogramları.....	62
5.2.3. ab_ar Altprogramı	62
5.2.4. ab_alporAltprogramı	63
5.2.5. alpor_arfem_giris Altprogramı.....	65
5.2.6. kka_anaprog Altprogramı.....	65
5.2.7. kka_ilkyerlestirme Altprogramı	66
5.2.8. kka_tur Altprogramı	67
5.2.9. kka_ciz1 Altprogramı	67

5.2.10.	kka_ciz2 Altprogramı	68
5.2.11.	kka_karincahareketi Altprogramı	69
5.4.	Bilgisayar Programı Sonuçları	70
5.5.	Bilgisayar Programı ile Hesaplanan Akım Değerleri	76
6.	UYGULAMA.....	77
6.1.	Genel Bilgi	77
6.2.	DeneySEL Sistem.....	77
6.3.	Deney Prosedürleri	78
6.3.1.	YG İzolatörlerinin Deneyler İçin Hazırlanması	78
6.3.2.	Deney Sonuçlarının Alınması	79
6.3.2.1.	Kuru Durumda Yapılan Deneyler.....	82
6.3.2.2.	%60 Bağıl Nem Durumunda.....	94
6.3.2.3.	%85 Bağıl Nem Durumunda.....	100
6.4.	DeneySEL Sonuçların Değerlendirilmesi	105
7.	SONUÇLAR.....	109
KAYNAKLAR.....		110
ÖZGEÇMİŞ.....		117

ÖZET

Yüksek gerilim hatlarındaki arızaların en önemli nedenlerinden biri izolatörlerin yüzeyinden kaçak akım akmasını sağlayarak alan dağılımını bozan ve yüzeysel atlama oluşturan kirlenmelerdir. Bu durum, istenmeyen enerji kesintileri ve ekonomik kayıplar meydana getirmektedir.

Yüzeysel kirlenme sonucu oluşan atlama, çok hızlı gelişen bir olaydır ve atlama mekanizmasının karmaşıklığı, olayı tam olarak ifade eden matematiksel bir model çıkarılmasını zorlaştırmaktadır. Literatürde yüksek gerilim izolatörlerindeki kir dağılımları zorunlu olarak düzgün kabul edilmiştir

Bu çalışmada yüzeysel atlama probleminin çözüm yolları üzerinde durulmuştur. İlk olarak Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak, yüzeyi kir ile kaplı bir izolatörün açık modeli (AR modeli) üzerinden potansiyel dağılımları hesaplanmıştır. Araştırmacıların yoğun olarak uğraştıkları ark'a seri kir direncinin ve buna bağlı olarak yüzeyden akan kaçak akımların modeller üzerinden hesaplanması yerine, yeni bir yaklaşım olarak Karınca Koloni Algoritması kullanılmıştır.

Bunun için kirli izolatör yüzeyinde meydana gelen kısmi arkların yayılımı ile karınca koloni algoritması arasındaki benzerliklerden yararlanarak, deşarj parametrelerindeki değişimleri bulan ve yüzey kaçak akımını hesaplayan bir model geliştirilmiştir.

Teorik çalışmalara dayalı olarak geliştirilen bilgisayar programı çıktılarını karşılaştırmak amacıyla yüksek alternatif gerilim testlerinin yapılabildiği bir deneysel sistem kurulmuştur. Elde edilen deneysel ve teorik sonuçlar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Gerilim İzolatörü, Kirlenme Atlaması, Dinamik Ark Modeli, Karınca Koloni Algoritması.

SUMMARY

Investigation of Insulator Surface Leakage Current by Ant Colony Algorithm

One of the most important causes of faults on high voltage lines is pollution that creates flashover surface and results in leakage current flowing over the surface of insulator. This brings about undesired power failure and economic losses.

The flashover, as a result of surface contamination, is very fast growing phenomenon and complexity of its mechanism makes more difficult mathematical modelling. In literature, non-uniform pollution distribution was compulsorily assumed as uniform.

In this study, solutions to the problem of surface flashover have been investigated. Firstly, covered with dirt on the surface of an insulator on the open model (AR model) potential distribution have been calculated using Finite Element Method. Instead of researchers are working intensively on arc's in series pollution resistance and the value of surface leakage currents depending on this resistance through the calculation models, ant colony algorithm is used as a new approach.

A model based on ant colony algorithm has been developed. Deşarj parameter variation and surface leakage current calculation has been made via this model. In this method, the advantage of has been used similarities between Ant Colony Algorithm and propagation of partial arcs on the surface of the polluted insulator.

An experimental system has been established for comparing the outputs of the computer program that was developed as a result of theoretical studies. The obtained experimental and theoretical results are discussed.

Keywords: High Voltage Insulator, Pollution Flashover, Dynamic Arc Model, Ant Colony Algorithm.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Numara
Şekil 1.1. Sis tipi bir izolatör için kirlenme deneyi	3
Şekil 1.2. Kir tutulmasının izolatör şekliyle değişimi (A:Ağır, O:Orta, H:Hafif, S:Sıfır)	4
Şekil 1.3. Kir yoğunluğunun eğim açısıyla değişimi	5
Şekil 1.4. Yüzey tabaka yoğunluğu ve iletkenliği	7
Şekil 2.1. Kirlenme atlamasının safhaları.....	15
Şekil 2.2. Ark büyümesinin değişik safhalarında ark hızı.....	18
Şekil 2.3. Bir kısmi ark deşarjı için ideal açık model.....	20
Şekil 2.4. İdeal modelin gerilim eğrileri.....	22
Şekil 2.5. Kuru band oluşmuş kirli izolatör.....	26
Şekil 2.6. Kirli izolatörün Obenaus modeli	26
Şekil 2.7. Kirlenmiş izolatörlerde deşarj yayılımı	28
Şekil 3.1. Porselen izolatörler ve yüzey kaçak akım yolu	30
Şekil 3.2. Zincir tipi izolatör elemanı	31
Şekil 3.3. Kompozit izolatörler	32
Şekil 3.4. Orta ve yüksek gerilim kompozit izolatörlerin yapısı	33
Şekil 3.5. Seramik olmayan bir izolatör üzerindeki kir toplanmaları.....	36
Şekil 3.6. Etekler üzerindeki kir dağılımı.....	37
Şekil 3.7. Farklı yüzey iletkenlikleri için gerilim-yüzey kaçak akım eğrileri	38
Şekil 3.8. Tepe kaçak akımı ve tuzluluk oranı	38
Şekil 3.9. Kritik atlama geriliminin tuzluluk oranı ile değişimi.....	39
Şekil 3.10. Yüzey kaçak akımlarının dalga şekli ve frekans dağılımları	40
Şekil 3.11. Kaçak akım dalga şekilleri	41
Şekil 3.12. 1 gr NaCl çözeltisinden dolayı dalga şekilleri	42
Şekil 3.13. Kaçak akım türlerine ait dalga şekilleri.....	44
Şekil 4.1. Yuva ile yiyecek arasında karıncaların bulduğu en kısa yol	46
Şekil 4.2. Yola bir cisim konulmasıyla en kısa yolun bozulması.....	47
Şekil 4.3. Cismin konulmasından sonraki durum.....	47
Şekil 4.4. Cisim konulmasından belli bir süre sonraki durum	48
Şekil 4.5. Yüzey kaçak akımlarının hesabı için geliştirilen algoritma	56

Şekil 5.1. Yüzey kaçak akımı ve atlama gerilimi hesabına ilişkin akış diyagramı	60
Şekil 5.2. “ab_serit” altprogramına ait akış diyagramı.....	61
Şekil 5.3. BSFT 9336 izolatörünün 2-boyutlu kesit görünüşü (yarı simetri)	61
Şekil 5.4. “ab_ar” altprogramına ait akış diyagramı	62
Şekil 5.5. BSFT 9336 tipi izolatörün açık modeli (AR modeli).....	63
Şekil 5.6. “ab_alpor” altprogramına ait akış diyagramı	64
Şekil 5.7. “alpor_arfem_giris” altprogramına ait akış diyagramı.....	65
Şekil 5.8. “kka_anaprog” akış şeması	66
Şekil 5.9. “kka_ilkyerlestirme” altprogramına ilişkin akış şeması.....	67
Şekil 5.10. “kka_ciz1” altprogramına ilişkin akış şeması	68
Şekil 5.11. “kka_ciz2” altprogramına ilişkin akış şeması	69
Şekil 5.12. “kka_karinchahareketi” altprogramına ilişkin akış şeması	70
Şekil 5.13. BSFT 9336 sis tipi izolatörün eşpotansiyel eğrileri	71
Şekil 5.14. Karıncaların en kısa yolları	71
Şekil 5.15. BSFT 9336 izolatörünün açık modeli üzerinde karınca hareketi	72
Şekil 5.16. U160 BL izolatörünün M=1 için belirlenen şekli (yarı simetri)	73
Şekil 5.17. U160 BL izolatörünün M=1 için Sonlu Eleman ağı	73
Şekil 5.18. U160 BL izolatörünün açık modeli	74
Şekil 5.19. U160 BL izolatörünün eşpotansiyel eğrileri	74
Şekil 5.20. U160 BL izolatörünün kaçak yolu yüzey alan şiddeti eğrileri.....	75
Şekil 5.21. U160 BL izolatörünün kaçak yolu yüzey alan şiddeti değerleri	75
Şekil 6.1. Deney Sistemi	78
Şekil 6.2. Temiz izolatör için kuru durumda kaçak akım grafikleri.....	84
Şekil 6.3. 0,2 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için kuru durumda kaçak akım grafikleri.....	85
Şekil 6.4. 0,4 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için kuru durumda kaçak akım grafikleri.....	87
Şekil 6.5. 0,6 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için kuru durumda kaçak akım grafikleri.....	88
Şekil 6.6. 1,0 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için kuru durumda kaçak akım grafikleri.....	90
Şekil 6.7. 1,2 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için kuru durumda kaçak akım grafikleri.....	91
Şekil 6.8. 1,6 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için kuru durumda akım grafikleri	92
Şekil 6.9. 2,0 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için kuru durumda kaçak akım grafikleri.....	94
Şekil 6.10. 0,4 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için %60 bağıl nem altında kaçak akım grafikleri	96

Şekil 6.11. 1,0 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için %60 bağıl nem altında kaçak akım grafikleri	98
Şekil 6.12. 1,6 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için %60 bağıl nem altında kaçak akım grafikleri	99
Şekil 6.13. 0,4 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için %85 bağıl nem altında kaçak akım grafikleri	102
Şekil 6.14. 1,0 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için %85 bağıl nem altında kaçak akım grafikleri	103
Şekil 6.15. 1,6 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için %85 bağıl nem altında kaçak akım grafikleri	104
Şekil 6.16. 0,4 gr NaCl ile kirletilen izolatör için farklı nem değerleri altında akım-gerilim grafikleri (o:Kuru durumda; +:%60 nem durumunda; *: %85 nem durumunda)	106
Şekil 6.17. 1,0 gr NaCl ile kirletilen izolatör için farklı nem değerleri altında akım-gerilim grafikleri (o:Kuru durumda; +:%60 nem durumunda; *: %85 nem durumunda)	106
Şekil 6.18. 1,6 gr NaCl ile kirletilen izolatör için farklı nem değerleri altında akım-gerilim grafikleri (o:Kuru durumda; +:%60 nem durumunda; *: %85 nem durumunda)	107
Şekil 6.19. 10,98 μ S iletkenliğe sahip izolatör için ölçülen ve hesaplanan akım eğrileri (o:Ölçülen değerler; +:Hesaplanan değerler)	108

TABLÖLAR LİSTESİ

	Numara
Tablo 1.1. Kir tipleri ve parçacık çapları.....	2
Tablo 1.2. Çimento tozunun kimyasal analizi	6
Tablo 1.3. İzolatör dizilerinin güç frekanslı gerilim dayanımı (kV/m bağlantı uzunluğu) ...	9
Tablo 1.4. Gerekli standart ünite sayıları	9
Tablo 1.5. İzolatörlerde kirlenme seviyesi ile kaçak yolu arasındaki ilişki	11
Tablo 1.6. Kirlenme şartlarının karşılaştırılması (I-dizileri için anma sızma mesafesi)	11
Tablo 1.7. Kir grubu seviyeleri ve tanımı.....	12
Tablo 2.1. Atlama olayının gelişimi	16
Tablo 3.1. Farklı deşarj şartları için kaçak akımların dalga şekli ve frekans dağılımları....	40
Tablo 5.1. U160 BL izolatörünün özellikleri	72
Tablo 5.2. Bilgisayar programı ile hesaplanan farklı iletkenlik değerleri için yüzey kaçak akım değerleri	76
Tablo 6.1. ‘b’ katsayısının sıcaklığa bağlı değerleri.....	80
Tablo 6.2. Test sonrası yıkanan izolatörlerden elde edilen çözeltilerin ölçülen bazı değerleri.....	81
Tablo 6.3. Farklı tuzluluk oranlarına karşılık ESDD ve iletkenlik değerleri	81
Tablo 6.4. Kuru durum için yüzey kaçak akımlarının efektif ve en yüksek tepe değerleri.	82
Tablo 6.5. %60 bağıl nem durumu için yüzey kaçak akımlarının efektif ve en yüksek tepe değerleri.....	94
Tablo 6.6. %85 bağıl nem durumu için yüzey kaçak akımlarının efektif ve en yüksek tepe değerleri.....	100
Tablo 6.7. Kuru durumda farklı kir seviyelerine sahip izolatörlerden akan kaçak akım değerleri.....	105
Tablo 6.8. 10,98 μ S iletkenliğe sahip izolatör için ölçülen ve hesaplanan akım değerleri	107

SİMGELER LİSTESİ

ϵ	: Dielektrik sabit
E	: Elektrik alan şiddeti
F	: Kuvvet
v	: Hacim
μ	: Mikro
σ	: Öz iletkenli
σ_s	: Yüzey iletkenliği
ρ	: Öz direnci
ρ_s	: Yüzey öz direnci
G_0	: Doyma iletkenliği
F_f	: Form faktörü
L	:Sızma boyu
dl	: Sızma yüzeyi boyunca uzunluk elemanı
db	: Sızma yüzeyi boyunca uzunluk elemanı
$D(l)$	: dl 'ye karşılık gelen izolatör çapı
r	: db 'ye karşılık gelen yarıçap
π	: Pi sayısı
R	:Kir tabakasının direnci
V	:Gerilim
V_{ark}	:Ark boyunca gerilim düşümü
$E(i)$	:Ark gerilim gradiyenti
V_{ka}	:Ark anot-katot gerilim düşümleri toplamı
A	:63 (sabit)
n	:0.7 (sabit)
N	:Statik ark denklemi
V_r	:Deşarjsız bölge boyunca gerilim düşümü
i	:Kaçak akım
w	:Kaçak akımdan dolayı açığa çıkan ısı enerjisi
V_m	:Arkın söneceği minimum gerilim değeri

I_m	: V_m 'ye bağılı akım değeri
r_p	: Birim boyun kir direnci değeri
U_c	: Minimum atlama gerilimi değeri
U_{cx}	: Minimum deşarj yeniden tutuşma gerilimi değeri
V_s	: Uygulanan gerilim
V_c	: Katot gerilimi düşümü
V_a	: Anot gerilimi
R_{ark}	: Birim uzunluğun ark direnci
L_{ark}	: Ark uzunluğu
R_{kir}	: Kir tabakası direnci
R_s	: Kaynağın iç direnci
R_k	: Birim uzunluk başına düzenli kir direnci
E_k	: Kir gradiyenti
E_{ark}	: Ark gerilim gradiyenti
λ	: Ark zaman sabiti
d_{ij}	: i. ve j. şehirler arasındaki yolun uzunluğu
$b_i(t)$	: t anında i. şehirde bulunan karınca sayısı
m	: Kolonideki toplam karınca sayısı
$\tau_{ij}(t)$	: t anında i ve j şehirleri arasındaki yolda depolanan feromon maddesi miktarı
q	: Feromon maddesi için buharlaşma katsayısı
$\Delta\tau_{ij}$	: Birim zamanda (i,j) hattına bırakılan feromon maddesi miktarı
$\Delta\tau_{ij}^k(t,t+1)$	: t-t+1 zaman aralığında k. karınca tarafından (i,j) hattına bırakılan feromon maddesinin birim uzunluk başına miktarı
η_{ij}	: Seçilebilirlik parametresi
P_{ij}	: k. karıncanın i. şehirden j. şehre geçiş olasılığı
α	: Feromon maddesinin önemini belirleyen sabit
β	: Seçilebilirlik parametresinin önemini belirleyen sabit
Q_1	: Karınca yoğunluk modelinde bir karıncanın birim uzunluk başına yola bıraktığı koku miktarı
Q_2	: Karınca miktar modelinde bir karıncanın birim uzunluk başına yola bıraktığı koku miktarı
Q_3	: Karınca çevrim modelinde koku miktarını hesaplamada kullanılan bir sabit
L^k	: k. karıncanın (i,j) hattını kullanarak tamamlamış olduğu yolun uzunluğu

q₁	: Bir tam tur sonundaki buharlaşma katsayısı
f	: Frekans
ε₀	: Boşluğun dielektrik sabiti
ε_r	: Bağlı dielektrik sabit
ΔE	:Alan şiddeti farkı

KISALTMALAR LİSTESİ

IEC	:Uluslararası Elektrik / Elektronik Komisyonu (International Electric/Electrical Commission)
IEEE	:Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
CIGRE	:Yüksek Gerilim Elektrik Sistemleri Konferansı (Conférence Internationale des Grands Réseaux Électriques à haute tension)
ESDD	:Eşdeğer Tuz Birikim Yoğunluğu (Equivalent Salt Deposit Density)
KKA	:Karıncı Koloni Algoritması
GSP	:Gezgin Satıcı Problemi
SEY	:Sonlu Elemanlar Yöntemi
FRP	:Fiberglass Reinforced Plastic
CE	:Cycloaliphatic Epoxy
YG	:Yüksek Gerilim
mA	:Mili amper
AA	:Alternatif akım
DA	:Doğru akım
kV	:Kilovolt
kHz	:Kilo Hertz
μs	:Mikro saniye
μS	:Mikro siemens

1. GİRİŞ

1.1. Yüksek Gerilim İzolatörlerinde Yüzey Kirlenmesi

İzolatör yüzeyinde biriken ve belirli bir iletkenlik oluşturan kirlenme genel olarak iki kategoride göz önüne alınır:

a) Deniz kirliliği: Tuz kirliliği olarak da tanımlanır. Sahil bölgelerinde denizden gelen rüzgâr, tuz içeren küçük damlacıklar halindeki deniz suyunu izolatör yüzeylerine taşır. Bu damlacıklar izolatörlere yüksek bir oranda yapışır ve eğer yağmur olmazsa izolatör yüzeyinde tortulaşarak kuru tuz kalıntıları birikmesine neden olur [1,2]. Bu yolla kirlilik tabakasının oluşumu, deniz kıyısı ile izolatörlerin yeri arasındaki mesafe ve rüzgârın hızına bağlıdır.

b) Kara bölgelerindeki kirlilik: Yerleşim bölgelerindeki genel kirlilik, çöl tozları, endüstriyel bölgelerdeki kül, is, katran, kömür tozu, çimento, alkali tuz, metal oksitler gibi kuru tip kirler ile Cl, F, S ve bunların O ve H ile bileşikleri gibi kimyasal gazların oluşturduğu kirliliktir.

Katı kirlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri bölgelere göre farklılık gösterebilir. Fakat esas olarak kül, çimento, yağ, is vb. kirlerden meydana gelir. Kirin iki ayrı özelliği olduğu kabul edilebilir:

1. Yapışkan ve su emici özelliğine sahip, kimyasal olarak aktif olmayan esas kısım (SiO_2 gibi).

2. Küçük bir yüzde oranı ile 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).

İzolatör yüzeyinde oluşan katı kir tabakasının, çiseleyen yağmur ve nem etkisiyle ıslanması halinde, iletkenliği yükselir. Yüksek gerilim (YG) izolatörlerinde kirlenmiş yüzeylerin ıslanma süreci, izolatörlerin atlama gerilimleri ve geçirgenlikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Geceleri ani sıcaklık düşüşü ve nem oranının %100'e yaklaştığı zamanlarda çığ oluşabilir.

Havada uçuşan küçük kir parçacıklarının çapları farklı olmakla beraber 0.001-400 mikron civarındadırlar (Tablo 1.1). Çimento tozu parçacıklarının çapları 1-20 mikron ve kül parçacıklarının çapları 30-180 mikron arasındadır.

Tablo 0.1. Kir tipleri ve parçacık çapları

Kirin cinsi	Çapı(μm)
Duman	0.001-1
Mineral Tozu	1-100
Organik Toz	1-50
Sis Damlacığı	1-100

Tren yolu hattındaki izolatörler için tuz ve endüstriyel kirlere ilaveten diğer bir kir türü de, lokomotiften çıkan is ve dumandır. Güç istasyonları ve soğutma kuleleri kirin önemli kaynaklarıdır. Rüzgâr 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 durum, izolatör üzerinde yüksek iletkenlikte kir filmi oluşmasına neden olur ve atlamaya sebebiyet verir. Çimento üretilen bölgelerdeki izolatörler, rutubetli şartlarda, temizlenmesi çok zor olan sert bir çimento katmanıyla kaplanır.

Endüstri bölgelerindeki izolatörlerde oluşan kirlilik tabakasının, dumanın kimyasal bileşiklerini, fabrikaların dumanlarını ve çimento tozunu içerdiği tespit edilmiştir. Kimyasal gaz atıkları, yüksek nemli ortamlarda, izolatör yüzeyinde iletken bir film tabakası oluşturabilir. Bu film tabakası yüzeyin tamamını veya büyük bir kısmını kaplayabilir. Kimyasal atıklar aynı zamanda, sır tabakasında tahribata ve asit koruyucu ile boyanmamışsa metal bağlantı kısımlarında korozyona neden olabilir.

1.2. Kir Tabakasının Oluşumunu Etkileyen Faktörler

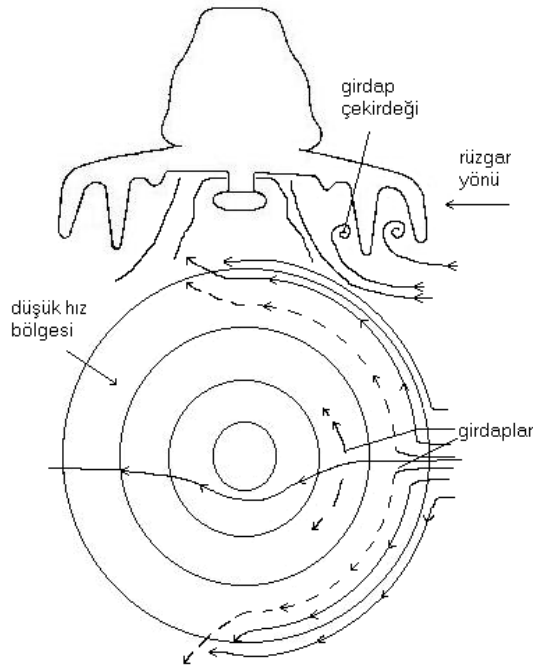
İzolatör yüzeyinde kirin birikme şekli birçok etkene bağlıdır. Yağmur ve rüzgâr gibi bölgenin meteorolojik parametreleri, kir toplanması üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bununla beraber, izolatörün şekli de kir toplanmasında önemli rol oynar. Yağmur ve rüzgârın temizleme etkisi izolatörün şekline bağlı olacağından, izolatörün şekli kir birikimini belirleyen temel faktördür.

Kirin izolatöre yapışmasını azaltmak için porselen izolatörlerin yüzeyi normal veya stabilize edilmiş bir sır tabakasıyla kaplanarak, düzgün bir yüzey sağlanır. Stabilize edilmiş sır tabakası kullanımının temel amacı, alternatif akımdaki kapasitif akım yardımıyla kir tabakasının kuru kalmasını sağlamak ve böylece kirin yüzeye yapışma ihtimalini azaltmaktır. Cam izolatörlerin karakteristikleri, yüzeyi sır tabakasıyla kaplı porselen izolatörlerin karakteristiklerine benzerdir. Ancak cam izolatörler, üzerlerinde daha kolay nem toplarlar. Bu, kirlenme açısından olumsuz bir durumdur.

İzolator, sürtünme katsayısı çok küçük olan poli tetra flor etilen (ptfe) tabakasıyla kaplandığı zaman, kir birikimi büyük oranda azalmakla beraber bu sentetik maddenin bazı dezavantajları da mevcuttur. Farklı kir şekilleri, farklı yapışma derecelerine sahip olduğundan bu durum izolator yüzeyinde kir birikim oranını etkiler. Sisli bir ortamda izolator yüzeyinde yoğun bir kir tabakası kolayca meydana gelir.

İzolatorların kir toplama özelliği, izolator üzerine bir gerilim uygulanması durumunda artar. Bu, uygulanan geriliminin tipine, polaritesine ve genliğine bağlıdır. AA ile karşılaştırıldığında DA durumunda kir birikimi daha fazladır [3]. Zincir izolatörde ünitelerin bağlantı noktalarında korona oluşumu, bu bölgelerde kir birikimini kolaylaştırır.

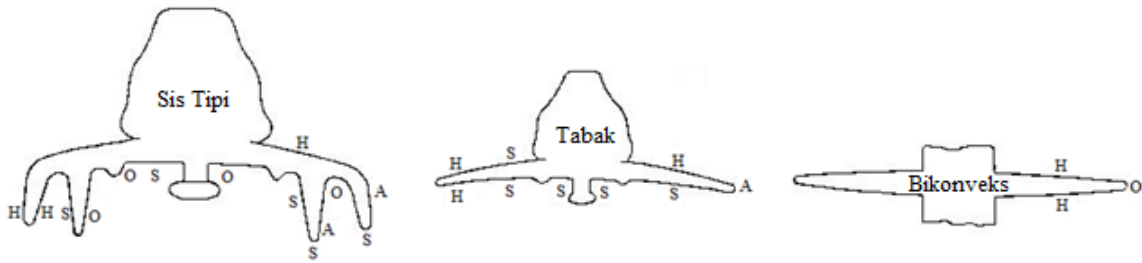
Looms J.S.T. [4], rüzgar tünellerinde Şekil 1.1’de görülen kirlenme deneylerini yapmıştır.



Şekil 0.1. Sis tipi bir izolator için kirlenme deneyi

Şekil 1.2’de, deneyle kirletilen bazı izolatorlerin kir dağılımı verilmiştir. Şekiller üzerindeki harfler kir yoğunluklarını göstermektedir. Aerodinamik tutulma, izolator yüzeyinin kirlenmesinde en önemli etkenlerden biridir. Havada asılı parçacıklar, izolator şekline bağlı olarak özellikle akışın ikiye ayrıldığı noktalarda oluşan durgun bölgede ve daha ağır olan parçacıklar da girintilerde tutulurlar.

Şekil 1.2’de görüldüğü gibi kirin daha çok olduğu bölgeler, rüzgarın doğrudan çarptığı yüzeyler ve girintilerdir. Farklı yapıdaki izolatorlerin kir tutma miktarları çok değişmektedir.



Şekil 0.2. Kir tutulmasının izolator şekliyle değişimi (A:Ağır, O:Orta, H:Hafif, S:Sıfır)

İzolator yüzeyinde biriken artıklar belli bir değere ulaştınca aerodinamik yapı ve hava akışı değişir. Kir birikiminden dolayı girintiler dolmakta ve etkin geçiş yolu azalmakta, böylece elektriksel performans bozulmaktadır. 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 izolatöre 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.

Elektriksel geçirgenliği yüksek 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.

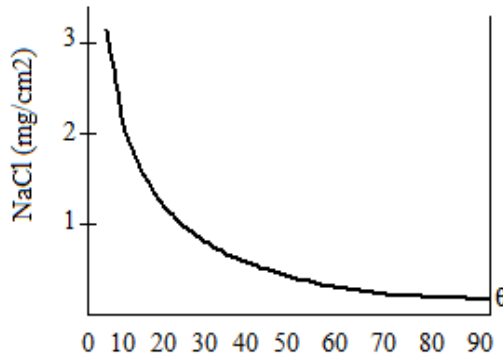
$$F = \text{sabit.v.} \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \cdot \text{grad} E^2 \quad (1.1)$$

Burada F kuvvet, v hacim, ϵ yalıtkanlık katsayısı (dielektrik sabiti) ve E alan şiddetidir.

İzolatör yüzeyinde biriken kir miktarı, izolatörün pozisyonuyla da yakından ilgilidir. Gergi ve askı izolatörleri, hatta aynı yerdeki aynı tip iki izolatör dahi oldukça farklı kir toplama performansı gösterebilir. Yatay pozisyonda, izolatör diskinin her iki tarafı da benzer yapıda kire ve yağmura maruz kaldığından düşey pozisyona göre daha düzgün bir kir tabakası meydana gelir. Askı izolatör 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 [5]. Eğer hattın mekaniksel yükü çok fazla ise, iki veya daha fazla zincir paralel kullanılır. Bu durumda aerodinamik kirlenmeye ilaveten, yağmurdan dolayı bir kalkandan diğerine akan kir nedeniyle çok ağır kir birikimi söz konusu olur [6].

Kir yoğunluğu bir izolatör tipi üzerindeki noktalar için veya genellikle farklı izolatör tiplerinde, aynı eğime sahip noktalar için, kir yoğunluklarının ortalaması olarak alınabilir. Şekil 1.3, 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, rüzgâr ve yerçekimi etkisi ile açıklanabilir. Bu etkiler parça tortulaşmasında önemlidirler. Tortulaşmayı tamamlamak için yerçekiminin yanı sıra yerel rüzgâr hızı da sıfıra yaklaşmalıdır. Bu kuvvetler küçük eğimli noktalarda daha etkilidir [7].

Yukarıda açıklanan sebepler, izolatör yüzeyinde oluşan ve izolatörün atlama performansını belirleyen kir tabakasını düzensiz yapar. Yani izolatör yüzeyinde homojen bir kir tabakası oluşmaz. Bu düzensizlik, kirli izolatörlerin atlama performansının teorik hesabında ve yapay testlerdeki kir tabakasının simülasyonunda zorluklara neden olur.



Şekil 0.3. Kir yoğunluğunun eğim açısıyla değişimi

1.3. Kir Tabakasının İletkenliği

Bir izolatör yüzeyinde oluşan kir tabakasının iletkenliği, kirin cinsine bağlı olarak birkaç μS değerinden 50 μS 'e kadar değişebilir. Aşağıda örnek olarak çimento tozu ile çöl tozlarının kirlilik durumları incelenmiştir.

a) Çimento tozu kirliliği

Bir endüstri bölgesinden toplanan çimento tozunun kimyasal analizi Tablo 1.3.'de verilmiştir [8]. Bu çimento tozu, testler altında izolatörlerin kirlenmesinde kullanılan bir solüsyonu hazırlamak için kullanılmıştır ve kirlilik tabakası, izolatörü karışıma batırarak izolatöre tatbik edilmiştir. Yüzey tabaka iletkenliği, IEC metodu kullanılarak ölçülmüştür. Test edilen izolatörlerin kirlilik yüzey yoğunluğu, 0.0625 gm/cm^2 'den 0.31 gm/cm^2 'ye kadar değişmiştir. Şekil 1.4, kir tabakası yüzey yoğunluğu ile yüzey tabaka iletkenliği arasındaki ilişkiyi vermektedir.

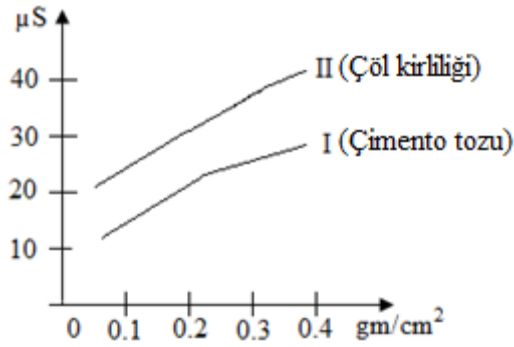
Beklenildiği gibi kirlilik tabakasının yoğunluğunun artması, yüzey tabaka iletkenliğini arttırmaktadır. Sebep şudur; çimento tozunun yoğunluğunun artması, Tablo 3.1.'de verilen belli başlı tuz taşıyıcıların artması demektir.

Tablo 0.2. Çimento tozunun kimyasal analizi

Kimyasal Element	Yüzde (%)
SiO_2	9,29-10,25
Al_2O_3	2,66-2,79
Fe_2O_3	1,62-1,44
CaO	18,80-30,38
MgO	1,49-2,17
SO_3	12,96-7,24
Ma_2O_3	6,12-4,68
K_2O	2,13-1,87
Cl	5,31-6,58

b) öl tozları kirliliği

Çöldeki izolatör yüzeylerinden %10 CaSO₄, %3 NaCl ve %0.5 KCl toplanmaktadır. Kum yoğunluğu 0.3 gm/cm²'den 0.31 gm/cm²'ye kadar değişmiştir. Yüzey tabaka iletkenliği ile kirlilik tabakası yoğunluğu arasındaki ilişki şekil 1.4'de verilmiştir. Bu şekilden çöl kirliliği simulasyonu durumundaki iletkenliğin imento tozuyla kirlenilen izolatörlerin iletkenliğinden daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum çöl kirliliğinin, NaCl içermesi ve su buharını emme yeteneğine sahip olması ile açıklanabilir.



şekil 0.4. Yüzey tabaka yoğunluğu ve iletkenliği

1.4. Yüzey Kirlenmesinin Önemi ve Etkileri

Yüksek gerilimli bir enerji iletim hattında kullanılan izolatörler aşağıdaki şartları sağlamalıdır:

- 1) Hattı, tüm mekanik zorlanmaları karşılayarak taşıyabilmeli,
- 2) Hattı, elektriksel olarak topraktan izole etmeli.

İzolatörler, ikinci şartı sağlamakta çoğu zaman başarısız olurlar. Bunun nedeni, izolatörlerde meydana gelen üç tip arızadır:

- a) İzolatörlerin delinmesi: İzolatörlerde delinme olayına işletme şartlarında nadiren rastlanır ve genellikle üretim hatası sonucu meydana gelir.
- 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 atlamaşı” veya kısaca “atlama” denir. İzolatörlerde kirlenme ve kirlenmenin sebep olduğu arızalar, enerji iletiminde önemli ve birçok çalışmaya konu olan bir problemdir.

Kirlenme atlaması, güç sistemlerinde oldukça yaygındır. Nemli endüstri bölgelerinde ve sahil kentlerindeki YG iletiminde bunun 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. Birçok durumlarda atlama, enerji iletiminde uzun süren kesintilere sebep olur. 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 topraklamasına ve kir durumuna göre diğer izolatör zincirlerinde de ark meydana gelebilir.

Aşırı izolasyon, temizleme, gresleme vb. birkaç tedbir, atlama olayını durdurmaya veya en azından sayısını azaltmaya yarayabilir. Ancak bu işlemler ilave büyük masraflar gerektirir. Sistemin aşırı izolasyonu; iletim hattı toplam maliyetinin önemli bir kısmını oluşturan direklerin boyutlarının büyümesine sebep olur [9].

Yüksek gerilim izolatörlerinde kirlilik ile nemin birleşmesi sonucunda atlamının meydana geldiği, açık hava iletim hatlarının tesis edildiği ilk zamanlardan beri bilinmektedir. Kuru havada izolatör yüzeyinde biriken kirleticiler, izolatör yüzeyinin atmosferik olaylar sonucu nemlenmesi ile çözülmekte ve böylece yüzey, elektriksel olarak iletken hale gelmektedir. Ağır kirlilik yoğunluğu ve yüksek rutubet, kirlenmiş izolatörlerde atlama için en etkili faktörlerdir.

1.5. İzolasyon Dayanımı

IEEE, CIGRE ve IEC tarafından yapılan izolasyon dayanımı tanımı ve bu tanımlamaya bağlı önerilen dayanma gerilimi, ünite sayısı, minimum anma kaçak yolu mesafesi değerlerine ilişkin tablolar aşağıda verilmiştir.

a) IEEE Önerisi

İzolasyon dayanımı (kV/m), bağlantı uzunluğu ile dayanma geriliminin oranı olarak tanımlanmıştır. Dayanma gerilimi temiz sis testi metoduyla belirlenir. Tablo 1.3’de değişik kirlenme seviyelerindeki izolatör dizilerinin güç frekansı altında dayanma gerilimi değerleri verilmiştir. Standart askı izolatör (146 mm x 254 mm (5,75’’x10’’)), 292 mm kaçak yolu uzunluğuna sahiptir.

Tablo 0.3. İzolatör dizilerinin güç frekanslı gerilim dayanımı (kV/m bağlantı uzunluğu)

Sınıfı	Seviye, mg/cm ²	Standart Birimler (kV/m) 5,75"x10"		Yüksek Kaçak Birimleri
		I-dizisi	V-dizisi	
Çok hafif	0.03	86.9	98.6	91–99
Hafif	0.06	67.5	82.0	74–88
Orta	0.10	59.3	74.8	64–82
Ağır	0.40	49.3	66.0	56–73

Tablo 1.4’de 138 kV-765 kV arası sistem gerilimleri için bir dizide gerekli standart izolatörlerin sayısı verilmiştir. 345 kV’ta, I dizisinde en az 15 ünitenin başarıyla kullanıldığı söylenebilir. 500 kV’ta, V dizisinde en az 22 ünite ve 765 kV’ta, V dizisinde en az 30 ünite başarıyla kullanılmıştır.

Tablo 0.4. Gerekli standart ünite sayıları

Sistem Gerilimi kV	Kirlenme seviyesi için standart üniteler sayısı I-dizisi/V-dizisi			
	Çok hafif	Hafif	Orta	Ağır
138	6/6	8/7	9/7	11/8
161	7/7	10/8	11/9	13/10
230	11/10	14/12	16/13	19/15
345	16/15	21/17	24/19	29/22
500	25/22	32/27	37/29	44/33
765	36/32	47/39	53/42	64/48

b) CIGRE Önerisi

İzolasyon dayanımı, özgül kaçak yoluna göre belirlenir. Bu, sistem geriliminin her bir kV'ı başına düşen kaçak yolu mesafesidir (cm/kV). Kaçak yolu, farklı kirlilik test yöntemleri yardımıyla belirlenir. En sık kullanılan 3 test metodu için, dayanma geriliminde tavsiye edilen anma kaçak yolu mesafelerinin hesabı aşağıda gösterilmiştir:

- Tuzlu sis yöntemi için kaçak yolu mesafesi, Denklem 1.2 ile verilir. Bu eşitlikteki S_a , kg/m^3 olarak sudaki tuz miktarıdır.

$$L_c = 2,34 \cdot S_a^{0,224} = 7,09 \cdot \text{ESDD}^{0,224} \quad (1.2)$$

- Kizelgür yöntemi için kaçak yolu mesafesi, Denklem 1.3 ile verilir. Bu eşitlikteki σ_w , μS olarak izolatör yüzey iletkenliğidir.

$$L_c = 1,42 \cdot \sigma_w^{0,387} = 8,15 \cdot \text{ESDD}^{0,387} \quad (1.3)$$

- Sis dayanımı yöntemi için kaçak yolu mesafesi Denklem 1.4 ile verilir.

$$L_c = 7,14 \cdot \text{ESDD}^{0,246} \quad (1.4)$$

Her bir denklemin ilk formülasyonu, geliştirilen test metodu için verilir. İkinci formülasyon, ESDD ölçümüne yöneliktir (mg/cm^2). Bu değerler, %5 %10 atlama olasılığında ayrıca %25 güvenlik payında tanımlı dayanma gerilimine dayandırılır. Bu denklemler tüm porselen izolatör tipleri için kullanılabilir. Bununla beraber, bu denklemler kompozit izolatörlere uygulanamaz.

c) IEC Önerisi

IEC, farklı kirlenme seviyelerindeki seramik veya cam izolatörler için sızma mesafesi önerir [10]. Bununla beraber öneri, ağır kirlenmede buzlanma, yoğun yağmur, kurak alanlar gibi bazı çevresel şartları kapsamaz. Önerilen kaçak yolu mesafeleri Tablo 1.5'de mm/kV olarak (faz-toprak efektif değer) listelenmiştir [11]. Tablo 1.3 ile Tablo 1.4 ve Tablo 1.5'deki verilerin analizi, IEC verilerinin IEEE verileriyle uygun olarak karşılaştırılabileceğini gösterir. Bu durum Tablo 1.6'da özetlenmiştir.

Tablo 0.5. İzolatörlerde kirlenme seviyesi ile kaçak yolu arasındaki ilişki

Kirlenme Seviyesi	Tipik Çevre Örnekleri	Min. Anma Kaçak Yolu Uzunluğu (mm/kV)
Hafif	- Sanayi tesisi bulunmayan ve ısıtma tesisleri ile donatılmış ve mesken yoğunluğu az olan alanlar - Sanayi tesisleri ve mesken yoğunluğu az olan, ancak sık sık rüzgara ve/veya yağmura maruz kalan alanlar - Tarım alanları - Dağlık alanlar - Bütün bu alanlar denizden en az 10-20 km uzaklıkta olmalı ve gelen rüzgârlara açık olmalıdır.	27,7 mm/kV
Orta	- Özellikle kirlenici duman oluşturmeyen sanayi tesisleri ve/veya ısıtma tesisleri ile donatılmış mesken yoğunluğu ortalama değerde olan alanlar - Meskenlerin ve/veya sanayi yoğunluğu yüksek ancak sık sık rüzgâra ve/veya yağmura maruz kalan alanlar - Denizden gelen rüzgârlara açık, ancak sahile çok yakın olmayan alanlar (en az birkaç km uzaklıkta)	34,6 mm/kV
Ağır	- Kirlilik üreten ısıtma sistemlerinin yüksek yoğunlukta olduğu büyük şehirlerin banliyöleri ve sanayi tesislerinin yoğunluğu yüksek alanlar - Denize yakın veya denizden gelen kuvvetli rüzgarlara açık olan alanlar	43,3 mm/kV
Çok Ağır	- İletken tozlara ve özellikle kalan iletken birikintiler oluşturan endüstriyel dumana maruz, genellikle ılımlı uzantısı olan alanlar - Sahile çok yakın ve deniz püskürtmesine veya denizden esen çok şiddetli ve kirlenici rüzgârlara açık alanlar, genellikle ılımlı uzantısı olan alanlar - Kum, tuz taşıyan kuvvetli rüzgarlara açık olan, düzenli yağmura maruz kalan ve yağmur düşümü uzun periyotlarla nitelenen çöl alanlar	53,7 mm/kV

Tablo 0.6. Kirlenme şartlarının karşılaştırılması (I-dizileri için anma sızma mesafesi)

ESDD mg/cm ²	CIGRE mm/kV (faz-toprak)			IEEE mm/kV
	Tuzlu Sis	Kizelgur	Sis Dayanımı	Temiz Sis
0.03	32	22	30	23
0.06	38	29	36	30
0.10	42	35	41	34
0.40	58	60	57	41

Endüstriyel kirlerin standardizasyonu için, NaCl'nin eşdeğer miktarı olarak tanımlanan eşdeğer tuz birikim yoğunluğu (ESDD) yaygın olarak kullanılmaktadır. ESDD, kirlenmeye karşılık gelen iletkenliği veren bir parametredir.

IEEE [12] ve CIGRE [13] tarafından ESDD'ye göre genel kir grubu seviyesi ve tanımı Tablo 1.7'de gösterilmiştir. Tabaka iletkenliği ESDD'nin yaklaşık 100 katıdır ve püskürtülen suyun tuzluluk oranı ESDD'nin 140 katıdır. Mesela, 0,05 ESDD değeri için eşdeğer tabaka iletkenliği 5 μ S ve tuzluluk oranı 7 kg/m³'tür.

Tablo 0.7. Kir grubu seviyeleri ve tanımı

Kir Grubu Seviyesi	ESDD, mg/cm ²	
	CIGRE	IEEE
Yok	0.0075–0.015	
Çok Hafif	0.015–0.03	0– 0.03
Hafif	0.03–0.06	0.03– 0.06
Orta	0.06–0.12	0.06–0.10
Ağır	0.12–0.24	> 0.10
Çok Ağır	0.24–0.48	
Çok Aşırı Ağır	>0.48	

Sahil kenarlarında deniz kiri yaygındır ve atlamaya neden olması yönüyle ciddi bir problemdir. Endüstriyel bölgelerdeki kuru tip kir, nemli şartlar altında tehlikeli durumlar gösterebilir. Atlama, tuz ya da endüstriyel asit gibi kirlerin suyla çözünmesiyle meydana gelir. Yaklaşık olarak 0.1 mg/cm² 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.

1.6. Tez Konusuna İlişkin Literatür Özeti

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, birçok ülkede işletmeye koyulmaktadır. Bugünün teknolojisi ile 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.

Enerji iletim sistemlerinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri, kirlenmiş yüksek gerilim izolatorlerinin neden olduğu yüzeysel atlamalardır. Kirlenme atlaması da denilen bu yüzeysel atlamalar, kirli izolator yüzeyinde deşarjların oluşması ve yayılması sonucu meydana gelir.

Bir kirlenme atlaması, izolator yüzeyinin iletken bir kir filmi ile kaplanması sonucu yüzey boyunca akan kaçak akımların açığa çıkardığı ısı enerjisinin oluşturduğu kuru kir bölgelerinde ön deşarjların tutuşması ve ön deşarjların kirli izolator yüzeyi boyunca yayılması olmak üzere iki ana kısımda incelenebilir [14-17].

Araştırmacılar tarafından oldukça kapsamlı saha ve laboratuvar çalışmaları yapılmasına rağmen [18,19], kirlenme olayı ile ilişkili parametrelerin çokluğundan dolayı, kirlenme atlamasının temel mekanizması hala tam olarak açıklanamamıştır. Atlama geriliminin servis şartlarında; gerilimin polaritesi [20], kirlenici maddenin tipi ve parçacık büyüklüğü [16,21] düzensiz ıslanma, yüzey iletkenliği, rüzgar, uzunluk, izolatorün profili, çapı [21], kir tabakası kalınlığı [22] gibi bir çok parametreye bağlı olduğu gözlenmiştir.

Kaçak akımın değeri ile atlamanın meydana gelip gelmeyeceği arasında kesin bir bağlantı kurmak mümkün değildir [23]. Ancak, izolator yüzeyi boyunca kaçak akım değerinin artması, atlama ihtimalinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

Literatürde, kirli yüzeylerdeki atlama olayının modellenmesinde iki temel yaklaşım kullanılmaktadır: Değişken bir uzunluğa sahip, köprülenmemiş kirli bir yüzeye seri kısmi bir ark tutuşmasını sürdürmek için gerekli olan minimum gerilimin oluşumu [16,20,24,25] ve ıslak izolator yüzeyi boyunca ark yayılımı için gerekli kriterin belirlenmesi ve uygulanmasıdır [16,17].

Ayrıca atlama geriliminin belirlenmesine yönelik model ve simülasyon çalışmaları [25-30] potansiyel ve alan dağılımlarını incelemek üzere bilgisayar paket programları üzerine çalışmalar [16,24,26,27], yapay sinir ağı uygulamaları [24,31,32], fuzzy lojik uygulamaları [33], kaçak yolu uzunluğu ile kir direnci arasındaki ilişki [3], kuru band direncinin zamana bağlı değişimi [25], yıldırım darbe gerilimi ve anahtarlama (bağlama) geriliminin etkisi [26] konularında çalışmalar yapılarak, izolator yüzey kaçak akımları, arka seri kir direnci ve kirlenme atlaması problemlerine çözüm aranmıştır.

Atlama olayının teorik modellerine bakıldığında çoğunun statik olduğu görülür. Statik modellerde kuru band oluşumundan sonra meydana gelen kısmi ark statik olarak dikkate alınmıştır [16]. Bu nedenle, statik modeller kesin sonuçları önceden belirlemek için uygun değildir [28]. Atlama çok hızlı bir olay olduğu için, deşarj parametrelerindeki ani

değişikliklerin önemini göz önüne alan dinamik modeller, atlama olayını statik modellerden daha iyi temsil ederler. Geliştirilen bir kaç dinamik model, ya kavramsal [34] ya da istatistikseldir [29] veya kolaylıkla kullanılamayan, deneysel veriye ihtiyaç duyan modellerdir [35,30]. Ayrıca, bu modellerin çoğu gerçek bir izolatör yerine sadece elektrolit şeritlerini dikkate alırlar [35]. Bütün bunlar, izolatörün gerçek şeklini dikkate alacak dinamik bir model geliştirilmesi için yapılacak çalışmaları motive etmiştir [14].

Kirlenmiş izolatörlerde atlamaya yol açan olayın anlaşılabilmesi için pek çok çalışma yapılmıştır. İleri sürülen tüm modellerin ortak özelliği [36,37], deşarj yayılımının ark'a seri kir direnci şeklinde basitleştirilmesidir.

1.7. Tez Çalışmasının Amacı

Bu tez çalışmasında; YG izolatörlerinde yüzey kaçak akımlarının hesabına ilişkin yeni bir algoritma geliştirilmesi ve böylece yüzeysel atlamalar için bir dinamik model oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak belirlenen ve gerçekleştirilen çalışma adımları şunlardır:

1. Konuya ilişkin kapsamlı bir literatür araştırması yapılması
2. Yüksek gerilim izolatörlerinde kirlenmeye bağlı olarak, Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) yardımıyla iki boyutta potansiyel ve alan dağılımlarının hesaplanması
3. İzolatör yüzeyinin açık modelinin (AR Modeli) çıkarılması
4. Açık model üzerinden kaçak akımların hesaplanması
5. Karınca Koloni Algoritması (KKA) yardımıyla yüzey kaçak akımlarının hesabı için bir algoritma geliştirilmesi
6. Matlab ortamında izolatör yüzeyinde oluşan kaçak akımları belirleyen ve temel yaklaşım olarak KKA'yı içeren bilgisayar programlarının hazırlanması.
7. Model üzerinde elektrik alan kriterlerinin uygulanması ve atlama gerilimi değerinin hesaplanması.
8. Bir deneysel sistem oluşturulması ve hesabı yapılan izolatör üzerinde kirlilik deneylerinin uygulanması
9. Elde edilen teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılarak irdelenmesi

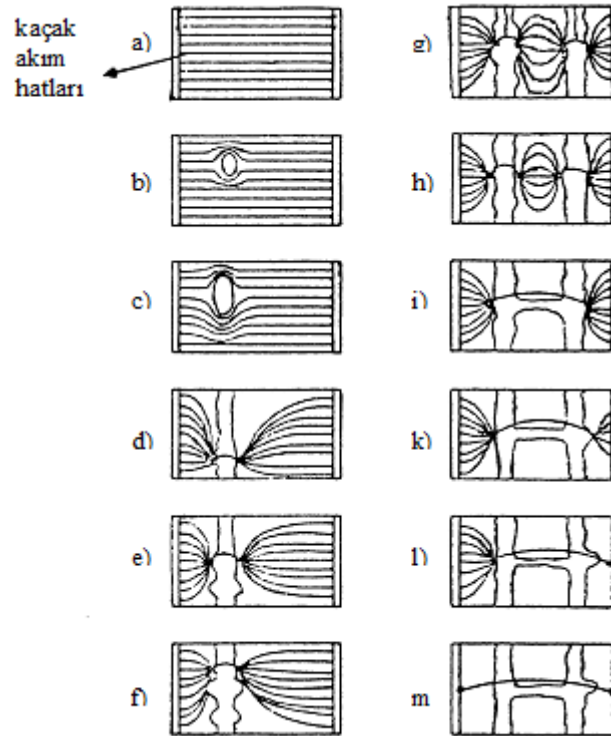
2. YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNDE YÜZEYSEL ATLAMA

2.1. Yüzeysel Atlamanın Oluşumu

İzolatör yüzeyi üzerinden atlama, yani yüksek iyonizeli bir arkın oluşumu, Şekil 2.1’de gösterilen birkaç aşama sonucunda gerçekleşir.

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 bandlar oluşturur (Şekil 2.1.d).
4. Kuru bandlar üzerinde düzensiz alan şiddeti dağılımı nedeniyle kısmi arklar başlar. Yerel ısı konsantrasyonu, kısmi arkların pozisyonlarını kuru bandlar boyunca yana doğru değiştirmelerine sebep olur (Şekil 2.1.d-e-f).



Şekil 2.1. Kirlenme atlamasının safhaları

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 etkisi ile değişik yönlerde yayılır (Şekil 2.1.i). Bu arada ark sönümü ve dolayısıyla ikinci safhaya dönüş olabilir.

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 hareketleriyle değerlendirilebilir. İkinci kısım için, son teorik açıklamalar deneysel sonuçlarla şaşırtıcı bir benzerlik sağlar. Kaçak yolu (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.

Yukarıda açıklanan atlama aşamaları Tablo 2.1.'de özetlenmiştir.

Tablo 2.1. Atlama olayının gelişimi

Safha	Özelliği		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
	Işıltı ve buhardeşarjı		İletkenlik artar	Işıltı ve parazit	Küçük ve dalgalı
5	(a) Ark büyümesi	Isıl	Kuru bant daha büyür	Ark büyür	Yavaş artış
		Elektrostatik	Artık kurumaz	İzolatörde atlama	Hızla artar
	(b) Atlama		Kısmen kurumuş	Ark	Kısa devre

2.1.1. Kuru Bant Oluşumu ve Ön Deşarjların Başlaması

Bu olay, atlamanın ikinci safhasıdır. Kirli parçacıkların, hava boşluklarının delinme gerilimlerini azalttığı bilinmektedir [38].

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 [39]. 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.

Kuru bölgelerin oluşumu, ıslak film tabakası üzerinde ısı depolanması nedeniyle dir. 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 [40]. 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 birdeşarjla köprülenirse, diğer bir kuru bant üzerindeki gerilim düşümü artar ve bu bölgelerde birdeşarj zincirinin başlamasına neden olur. Böylece, kısa sürede izolatör yüzeyinde birçok kısmideşarj meydana gelir.

2.1.2. Deşarj Oluşum Aşamaları

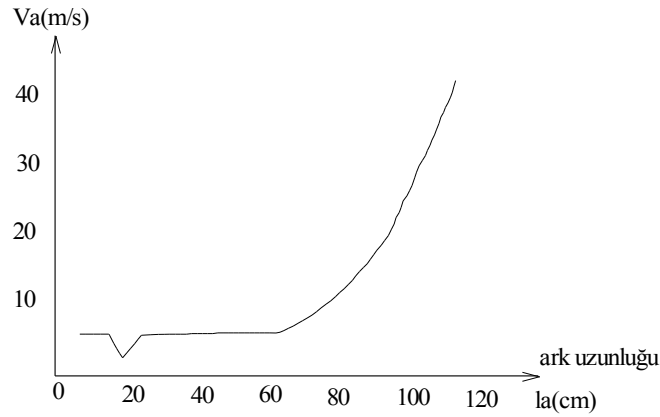
Tüm bir kuru bant oluştuktan sonra akımın kesilmesi veya havanın delinmesi bu bölgeyi köprüleyen ve akımı devam ettiren bir ark oluşturacaktır (Şekil 2.1.g). Bunun yanı sıra

arkın gaz plazmasındaki akım, yüzey tabakasındakinden tamamen farklı karakteristiklere sahiptir. Bunlardan en önemlisi ark akımının ısıyı, yüzey tabakasında 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. Tablo 2.1’de açıklanan 4. safha, bu ihtimali gösterir.

2.1.3. Ark’ın Büyümesi ve Atlamanın Gerçekleşmesi

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, akımın ısı etkilerinden dolayı oluşur.



Şekil 2.2. Ark büyümesinin değişik safhalarında ark hızı

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.

2.2. Yüzeysel Atlama Gerilimi ve Hesabı

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

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

ve yüzey özdirenci

$$\rho_s = \rho / h \quad (2.2)$$

ile verilir.

Yüzey iletkenliği 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 sayısal yöntemlerle bulunabilir.

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

Burada L toplam kaçak yolu mesafesini, dl kaçak yüzeyi boyunca uzunluk elemanını, $D(l)$ ise dl 'ye tekabül eden izolatör çapını göstermektedir.

Bu durumda kir tabakasının direnci;

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

ile hesaplanır.

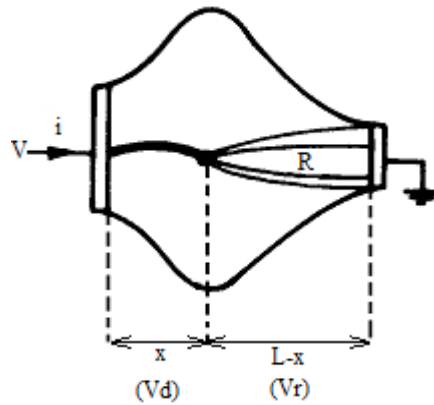
Bir izolatör üzerindeki kir tabakasının yüzeysel iletkenliği düzensiz olabilir. Böyle bir izolatöre bir V gerilimi uygulandığında izolatör yüzeyinden bir kaçak sızma akımı akacaktır. Eğer izolatör, görülebilir yüzey iletkenliğine (σ_{sa}) eşit olan sabit bir yüzey iletkenliğine sahip düzensiz bir kir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

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

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 [41].

Şekil 2.3, başlangıçta homojen kirle kaplı olan, daha sonra kuru bant oluşup ark ile köprülenen düz bir yüzeyde tutuşan ark için ideal açık modeli (AR modeli) göstermektedir. Analitik çalışmalarda atlama problemi, çoğunlukla 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 ark deşarjı için ideal açık model

Atlama problemini iki elektrot arasında kirli bir izole yüzeyde tutuşan bir ark şeklinde basitleştiren açık modelde, ark ve ark'a seri kir tabakası olmak üzere iki bölge vardır. Ark boyunca gerilim düşümü

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

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 başlayarak bir doğru boyunca yayıldığı ve V_{ka} 'nın sabit olduğu kabul edilmiştir.

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

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

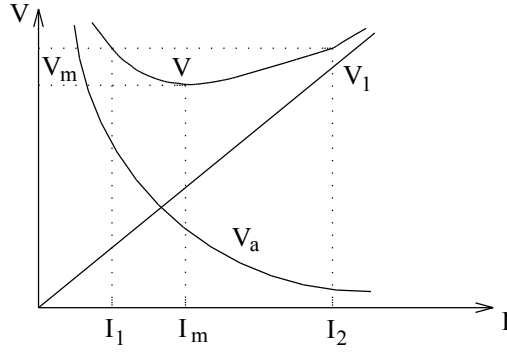
olur. R direncinin artan ark boyu ile azaldığı $\frac{\partial R}{\partial x} < 0$ kabul edilebilir. R direnci ayrıca, kir filminin ıslaklığına bağlı olarak değişir. Kaçak akımdan dolayı açığa çıkan ısı enerjisi ($dw = i^2.R.dt$) kir filmini ısıtarak çözünebilir iletken maddelerin çözünmesine ve kir filminin iletkenliğinin artmasına yol açabileceği gibi, fazla enerji nemin buharlaşmasına, dolayısıyla artmasına da sebep olabilir. Bu nedenle R direnci hem ark boyuna hem de ısı enerjisine 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 $(\frac{\partial R}{\partial w}dw)$, 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 [42].

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

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

yazılabilir. Denklem (2.9)'a “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).



Şekil 2.4. İdeal modelin gerilim eğrileri

$$I_m = \left[\frac{A \cdot n \cdot x}{R} \right]^{\frac{1}{1+n}} \quad (2.10)$$

I_m 'nin bu değeri denklem (2.9)'da yazılarak,

$$V_m = K \cdot [x \cdot R^n]^{\frac{1}{n+1}} \quad (2.11)$$

elde edilir. Burada, $K = (n^{(1/1+n)} + n^{(-n/1+n)}) \cdot A^{(1/1+n)}$, dir [43]. Tamamen farklı yaklaşımlar kullanarak aynı sonuca ulaşmıştır. Yaklaşımlardan biri enerji dengesi denkleminin çözümü, diğeri de boyut analizi üzerine kuruludur.

2.3. Yüzeysel Atlama Geriliminin İzolatör Modelleri Yardımıyla Hesabı

Kirlenme atlamasıyla ilgili tüm çalışmalar, servis şartları altındaki izolatörlerde atlamayı önlemeye yöneliktir. Buna uygun olarak deneysel veya matematiksel modelle yapılan bir araştırmanın amacı;

- Verilen bir izolatörün farklı kirlilik şartlarında dielektrik dayanımının belirlenmesi (mutlak performans),

- b. Verilen bir kirlilik derecesi için en iyi izolatörün seçilmesi (bağıl performans),
 - c. İstenen performans için en iyi izolatör tasarımının gerçekleştirilmesi,
- olmalıdır [15].

Servis şartlarındaki atlama mekanizmasının karmaşıklığı atlama olayı için matematiksel bir model çıkarılmasını oldukça zorlaştırır. Bu nedenle önerilen modellerde bazı ihmaller ve kabuller yapılmıştır. Kirlenmiş izolatörlerin atlama gerilimini hesaplayan teorik modellerin iki temel amacı vardır:

- a. Atlama nedeniyle oluşan fiziksel işlemlerin daha iyi anlaşılması,
- b. Alan ve laboratuvar tecrübesiyle geliştirilen modelin, atlama gerilimini önceden belirlemesi ve böylece deneylerin sayısının azaltılması [14].

Bir kir tabakasının oluşumunda gereken kuvvetlerin temel özellikleri iyi bilinirken, çevresel kirlenme ve izolatör arasındaki etkileşim çok karmaşık olduğu için, matematiksel modelleme büyük ölçüde zorlaşmaktadır. Kir tabakası araştırması, sadece deneysel bir ark üzerine yapılmıştır.

Kirlenmiş bir yüzey üzerinde meydana gelen ark olayı çok karmaşık olduğundan, matematiksel modellemeyi geçerli kılmak için birçok basitleştirici kabullerin yapılması zorunludur. Bu karmaşıklıklar; izolatör şeklinin ve kir örneklerinin düzensizliğini, düzensiz ıslanma ve termal işlemlerden dolayı yüzey öz direncinin değişkenliğini, izolatör yüzeyinin çevresindeki ark yanmasının düzensizliğini, çok yönlü ark oluşumunu, kaynak devre parametrelerinin izolatör davranışı üzerindeki etkisini vb. içerir. Kirli bir izolatörün atlama gerilimi, belirli bir dağılım ile istatistiksel bir biçimde değişken karakteristiğe sahiptir.

Kirli yüzeylerdeki atlama olayının modellenmesinde iki temel yaklaşım vardır: Değişken bir uzunluğa sahip, köprülenmemiş kirli bir yüzeye seri kısmi bir ark tutuşmasını sürdürmek için gerekli olan minimum gerilimin oluşumu ve ıslak izolatör yüzeyi boyunca ark yayılımı için kriter, arkın uzunluğu artsa bile, uygulama gerilimi arkın devam etmesi için yeterince büyük değilse ark sönecek ve atlama oluşmayacaktır. Diğer yandan, arkın izolatör kaçak yolunun büyük bir kısmını kapsayarak yayılması için birkaç mekanizma gereklidir. Tıkanan arklar ve azalan atlama tehlikesi suretiyle, sızma yolu boyunca nispeten kısa bir yol ile kısmi arklar durdurulmadığı takdirde, seri kir tabakası kuruyuncaya kadar yanmaya devam edebilir. Temel nokta, yukarıdaki görüşlerin atlamının meydana gelmesi için belirleyici faktör olup olmayacağıdır.

2.3.1. Statik Modeller

Atlama olayı üzerinde çalışan araştırmacılar tarafından pek çok statik model ileri sürülmüştür:

Wilkins [37] verilen bir izolatorü eşdeğer dikdörtgen bir modelle temsil etmiştir. Bu modelin elde edilmesinde; izolator ve model sızma uzunluklarının (elektrotlar arası en kısa uzunluk) ve yüzeyleri aynı iletkenlikli kirle homojen olarak kaplanan izolator ve model terminalleri arasında ölçülen dirençlerin eşit olduğu kabulleri yapılmıştır

Rumeli [23], bir dikdörtgen model yerine, boyu izolatorün sızma boyuna eşit ve eni

$$a(l) = \pi \cdot D(l) \quad (0 \leq l \leq L) \quad (2.12)$$

bağıntısına göre değişen eşdeğer düzlemsel bir model ile tespit edilmesi halinde, atlama olayında izolatorün fiziksel şeklinin gerçeğe daha uygun olacağı görüşünü ortaya koymuştur. AR Modeli olarak adlandırılan bu model, izolatorün gerçek açık modelidir.

Bendapudi [44] tarafından sunulan dairesel şerit modelde, uygun bir gerilim tatbik edilen kir tabakası ile bir çubuk elektrod arasındaki ve topraklanmış bir elektrod ile çubuk elektrod arasındaki hava aralığından geçerek oluşmuş bir deşarj ile σ_s yüzeysel iletkenliğinin düzenli kirlenmesinin dairesel bir şeridi dikkate alınmıştır.

Alston ve Zoledziowski [36] ve Hampton [40] tarafından ileri sürülen modellerin ortak özelliği, deşarj yayılımının arka seri kir tabakası direnci şeklinde basitleştirilmesidir.

Boheme ve Obenaus [50], sabit bir gerilim uygulanmış ıslak bir kir tabakasını temsil etmek üzere, x deşarj uzunluğu ve seri bir direncin birleştirilmesiyle elde edilen düz bir model dikkate almışlardır. Obenaus ark gerilimini

$$V_{ark} = x \cdot N / I^n \quad (2.13)$$

şeklinde ortaya koymuştur. Burada; I kaçak akım, n ve N statik deşarjın karakteristik sabitleridir. Deşarjların havada tutuşmasını incelemek için, $1 \geq n \geq 0.45$ ve $200 \geq N \geq 3$ arasında değiştirilen n ve N değerlerinin ölçümlerden bulunması gereklidir.

Rizk [43], değişken gerilim altında, akım sıfır iken deşarjın söndüğü ve tekrar tutuştuğu gerçeğinden yola çıkarak, dielektrik kırılma üzerine kurulmuş bir model ileri sürmüştür.

Rizk, bir izolatör boyunca herhangi bir anda bir AA. deşarjının sürmesi için gerekli minimum atlama gerilimi (U_c), sızma uzunluğu (L) ve birim boyun kir direnci (r_p) arasında bir ilişki elde etmiştir.

$$U_c/L=23.r_p^{0.4} \quad (2.14.)$$

Claverie ve Porcheron [18] tarafından ileri sürülen model, U_{cx} minimum deşarj yeniden tutuşma gerilimi ile I deşarj akımı arasındaki deneysel bir ilişki üzerine kurulmuştur.

$$U_{cx}=800.x/ \bar{I} \quad (2.15)$$

AA'nın maksimum değerinde ark geriliminin yaklaşık ifadesi

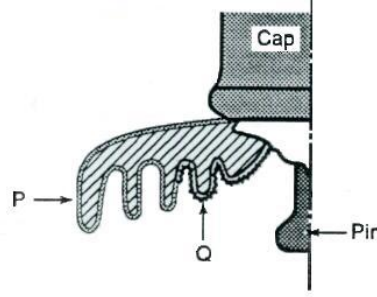
$$V_{ark}=100.x/ \bar{I} \quad (2.16)$$

olup, kritik atlama gerilimi denk.(2.17)'de verilmiştir [28].

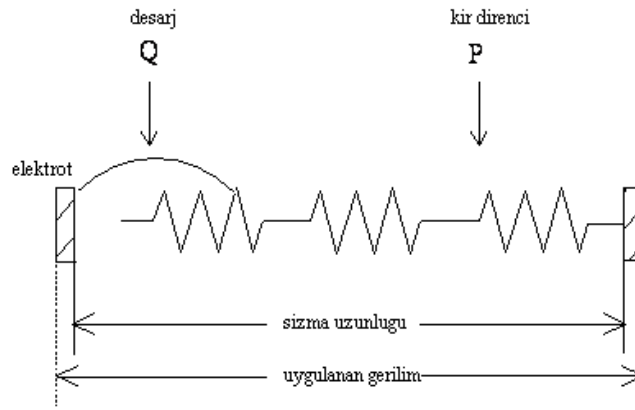
$$U_c/L=47,6.^3 \bar{r}_p \quad (2.17)$$

2.3.2. Dinamik Modeller

Şekil 2.5'de gösterilen, kuru band oluşmuş kirli bir izolatör, Şekil 2.6'da gösterildiği gibi deşarja seri yüksek bir direnç şeklinde modellenmiştir. Bu model, kirli izolatörlerdeki atlama olayının ilk teorik (söndürme teorisi) çalışmasını yapan Obenaus'un [52] ortaya koyduğu kavram üzerine kurulmuştur.



Şekil 2.5. Kuru band oluşmuş kirli izolator
(P: ıslak kir tabakası, Q: Bir ark ile köprülenmiş kuru tabaka)



Şekil 2.6. Kirli izolatorün Obenaus modeli

Sundararajan ve Gorur [14] kirli izolator yüzeylerinde oluşan olayları açıklayabilmek için dinamik bir model ortaya koymuşlardır. Kirlenme probleminde kuru bandlarda oluşandeşarjlar ve kir tabakasının direnç değişimi önemlidir. Obenaus [52], kuru band oluşumunun yüzey iletkenliğine ve atlama gerilimine olan etkisini adım adım incelemiştir. Bu inceleme Neumarker [51] tarafından, kir tabakasının her birim boyunun düzenli bir kir direncine sahip olduğu kabulü yapılarak tamamlanmıştır. Ancak pratikte izolator yüzeyindeki kir dağılımı düzensiz bir yapıya sahiptir. Ayrıca kir tabakasının düzensiz olarak ıslanması ve kuruması, çok safhalı kuru bandların oluşmasına yol açar. 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

birçoğunun savunulabilir tarafları vardır. Mesela, başlangıçta çok sayıda ark görülebilir, ancak sadece bir ark büyüyerek atlamaya neden olabilir. Aynı şekilde arkın tekrarlanabilmesi ve yeniden oluşabilmesi için kir dağılımının düzenli olduğu kabulünü yapmak da uygundur.

Atlama gerilimleri aşağıdaki adımlarda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Adım 1: Gerilim eşitliği,

$$V_s = V_c + V_a + R_{ark} \cdot L_{ark} \cdot I + I(R_{kir} + R_s) \quad (2.18)$$

dir. Burada V_s uygulanan gerilim, V_c katod gerilim düşümü, V_a anod gerilim düşümü, R_{ark} birim uzunluğun ark direnci, L_{ark} ark uzunluğu, I kir tabakasından akan akım, R_{kir} kir tabakası direnci ve R_s kaynağın iç direncidir.

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

$$I = \frac{V_s - (V_c - V_a)}{R_{ark} \cdot L_{ark} + R_{kir}} \quad (2.19)$$

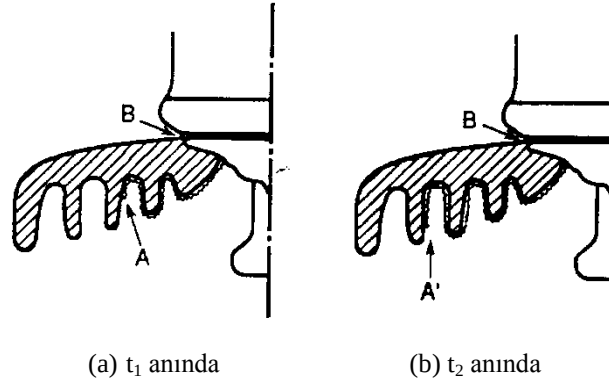
ile verilir. $t=0$ anında; σ (μs) yüzey iletkenliği olmak üzere verilen bir V_s uygulama gerilimi ve kir yoğunluğu için başlangıç değerleri kullanılarak akım değeri hesaplanır.

Kir direnci,

$$R_{kir} = \frac{1}{\sigma} \cdot F \quad (2.20)$$

yardımıyla bulunur. Burada F form faktörüdür.

Form faktörü ark uzunluğuna bağlı olarak her zaman diliminde, nümerik integrasyon teknikleriyle hesaplanmıştır. Sızma uzunluğu değişimi daima arkın yayılımına ve form faktörüne bağlıdır. Mesela; t_1 anında ark A pozisyonunda ise (Şekil 2.7(a)), form faktörü A-B kısmı için hesaplanır.



Şekil 2.7. Kirlenmiş izolatörlerde deşarj yayılımı

$t_2=t_1+dt$ anında ark, Şekil 2.7(b)'de A' ile gösterilen yeni pozisyona hareket etmişse, form faktörü A'-B kısmı için hesaplanır. Böylece, atlama geriliminin hesabı yapılırken izolatör geometrisi daima dikkate alınmış olur.

Adım 3: Bu akım için, ark gerilim gradyenti

$$E_{ark}=A.I^{-n} \quad (2.21)$$

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

Adım 4: Kir gradyenti

$$E_k=A^{\frac{1}{1+n}}.R_k^{\frac{1}{1+n}} \quad (2.22)$$

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

$$R_k=\frac{R_{kir}}{L-L_{ark}} \quad (2.23)$$

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

olması için yeterlidir. Aksi takdirde ark sönecektir. Bu nedenle, ark yayılım kriteri $E_k > E_{ark}$ için kullanılır.

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

Ark uzunluğu sızma uzunluğundan daha küçük ise ve ark yayılım kriteri sağlanmışsa, ark direncindeki dinamik değişiklik sayısal bir diferansiyel teknik kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\frac{dR_{ark}}{dt} = \frac{R_{ark}}{\lambda} - \frac{R_{ark}^2 \cdot I^{n+1}}{\lambda \cdot N} \quad (2.24)$$

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

$$R_{ark} (\text{yeni}) = R_{ark} (\text{eski}) + dR_{ark} \quad (2.25)$$

denklemi ile hesaplanır. Yeni akım değeri, en son değerler için bilinen yeni form faktörü ve kir direncinden bulunur. Yürüyen ark uzunluğu ve bilinen bir hareket kabiliyeti için hız (hareket x E_{ark}) bilinmekte, zaman $t_2 = t_1 + dt$ şeklinde hesaplanmaktadır. Deşarj yayılım kriteri pratik değerler için kontrol edilerek atlama gerilimleri hesaplanabilir. Bu işlem her kirlilik derecesi için tekrarlanmalıdır [16].

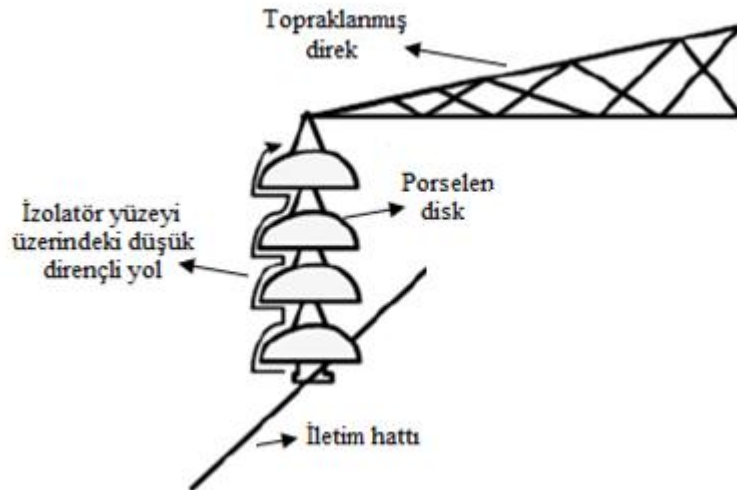
3. İZOLATÖR YÜZEY KAÇAK AKIMLARI

3.1. İzolatörlerde Kaçak Akımların Önemi

3.1.1. Porselen İzolatörler İçin Kaçak Akımların Önemi

İzolatörlerde kaçak akımlar, her zaman güvenlik açısından tehlikeli durum oluşturmazlar. Bununla beraber, iletim hatlarının kurulumu ve tasarımında hesaba katılması gereken en önemli faktörlerden biridir. Bunun sonucu olarak, izolatörün kendisi kaçak akım artışıyla beraber performansında büyük ölçüde etkilidir.

İzolatör içinden akım akmaz fakat izolatör yüzeyinde Şekil 3.1’de görüldüğü gibi nispeten düşük dirençli bir yol mevcuttur [45]. Bu yol aslında izolatör yüzeyi ile hava arasında ara yüzdür. Bu yolun direnci izolatör civarındaki havanın direncinden daha düşüktür ve bunu yüzey kaçak akım yolu olarak isimlendirmek daha doğrudur. Bu yol üzerinde küçük miktarlarda kaçak akımlar akar ve hiçbir şekilde tamamen ortadan kaldırılamaz. Bununla beraber, modern izolatörlerin tasarımıyla kaçak akım seviyeleri çok küçük değerlere indirilmiştir.

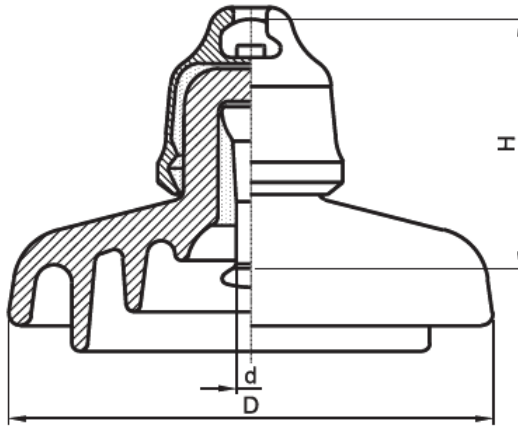


Şekil 3.1. Porselen izolatörler ve yüzey kaçak akım yolu

Yüksek gerilim izolatörlerinin, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi farklı çap ve boyutlarda diskler şeklinde yapılması daha kullanışlı bir yapıdır. Bu izolatörler, herhangi bir gerilim

seviyesine uygun izolatör elde etmek için birlikte zincir şeklinde bağlanabilir. Böylece oluşturulan yüzey, kaçak yolu mesafesinin ve dolayısıyla kaçak yolu direncinin yükselmesi anlamına gelir. Kaçak yolu direnci, izolatörün enerjili ucundan topraklı ucuna kadar olan yüzey uzunluğuyla doğrudan orantılıdır. Kaçak yolu direncinin artmasıyla kaçak akım miktarı azalır. Eğer böyle oluklu yapılar kullanılmazsa, o zaman daha fazla disk ekleyerek izolatör dizisinin tüm uzunluğunu arttırma zorunluluğu ortaya çıkar. Bu maliyet açısından uygun bir yaklaşım değildir. Fakat bunun oluşturacağı daha büyük problem, izolatör dizisine bağlanan iletkenlerin sallanmasındaki artıştır. İletkenlerin daha şiddetli titreşim yapmalarına ve hatta kopmalarına sebep olabilir.

İzolatörün üst kısmında oluk yapısı kullanıldığında, bu oluklarda şiddetli kir biriktiği, toz ve tuz kirlerinin kolayca oluklara dolduğu ve yağmurla asla yıkanmadığı görülmüştür. Bu nedenle günümüzde, üst kısmı oluklu porselen izolatör imal edilmez.



Şekil 3.2. Zincir tipi izolatör elemanı

Şekil 3.2’de gösterilen biçim, pek çok araştırma ve saha deneyimlerinden sonra ortaya çıkan sonuçtur. Kir birikiminin artmasından dolayı kaçak akım tüm porselen izolatörlerde zamanla artar. Bu artış, bakım zamanına ulaşınca veya atlama ile hasar oluşuncaya kadar devam eder. Bakım, izolatörü güvenli seviyede tutmak için her zaman gereklidir. Kaçak akım; yağmur, nem, sıcaklık gibi çevresel değişimlerden dolayı geçici olarak değişkendir. Fakat bu değişimler, kir birikimi çok yükselmedikçe dikkate almayı gerektirmez.

3.1.2. Silikon Kompozit (Polimer) İzolatörler İçin Kaçak Akımların Önemi

Ticari olarak yaklaşık 25 yıl önce sunulan silikon kompozit izolatörler için kaçak akım, hesaba katılması gereken önemli bir faktördür. Bununla beraber, bu izolatörler tasarlanırken yüzey kaçak direncinin çok büyük olduğu varsayılır. Bu yapı, ana destek elemanı olarak fiberle desteklenmiş, dışı polimerik kauçukla kaplanmış bir çubuğa sahiptir. Tüm yapı, tek parça bir izolatör yapmak için iki uçtan birleştirilerek bağlanır. Şekil 3.3’de gösterildiği gibi tüm izolatör tek parça olduğundan dolayı kompozit izolatörler olarak adlandırılır.

İzolatörlerde ilk kullanılan polimerler; bisfenol ve cycloaliphatic epoksi reçinelerdir. 1940’larda ticarileştirilen bisphenol epoksi reçineleri izolatörde kullanılan ilk polimer örnekleriydi ve günümüzde de dahili ve harici uygulamalarda görülmektedir. Cycloaliphatic epoksiler (CE) 1957’de tanımlandı. Bunlar, karbon oluşumuna karşı dayanıklılığıyla bilinen bisfenolün üstün nitelikli türevleridir.

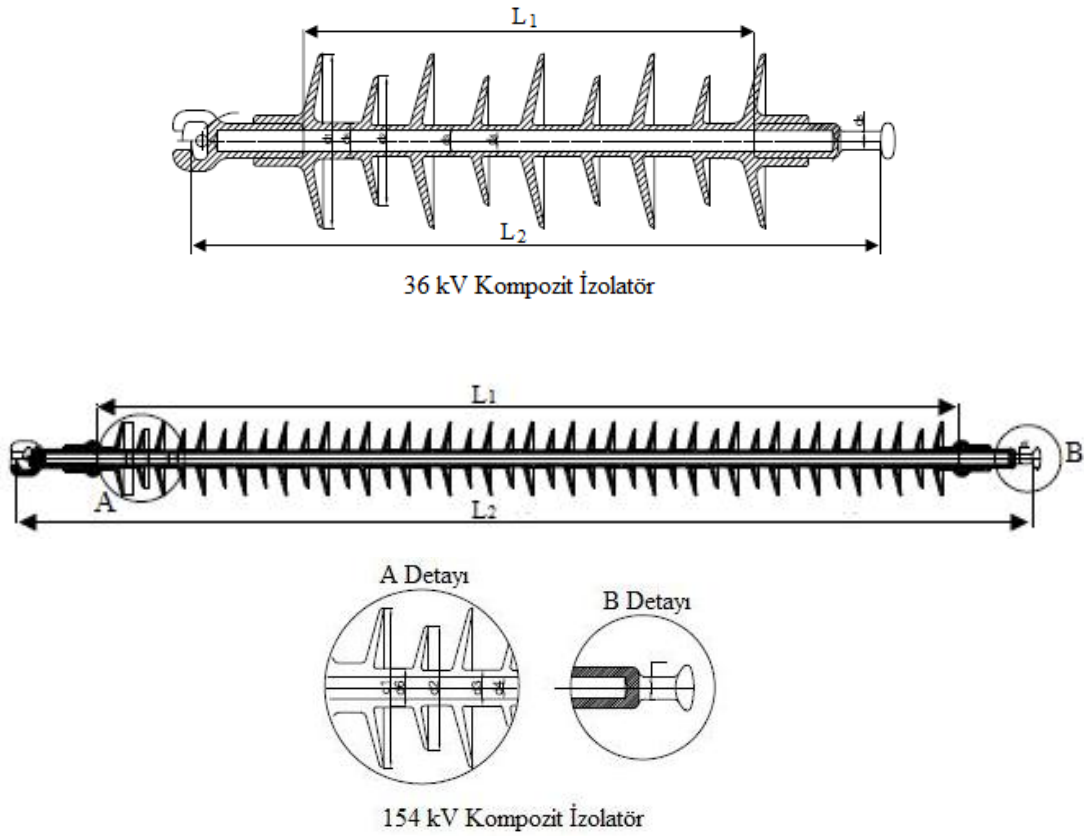
Polimer izolatörler, ağır çevre şartlarında seramik ve cam izolatörlere nispeten daha iyi performansa sahip; hafif, ekonomik ve bakım gerektirmeyen özellikleriyle avantajlıdır. Bu artılarıyla dünyada her geçen gün popülaritesi artan kompozit izolatörler, seramik ve cam izolatörlerin yerini almaya devam etmektedir.



Şekil 3.3. Kompozit izolatörler

Genellikle bir kompozit izolatör bir esas malzemeyi, bağlantı elemanını ve bir kauçuk yalıtkan gövdeyi içerir. Esas malzeme, çekme gücünü dağıtmak için fiberglas ile kuvvetlendirilmiş plastiktir (Fiber-glass Reinforced Plastic -FRP). FRP’de kullanılan güçlendirilmiş fiber, cam ve epoksi reçinedir. Kablolara ve direklere gerilmeyi ileten

bağlantı elemanı, dövülmüş çelik, dövülebilir dökme demir veya alüminyum gibi malzemelerden yapılır. Kauçuk gövde elektriksel yalıtımı sağlar ve FRP'yi doğa şartlarından korur [49,50,51]. Gövde malzemesi olarak önce epoksiler kullanılmış, fakat bazı kötü deneyimlerden sonra hidrokarbonlar ve silikonlar hakim olmuştur [52,53]. Bugün, yaygın gövde malzemeleri silikon kauçuğun farklı tipleri olan EPR ve EPDM'dir. Alaşım kauçuklar olarak da isimlendirilmektedir [54]. Şekil 3.4 orta ve yüksek gerilimlerde kullanılan kompozit izolatörlerin yapısını göstermektedir.



Şekil 3.4. Orta ve yüksek gerilim kompozit izolatörlerin yapısı

1960'lı yıllarda imalatçılar ilk nesil ticarileştirilmiş iletim hattı polimer izolatörlerini ürettiler. 1964'ün başlarında Almanya, İngiltere, Fransa, İtalya ve Amerika'da iletim hatlarında kullanılmak üzere harici tip polimer izolatörler geliştirildi. Saha deneyleri için izolatör elemanları 1967'de Almanya'da üretildi. 1970'lerde İngiltere'de deneysel olarak kesici istasyonlarda 500 kV buşinglerde ve 115 kV buşinglerde kullanıldı. Bunlar yüzeysel hasar ve delinmelerle başarısız olmuştur. Tesisler önceleri bu izolatörleri nakil hatlarının kısa bölmelerinde ve kritik noktalarda; çoğunlukla da deneme ve veri toplama amaçlı

kullanmışlardır. Kompozit izolatörler büyük ölçüde 1980'lerde kullanılmaya başlanmış ve kullanımı 1990'larda hızla yükselmiştir [55,56]. 1980'de, Frukawa Electric fazlar arası ayırıcılar ile normal izolatörlere göre daha hafif ve esnek olan kompozit izolatörlerin geliştirilmesiyle uğraşmıştır.

1991'de ilk silikon kauçuk gövdeli kompozit izolatör 66 kV için ara tutucu görevinde kullanılmış ve 1994'de bunların kullanımı 275 kV servislere kadar yaygınlaşmıştır (bir parçanın uzunluğu 7 m). Mükemmel kirlenme ve ıslanma performansı, ağırlığa yüksek dayanım oranı, çok yüksek direnci, taşıma ve kurulum kolaylığı ve özellikle yüksek ve çok yüksek gerilim hatlarında geleneksel seramik ve cam izolatörlere göre açık maliyet üstünlüğü ile kullanımlarında büyük artış olmuştur [57].

Polimerik kauçuğun birçok türü izolatör imalatçıları tarafından kullanılmaktadır. Fakat onların tamamı kauçuk ailesine ait olduğundan, kaçak akımı engelleme kabiliyetine sahiptir. Bu izolatörlerde, elektrik alanı ve dolayısıyla yüzey üzerindeki gerilim dağılımı düzgündür. Bu özellik, tüm izolatör yüzeyinin enerjili ucundan enerjisiz ucuna kadar aynı malzeme ve bir kalıpta şekillendirilmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

Zamanla kir birikiminin artması kompozit izolatörlerdeki kaçak akımı her zaman arttırmaz. Buna karşılık bu izolatörlerde kolay anlaşılmayan karmaşık olaylar vardır. Kompozit izolatörler doğada organik polimerik materyallerden yapılır. Tüm organik bileşenler doğal çevrede çürürler. Bu nedenle kompozit izolatörler de çürürler. Bu işlem izolatörlerin yaşlanması olarak isimlendirilir [58].

İzolatördeki kaçak akım, yüzey direncine, yüzey direnci ise izolatörün hidrofobik (suyun damlalar halinde tutunabilmesi) özelliğine bağlıdır. Bu izolatörler bir döngüsel azalma ve daha sonra zamanla hidrofobik iyileşme gösterir. Bundan dolayı kaçak akım sürekli artmaz. Aslında kaçak akım, önce bir yıl kadar yükselir ve daha sonra azalmaya başlar.

Kompozit izolatörler için örnek olarak, kaçak akım servisteki birinci yılda 5 mA iken, daha sonraki 2 yılda 2 mA olması beklenebilir.

Silikon kompozit izolatörler, seramik izolatörlerle karşılaştırıldığında önemli üstünlüklere sahiptir [59]:

- Hafif ağırlık-daha düşük yapı ve nakliye maliyetleri
- Çok yüksek direnç
- Ağırlığa yüksek dayanım oranı
- Daha iyi kirlenme performansı

- Geliştirilmiş iletim hattı estetiği

Kompozit polimer izolatörlerin başlıca olumsuz yanları ise şunlardır:

- Kuru bant arklarından ve hava ile temasından dolayı yüzeyinde kimyasal değişimler meydana gelir [60].
- Erozyona ve sonunda izolatörün kullanılamaz hale gelmesine yol açabilecek izlerin oluşmasına maruz kalır [61].
- Ortalama ömrünü hesaplamak zordur.
- Uzun süre güvenilirli olup olmadığı bilinmez.
- Arızalı izolatörün tespiti zordur [52].

Sonuç olarak kompozit izolatörlerin kullanımı faydalarına göre değişir [55]. Fakat yaygınlaşmasının en önemli nedenlerinden biri, ağırlığının düşük olmasıdır. Kompozit izolatörün ağırlığı eşdeğer porselen ve cam tipinin sadece %10'u kadardır. Kompozit izolatörler daha hafif direk tasarlamaya veya mevcut hatları yükseltmeye imkan verir [62,63,64,65].

Silikon kauçukların, yağmur sularını damla halinde tutabilme kapasitesi yüksek olduğundan; bu özellik kompozit izolatörleri cam, porselen ve EPDM kauçuktan daha iyi yapar. Çünkü bu hidrofobik özellik, izolatör yüzeyinden hızlıca su akışını ve dolayısıyla iletkenlik artışını engellemek suretiyle, yalıtım sisteminin yalıtkanlık düzeyinin aniden düşmesini önler. Böylece daha düşük hat kayıpları ve iletim hatlarında kararlı atlama değerleri sağlanmış olur.

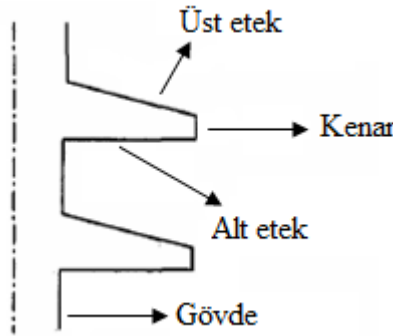
Polimer izolatörlerin hidrofobik özelliği özellikle ıslak ve kirli şartlar altında izolatörün performansına etki edebilir [66,67,68]. Servis deneyimi ve laboratuvar testleri silikon kauçuk ve EPDM kauçuk izolatörlerin yüzeylerinin başlangıçta hidrofobik özelliğini kaybettiğini ve uzun süre kuru band arklarına maruz kaldığı zaman hidrofobik oluştuğunu göstermiştir. Malzeme, ıslak ve kirli şartlara maruz kalması durumunda izolatör yüzeyindeki hidrofobik metil grupların (CH_3) yeniden yönelimi nedeniyle hidrofobik özelliğini kaybedebilir. Bazı araştırmacılar, polimer izolatörlerin ıslanabilirliği üzerine çeşitli çalışmalar yapmışlardır [69,70,71].

Hidrofobik özelliğin kaybolmasına, iz ve erozyon oluşumuna ve en sonunda atlamaya yol açan yaşlanma, polimer izolatörlerin başlıca problemidir. Her ne kadar kaçak akım, yaşlanmanın sebebi olsa da yüzey bozulmasının bir göstergesi olarak kullanılabilir. Bu yüzden, kaçak akım dalga şekillerinin parametreleri genellikle polimer izolatörlerin performansının belirlenmesinde kullanılmıştır. Kaçak akım parametreleri ile kir seviyesi ve

yüzey bozulmaları (hidrofobik özelliğin kaybolması, kuru band atlamaları ve erozyon gibi) arasındaki ilişkiyi kurmak için birkaç deneme yapılmıştır [72, 73, 74]. Hidrofobik kaybın oluşmasından ve gövdenin zarar görmesinden önce kaçak akım düzeyinin belirlenmesi önemlidir [75].

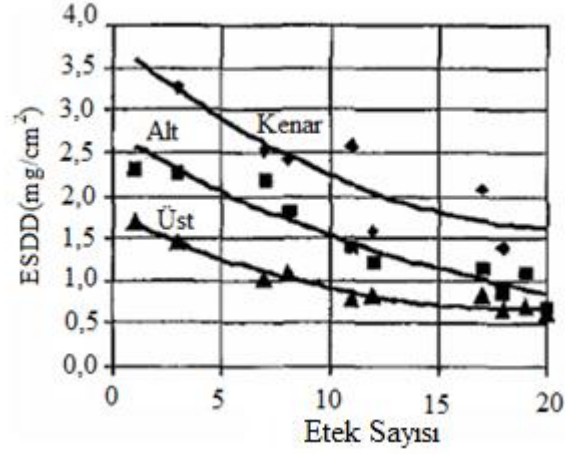
Polimer izolatörlerin kirlenme performansı büyük oranda malzeme performansına bağlıdır. Malzeme değerlendirmesinde göz önüne alınması gereken iki önemli faktör vardır. Birincisi, polimerlerin nispeten zayıf ısıl kararlılığı nedeniyle kuru band arkları, izolatör atlamasından hemen önce erozyon veya izler şeklinde eteklerin bozulmasına neden olabilir. İkincisi, silikon kauçuk sürekli elektrolitik film tabakasının oluşmasına karşı koyar; böylece EPDM ve porselenden daha iyi şekilde kaçak akımı sınırlar [76]. Bu, silikon kauçuk izolatörün üstün servis performansının sonucudur [77].

Bazı izolatörler iki etek çapında yapılırlar. Etek çapları izolatör boyunca sıra ile yapılırlar. Gerçek izolatörlerin atlama mekanizması daha karmaşıktır, çünkü izolatör Şekil 3.5’de görüldüğü gibi dört farklı alana bölünmüştür. Bu alanlar, üst etek, alt etek, kenar ve gövdedir.



Şekil 3.5. Seramik olmayan bir izolatör üzerindeki kir toplanmaları

Yapılan kirlenme gözlemlerinde, her bir alanda biriken kir seviyesinin farklı olduğu görülmüştür (Şekil 3.6). Eteklerin üst ve alt yüzeylerindeki kir miktarları farklıdır. Ayrıca küçük çaplı etekler büyük çaplı olanlara göre daha az kir toplarlar. Keza gövde üzerinde de farklı kir miktarları gözlemlenmiştir. Islanma süreci de yüzeyin pozisyonuna bağlıdır. Mesela, su damlacıkları dik yüzeylerden yuvarlanmaya meyillidir [78].



Şekil 3.6. Etekler üzerindeki kir dağılımı

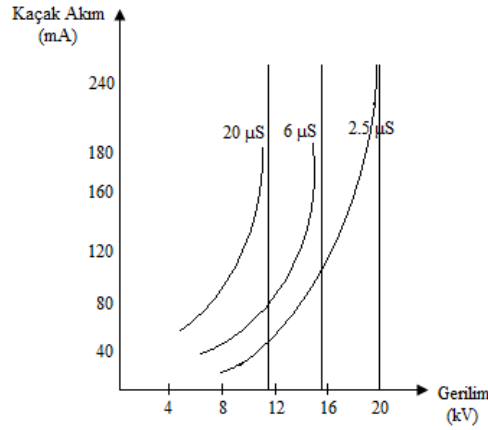
3.2. İzolatör Yüzey Kaçak Akımlarının Özellikleri

İzolatörlerdeki kaçak akımın büyük kısmında yüzeyin DA direncinin katkısı vardır. Bu, kapasitif kaçak akımın baskın olduğu elektrikli cihazların tersi durumdur. Bunun sebebi izolatörlerin güç frekanslarında (50-60 Hz) kullanılmasıdır. Bu frekansta, deri olayı ve kapasite düşük ve sabit olup; sadece kaçak akımın direnç bileşeninde değişim ortaya çıkar. Bu yüzden, izolatörlerin karakteristiklerine ilişkin araştırmaların pek çoğunda sadece yüzey direnci ve kaçak akımın direnç bileşeni hesaba katılmıştır [79].

3.2.1. Yüzey Kaçak Akımlarının Genliği

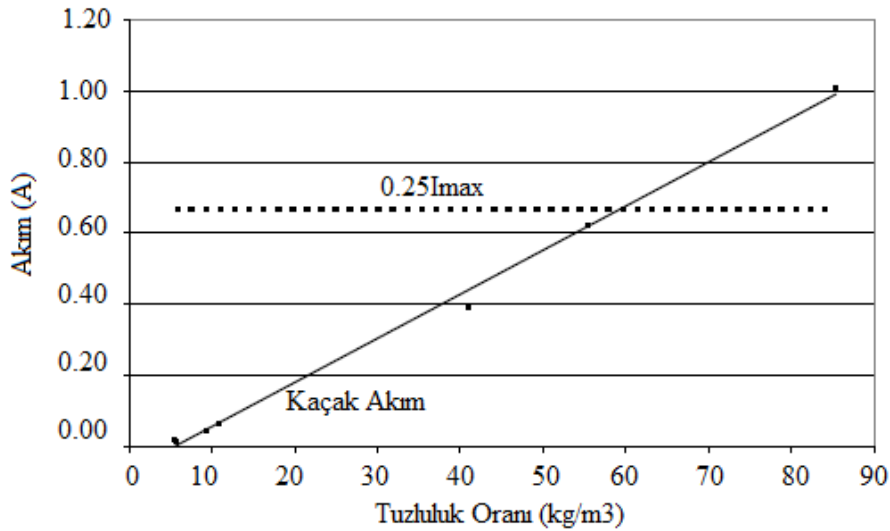
Kirli izolatörlerin yüzeyi havanın nemini emdiği zaman kir tabakası iletken hale gelir. Bu izolatöre bir YG uygulandığında, yüzeyden yüzlerce miliampere kadar kaçak akımlar akar. Bu kaçak akımların joule etkisiyle (ısı kaybı yoluyla) yüzeydeki nem buharlaşır ve yüzey etrafında ince kuru bantlar oluşur. Bilindiği gibi deşarjlar, kaçak akımın bu kuru bantlar içinde meydana getirdiği kısmi arklardan ve bu kısmi arkların yayılmasından oluşur. Şekil 3.7’de farklı yüzey tabaka iletkenliği ile kirlenen izolatörler için uygulanan gerilimler ve ilk kaçak akımlarının büyüklükleri arasındaki ilişki gösterilmiştir [79].

Teorik ve deneysel araştırmalar, atlama olasılığının keskin bir şekilde artış gösterdiği bir eşik değer üzerinde bir Kritik Kaçak Akım (I_{max}) değeri olduğunu göstermiştir [80,81,82].



Şekil 3.7. Farklı yüzey iletkenlikleri için gerilim-yüzey kaçak akım eğrileri

Verma [81], atlamadan önceki yarım periyotta akan bu akımı maksimum tepe kaçak akımı olarak tanımlamıştır. Holtzhausen [82, 83], atlamaları minimize etmek için tepe kaçak akım değerini, I_{max} 'ın %25'inin altında bir değerde tutmayı önermiştir. Tepe kaçak akım değerinin müsaade edilen tepe kaçak akım değerini aşması halinde atlamalar oluşmaktadır ve atlamaların, 50 kg/m^3 ile 60 kg/m^3 arası tuzluluk oranına karşılık geldiği belirlenmiştir (Şekil 3.8) [84].

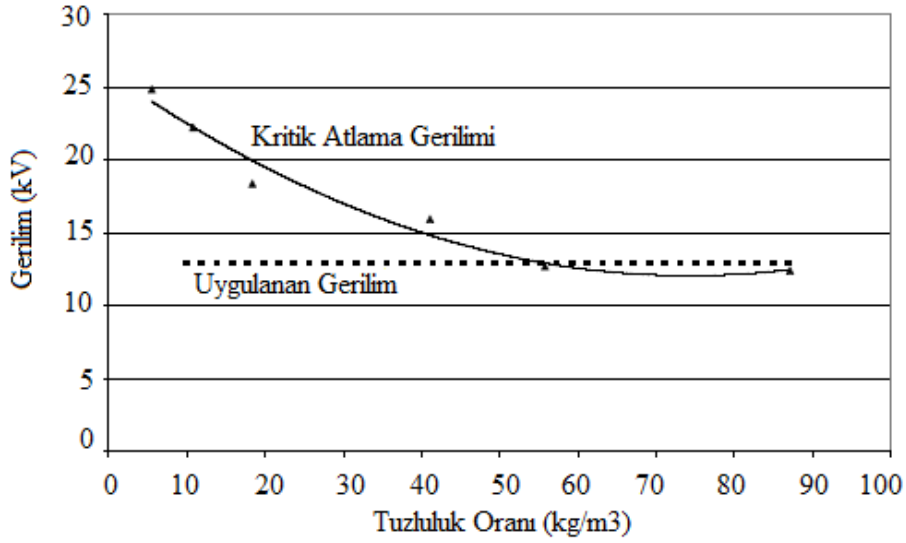


Şekil 3.8. Tepe kaçak akımı ve tuzluluk oranı

Wilhelm H. Schwardt [84], kirlenmiş bir yüksek gerilim izolatörü üzerinden yüzey iletkenliğinin ölçülerek kir şiddetinin izlenmesi amacıyla bir İzolatör Kirlilik İzleme Rölesi (IPMR) geliştirmiştir. Deney için IPMR, sis odası içerisindeki test izolatörünün (yüksekliği

146 mm ve kaçak yolu mesafesi 280 mm olan cam izolatör) yakınına yerleştirilmiştir. Böylece kaçak akımlar ve dolayısıyla iletkenlik sürekli olarak izlenebilmiştir.

Testlerde kullanılan tuzluluk oranına karşılık gelen kritik atlama geriliminin (V_c) hesaplanmasıyla elde edilen değişim Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Uygulanan gerilim kritik gerilime yaklaştığı zaman atlama olasılığı artmaktadır. Atlama olasılığı artışı 50 kg/m^3 ve 60 kg/m^3 arası tuzluluk oranına karşılık geldiği, bu çalışmadan da anlaşılmaktadır.

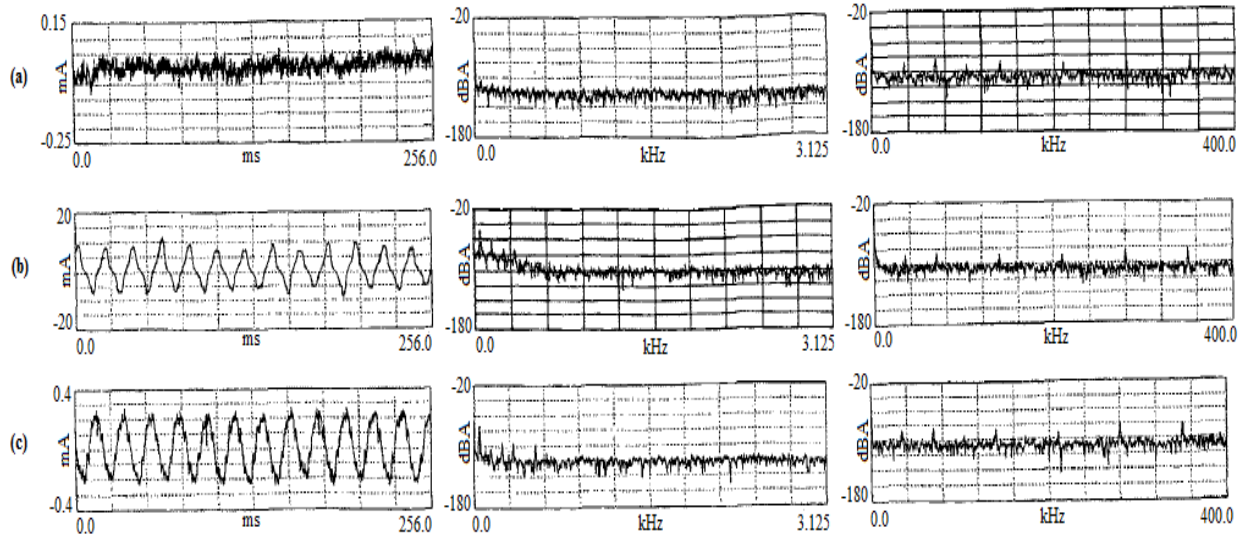


Şekil 3.9. Kritik atlama geriliminin tuzluluk oranı ile değişimi

3.2.2. Yüzey Kaçak Akımlarının Frekansı

Şekil 3.10'da, atlama oluşmadığı durumda kaçak akım dalga şekilleri ile onların frekans dağılımları arasında bir karşılaştırma yapmayı sağlayacak grafikler verilmiştir [85]. Burada verilen grafiklerden soldakiler, kaçak akım dalga şeklini; ortadakiler $f \geq 3,125 \text{ kHz}$ için frekans dağılımlarını ve sağdakiler de $f \leq 400 \text{ kHz}$ için frekans dağılımlarını göstermektedir. Şekil 3.10a, kısmi arkların oluşmadığı durumu; Şekil 3.10b, kısmi arkların başlangıcını ve Şekil 3.10c, kısmi arkların açık görünümünü göstermektedir.

Tablo 3.1'de ise, farklı deşarj şartları için dalga şekilleri ve frekans dağılımları özetlenmiştir [85].



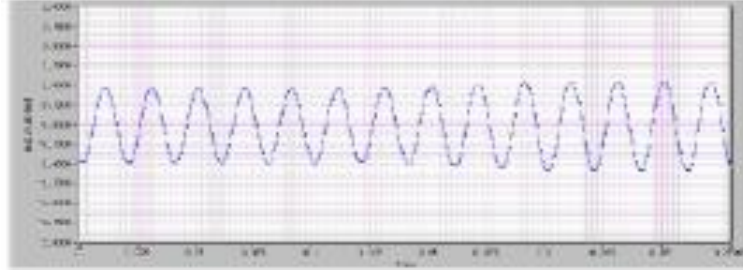
Şekil 3.10. Yüzey kaçak akımlarının dalga şekli ve frekans dağılımları

Tablo 3.1. Farklı deşarj şartları için kaçak akımların dalga şekli ve frekans dağılımları

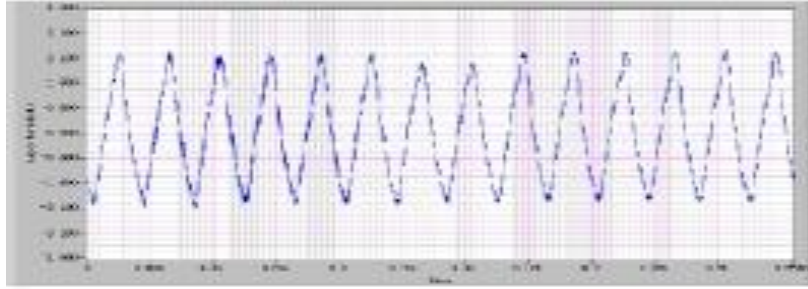
Safha	Deşarj Durumu	Kaçak Akım	
		Dalga Şekli	Frekans Spektrumu
1	Deşarj Yok	Simüse benzer	
2	Zayıf Deşarjlar İnce bir ses duyulabilir. Sinyal görünmez	Testere dişi	
3	Bazen noktasal deşarjlar görülebilir. Sürekli bir ses	Keskin	
4	Doğrusal zayıf kısmi arklar	Bozulmuş	
5	Kesikli kuvvetli arklar	Kesikli büyük pik	
6	Kesikli daha kuvvetli arklar (Atlamaadan hemen önce)	Kesikli daha büyük pik	
7	Atlama		

Yine Şekil 3.11a, izolatör yüzeyinde deşarj oluşmadığı bir durumda, kaçak akımın değişimini göstermektedir. Dalga şekli sinüzoidal bir yapıya sahiptir. İzolatör yüzeyinde

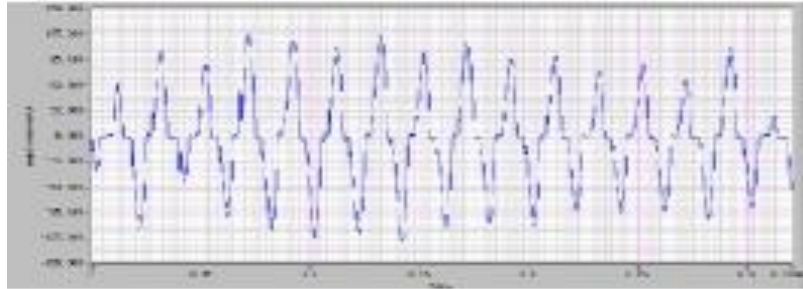
zayıf deşarjlar görünmeye başladığı zaman akan kaçak akımın dalga yapısı Şekil 3.11b’de gösterilmiştir. Dalga şekli bozulmuştur. Şekil 3.11c, kuvvetli arklar oluştuğu zaman akan kaçak akımın dalga şeklidir. Genliği birkaç yüz miliamperler seviyesindedir. Şekil 3.11d, atlama oluştuğu andaki kaçak akım şeklidir. Kaçak akım atlamadan önce hızlıca yükselir. Atlama meydana geldiği zaman kısa akım gözlemlenir [86].



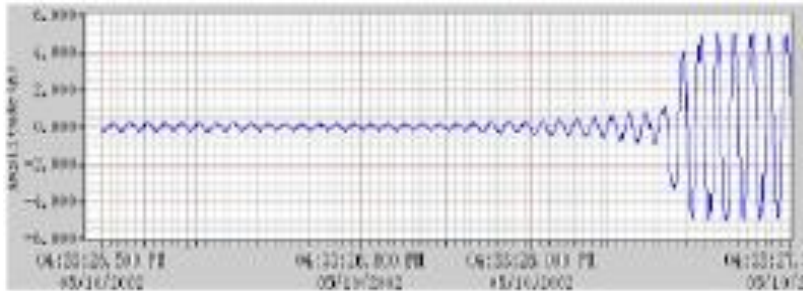
(a)



(b)



(c)

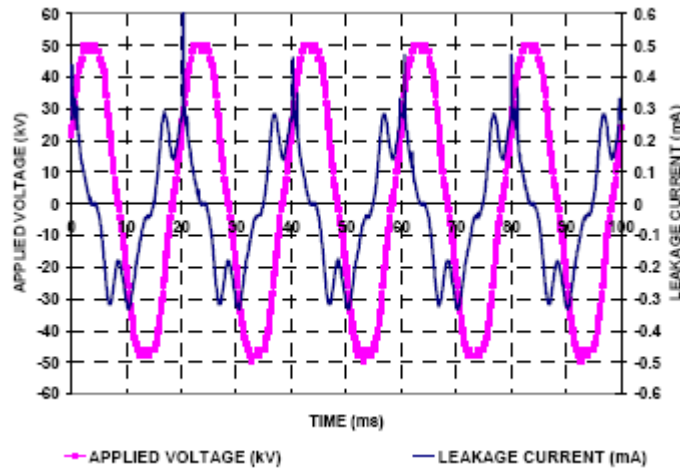


(d)

Şekil 3.11. Kaçak akım dalga şekilleri

3.3. Farklı Yapay Kirlenme Nedeniyle Porselen İzolatörlerin Yüzey Kaçak Akımları

Şekil 3.12, uygulanan gerilimi ve 1 gr NaCl çözeltisinden dolayı izolatörün kaçak akım dalga şekillerini göstermektedir [87]. Kaçak akım dalga şekli tam sinüzoidal değildir. Bu durum dalga şeklinin harmoniklere sahip olduğunu gösterir. Kaçak akım ile uygulanan gerilim arasındaki faz farkı $63,4^\circ$ 'dir.



Şekil 3.12. 1 gr NaCl çözeltisinden dolayı dalga şekilleri

3.4. İzolatör Yüzey Kaçak Akımlarının Sınıflandırması

Jayasundara [88], izolatör yüzey kaçak akımlarını, kapasitif, rezistif, nonlineer,deşarj ve kuvvetlideşarj olarak 5 kategoriye ayırmıştır. Şekil 3.13'de, her biri bir kategoriye ait bazı seçilmiş kaçak akım dalga şekilleri ve frekans domenine ilişkin analiz verilmiştir.

3.4.1. Kapasitif Tip

Şekil 3.13a, zaman ve frekans domeninde kapasitif tip kaçak akım dalga şeklini göstermektedir. Genellikle, kaçak akım dalga şekilleri sinüzoidaldir ve yaklaşık $25 \mu A$ seviyelerindedir. Frekans domeninde, temel frekans bileşeni (50 Hz) önemlidir. Ek olarak, diğer harmoniklerin bazı bileşenleri de görünebilir.

3.4.2. Rezistif Tip

Kaçak akım dalga şekilleri esas olarak sinüzoidal yapıdadır (Şekil 3.13b). Kaçak akım seviyeleri 100 μA ile 200 μA aralığındadır. Frekans domeninde temel frekans bileşeni açıkça görülebilir. Kapasitif tip dalga şekillerine benzemeyen diğer harmonik bileşenleri ihmal edilebilir. Kapasitif ve rezistif arasındaki kaçak akımların ayrımı kolayca seviyelerinden yapılabilir.

3.4.3. Nonlineer Tip

Bu tip kaçak akımlar rezistif kısımların deforme olmuş halidir. Rezistif tipe benzer şekilde 200 μA seviyelerine yakındır. Sinüzoidal şekil görünümünden deforme olmuş dalga şekillerinde 3. ve 5. harmoniklerin içeriği daha yüksektir. Bu davranış frekans domeninde açıkça görülmektedir. Bazı kaçak akımlarda, nonlinear dalga şekillerinin dalga tepelerinde bir veya daha fazla kaçak akım sivrilmeleri meydana gelir (Şekil 3.13c).

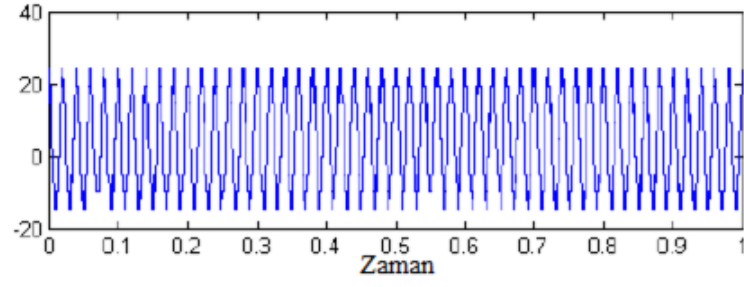
3.4.4. Deşarj Tipi

Kaçak akım dalga şekillerinin genliği, nonlinear tipin genliğine benzerdir ve 200 μA civarındadır. Maksimum 600 μA değerine kadar deşarjlar görülebilir. Şekil 3.13d’de, birkaç periyot için deşarj dayanımıyla birlikte kaçak akım dalga şekli verilmiştir. FFT çizimi, temel bileşenin daha yüksek seviyelerinin 3., 5., 7. harmonikler olduğunu gösterir.

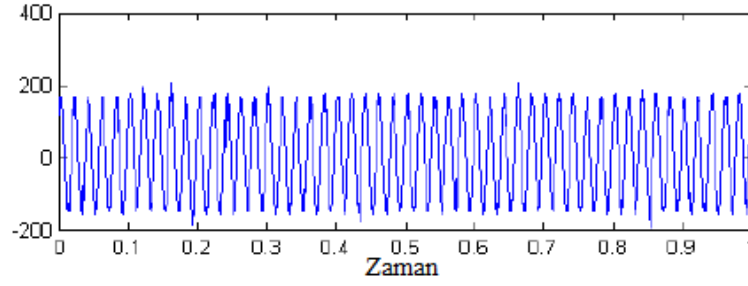
3.4.5. Kuvvetli Deşarj Tipi

Kaçak akımın genliği 0.5 mA’dan 2 mA’ye kadar değişir ve deşarj akımı 10 mA civarına kadar yükselir (Şekil 3.13e). Temel bileşenle ilgili harmonik bileşenler önemlidir.

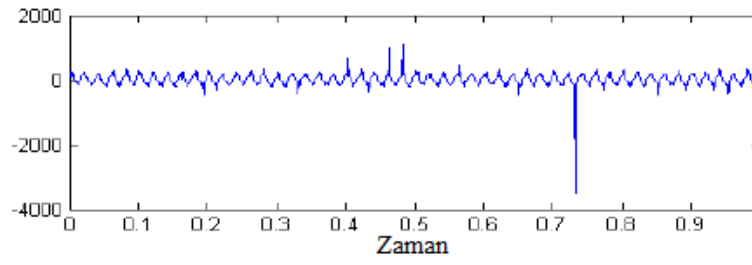
Kirlilik testi boyunca, kaçak akım seviyesi yükselir ve dalga şekli sinüzoidal şekilden uzaklaşır. Bozulan dalga şekli, yüksek harmonik bileşene sahiptir. Kaçak akımlar seviye ve şekillerine bağlı olarak gruplandırılabilir. Frekans domeni analizi, harmonik içerik hakkında bilgi verir.



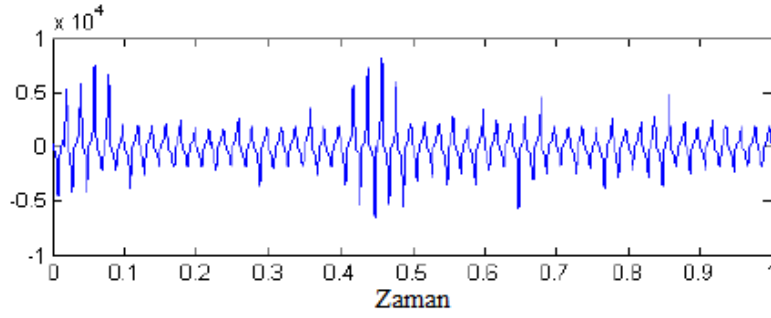
(a) Kapasitif tip kaçak akım



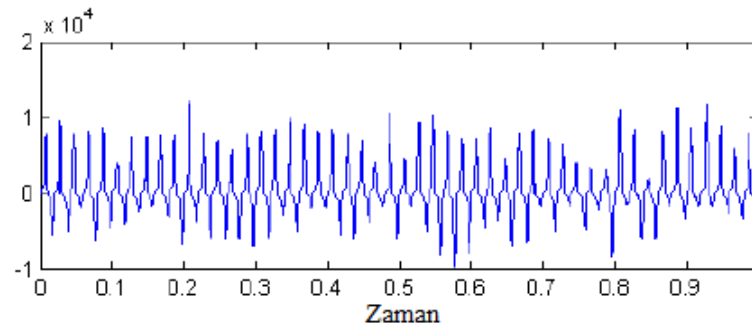
(b) Rezistif kaçak akım



(c) Nonlineer tip kaçak akım



(a) Deşarj tipi kaçak akım



(e) Kuvvetli deşarj tipi kaçak akım

Şekil 3.13. Kaçak akım türlerine ait dalga şekilleri

3.5. Yüzey Kaçak Akımlarının İzolatör Modelleri Üzerinden Hesaplanması

İzolatör modelleri yardımıyla atlama geriliminin belirlenebilmesi için, atlama denklemindeki ark'a seri kir direncinin hesaplanması gerekir. Bunun için de deşarjsız ve deşarjlı durumlarda izolatör yüzey kaçak akımının bilinmesine ihtiyaç vardır. Araştırmacılar, izolatör yüzeyinden akan kaçak akımı hesaplayabilmek için çeşitli yaklaşımlar kullanmışlardır.

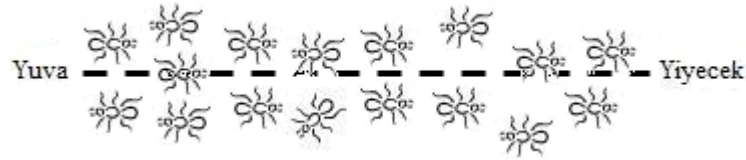
Bu yaklaşımlardan birinde, izolatörün topraklı tarafı çok ince ve küçük bölümlere ayrılır. Bu bölümler için kabul edilen kir tabakası kalınlığı yardımıyla o tabakadan akım yaklaşık olarak hesaplanır. İnce ve küçük tabakaların tümünden geçen akımlar toplanır ve böylece izolatör yüzeyinden topraklanmış elektroda doğru akan akım belirlenmiş olur [42]. Bu yaklaşım, sayısal yöntemle hesap yapılmasına uygun olarak tanımlanmış temel yaklaşımlardan biridir.

4. KARINCA KOLONİ ALGORİTMASI İLE İZOLATÖR YÜZEY KAÇAK AKIMLARININ İLİŞKİLENDİRİLMESİ

4.1. Karınca Sistemi

Günümüzde biyolojik yapılardan esinlenerek oluşturulan sistemler yapay zekâ araştırmacılarının ilgi odağı olmuştur. Doğadaki sosyal sistemler, sınırlı yetenekli basit bireyler tarafından oluşturulmalarına rağmen kolektif zekâ davranışları sergilerler. Problemlere üretilen zeki çözümler, bu bireylere verilmiş olan organizasyon ve iletişim yeteneklerinden ortaya çıkar. Bu sosyal sistemler, dağınık yapay zekâ sistemlerinin geliştirilmesinde, önemli tekniklerin kaynağıdır [89].

Karınca toplulukları, bu sosyal sistemlere iyi bir örnektir. Bir karınca tek başına tam olarak görme yeteneğine sahip değildir ve çevresindeki değişimleri izleyemez. Bununla beraber koloni halindeki karıncalar problem çözmede akıllı davranışlar gösterebilmektedirler. Mesela, yuvaları ile yiyecek kaynağı arasında uzanan en kısa yolu bulabilmekte (Şekil 4.1), çevrede oluşacak değişimlere kısa sürede uyum sağlayabilmektedirler. Karıncaların yuvaları ile yiyecek arasında bulup takip ettikleri en kısa yol herhangi bir nedenden dolayı (örneğin bir cismin konulması durumunda) en kısa yol olmaktan çıkarsa, ortaya çıkan bu yeni durumda da yine en kısa yolu bulma özellikleri vardır.

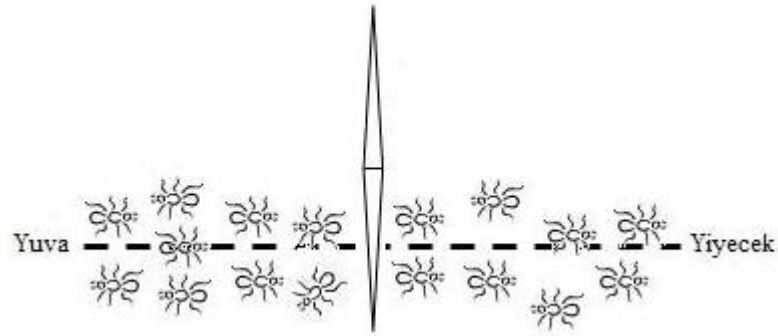


Şekil 4.1. Yuva ile yiyecek arasında karıncaların bulunduğu en kısa yol

Yiyecek ile yuva arasındaki en kısa yolu keşfetmek için karıncalar tarafından kullanılan ve karıncalar arasında haberleşme imkânı sağlayan temel madde, kimyasal feromon maddesidir. Karıncalar hareket halinde bulundukları yola belirli miktarda feromon maddesi

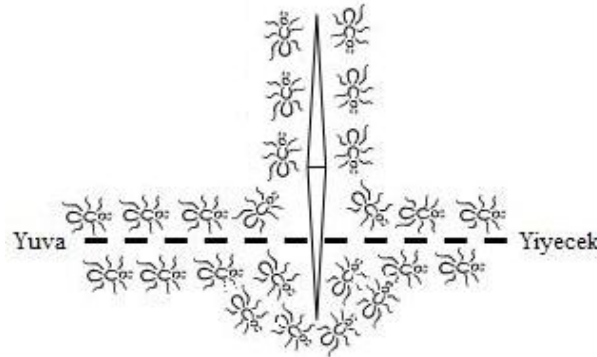
bırakırlar. Bir yoldaki feromon maddesinin miktarı, karıncaların o yolu tercih etmelerinde önemli bir faktördür. Karıncaların feromon maddesi yoğun olan yönleri tercih etme ihtimali, az olan yönlere göre daha yüksektir. Bu basit prensip, hareket eden karıncaların en uygun yolu çok kısa sürede bulabilmelerini sağlamaktadır.

Karıncalar tarafından önceden keşfedilen en kısa yola bir cisim konularak, bu yolun bozulduğunu varsayalım (Şekil 4.2).



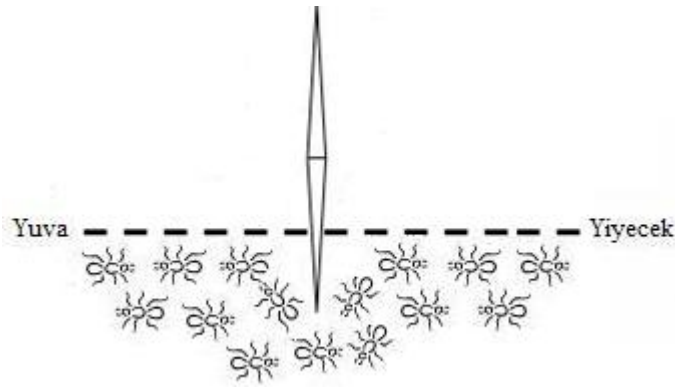
Şekil 4.2. Yola bir cisim konulmasıyla en kısa yolun bozulması

Cismin konulmasından hemen sonra cismin her iki tarafındaki karıncalar, ortaya çıkan yeni feromonsuz yönleri tercih etme durumu ile karşılaşılırlar. Bu tercih aşamasında karıncalar, rasgele bir yön seçmek zorunda kalırlar. Karınca grubunun yaklaşık olarak yarısının sağ tarafa ve diğer yarısının da sol tarafa dönmeleri beklenir (Şekil 4.3). Diğer bir ifade ile sağa ve sola dönen karınca gruplarının sayıları yaklaşık olarak birbirine eşit olur.



Şekil 4.3. Cismin konulmasından sonraki durum

Karıncaların hızlarının hemen hemen aynı olduğunu ve geçtikleri yola eşit miktarda feromon maddesi bıraktıklarını varsayarsak; birim zamanda kısa yol üzerinden geçen karıncaların sayısı uzun yoldan geçen karıncaların sayısından daha fazla olacağından, birim zamanda kısa yola bırakılan koku miktarı daha fazla olacaktır. Bir süre sonra bu yollar arasındaki feromon yoğunluğu farkı daha da artacağından sisteme giren her yeni karınca artık kısa yolu seçecektir. Böylece karıncalar yuvaları ile yiyecek arasındaki en kısa yolu bularak yeni çevre şartlarına adapte olmuş olacaklardır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Cisim konulmasından belli bir süre sonraki durum

Bu olaydan anlaşılacağı üzere bir geri besleme söz konusudur. Bir yoldan geçen karınca sayısı arttıkça yola yapıştırılan koku miktarı artmakta ve koku miktarı arttıkça da yolu tercih eden karınca sayısı artmaktadır. Bu olay, “oto-katalitik işlem” olarak adlandırılır. Cisim etrafındaki en kısa yolun keşfedilmesi, karıncaların dağıtılmış davranışı ile cisim şekli arasındaki etkileşimin ortaya çıkardığı bir özellik olarak görülebilir.

4.2. Karınca Koloni Algoritmaları

Karınca Koloni Algoritması (KKA), bir gerçek karınca koloni davranışlarının matematiksel modelleri üzerine dayalı bir algoritmadır. İlk çalışma Dorigo ve arkadaşları tarafından [90] yapılmış ve kendi sistemlerini “Karınca Sistemi”, ortaya çıkan algoritmayı ise “Karınca Algoritması” olarak tanımlamışlardır. Karınca kolonilerinin davranışlarının tam olarak modellenmesi yerine, yapay karınca modellerinin bir optimizasyon aracı olarak değerlendirilmesinden dolayı, önerilen algoritmalar gerçek karınca davranışlarından biraz

farklı yapıdadır. Örneğin yapay karıncalar belirli hafızaya sahiptirler ve gerçek karıncaların aksine tamamen kör değildir. Aynı zamanda yapay karıncalar ayrık zamanlı bir çerçevede yaşamaktadırlar.

Herhangi bir dağıtılmış sistemin tanımlanmasında en temel ve en önemli nokta bireyler arasında haberleşme işleminin nasıl yapıldığının ifade edilmesidir. Dorigo ve arkadaşları [91], çok sayıda bölgesel olarak etkileşen basit bireylerin davranışlarının benzeşimini temel alan karınca algoritmasını zor problemlerin dağıtılmış çözümüne bir yaklaşım olarak tanıtmışlardır. Yani bu yaklaşımda karıncalar basit etkileşen bireylerdir.

Dorigo ve arkadaşları yaptıkları ilk çalışmada, üç karınca algoritması tanımlamışlar ve bu algoritmaları test etmek amacıyla herkesçe bilinen bir ayrık test problemi olan gezgin satıcı probleminin çözümünde kullanmışlardır.

Gezgin Satıcı Problemi (GSP), n tane şehir verildiğinde, yapay gezgin satıcının her bir şehri bir kez ziyaret etmek şartıyla minimum uzunluklu kapalı bir turu oluşturma problemi olarak tanımlanabilir. i . ve j . şehirler arasındaki yolun uzunluğu d_{ij} olarak tanımlansın. Yani

$$d_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]^{1/2} \quad (4.1)$$

dir. GSP'nin herhangi bir durumu ağırlıklaştırılmış bir graf (n, E) ile tanımlanabilir. Burada n şehirler seti ve E mesafelerle ağırlıklaştırılmış şehirler arasındaki bağlantılar setidir. m kolonideki toplam karınca sayısını gösterirse ve t anında i . şehirde bulunan karıncaların sayısı $b_i(t)$ ($i=1, 2, \dots, n$) ile verilirse, bu durumda bu iki büyüklük arasındaki ilişki için

$$m = \sum_{i=1}^n b_i(t) \quad (4.2)$$

bağıntısı yazılabilir.

İlave olarak her karıncanın aşağıdaki özelliklere sahip bir bireyi temsil ettiği kabul edilsin. Karınca,

- i şehirden j şehrine giderken (i, j) hattına bir miktar feromon maddesi bıraksın,
- Gideceği şehir, o hatta mevcut olan feromon maddesi miktarı ile iki şehir arasındaki mesafenin fonksiyonu olan bir olasılıkla seçsin,

- Karıncalar şartları sağlayan turu gerçekleştirebilmeleri için zorlanmalıdır. Bunu için ziyaret edilmiş şehirlerin tekrar ziyaret edilmesine izin verilmeksizin tur tamamlansın.

$\tau_{ij}(t)$, t anında i ve j şehirleri arasındaki (i,j) yolunda depolanan feromon maddesi miktarını gösterirse t+1 anındaki feromon maddesi denklem (4.3) ile tanımlanabilir.

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}(t, t+1) \quad (4.3)$$

Burada ρ , buharlaşma katsayısı olarak tanımlanan bir parametredir ve feromon maddesinin sınırsız bir şekilde büyümesini önlemek için 1 den küçük pozitif bir değere set edilmelidir. $(1-\rho)$ faktörü ise feromon maddesinin buharlaşan oranını belirlemektedir. Birim zamanda (i,j) hattına bırakılan feromon maddesi miktarı

$$\Delta \tau_{ij}(t, t+1) = \sum_{k=1}^n \Delta \tau_{ij}^k(t, t+1) \quad (4.4)$$

olarak tanımlanabilir ve burada $\Delta \tau_{ij}^k(t, t+1)$, t ve t+1 zaman aralığında k. karınca tarafından (i,j) şehir hattına bırakılan feromon maddesinin birim uzunluk başına miktarıdır.

Bir karıncanın n farklı şehri ziyaret etmesi (n şehirli tur) şartını sağlaması amacıyla her karıncaya, bir veri yapısı atanır (tur veri listesi). Böylece, karınca t anına kadar ziyaret etmiş olduğu şehirleri hafızaya alır ve tur tamamlanıncaya kadar bu şehirlerin tekrar ziyaret edilmesi önlenmiş olur. Tur tamamlandığında, tur veri listesi boşaltılır ve bu karınca yolunu seçmek için tekrar serbest kalır.

k. karıncanın tur veri listesini içeren bir dizi, $veri_k$ tanımlanır. Dolayısıyla $veri_k(s)$, k. karıncanın tur veri listesindeki s. elemanını yani karınca tarafından ziyaret edilmiş s. şehri gösterir. Seçilebilirlik parametresi η_{ij} , $\eta_{ij}=1/d_{ij}$ şeklinde belirtildikten sonra, k. karıncanın i. şehirden j. şehre geçiş ihtimali

$$P_{ij} = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{j \in \text{izin verilen değerler}} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}, \text{ eğer } j \in \text{izin verilen değerler} \quad (4.5)$$

0, aksi takdirde

şeklinde tanımlanır. Burada izin verilen şehir, $j \neq veri_k$ anlamındadır ve α ile β parametreleri kullanıcıya, olasılık değerini hesaplarken yapay feromon maddesi ile seçilebilirlik arasında

nispi önemi belirleme imkânı vermektedir. Bundan dolayı geçiş olasılığı, seçilebilirlik değeri ve koku maddesi miktarı arasında bir uzlaşmayı tayin eder. Yani, seçilebilirlik; yakın şehirlerin daha yüksek ihtimalle seçilmesini teşvik ederek bir aç gözlü sezgisel kural tanımlarken, koku maddesi miktarı da bir hatta yoğun trafik varsa, bu hattın daha çok tercih edilmesi gerektiğini belirtir.

4.2.1. Karınca Yoğunluk Modeli

Karınca yoğunluk modelinde, bir karınca i . şehirden j . şehre gidişinde bu şehirlerarasındaki (i,j) hattına, birim uzunluk başına Q_1 miktarınca koku bırakmaktadır. Bundan dolayı (i,j) hattına k . karınca tarafından bırakılan koku miktarı aşağıdaki bağıntı ile tanımlanmaktadır.

$$\Delta\tau_{ij}^k(t,t+1) = \begin{cases} Q_1, k. \text{ karınca } ij \text{ hattını } t-t+1 \text{ zaman aralığında kullanırsa} \\ 0, \text{ aksi takdirde} \end{cases} \quad (4.6)$$

Karınca yoğunluk algoritması şu şekilde çalışmaktadır: Başlangıçta karıncalar farklı şekillerde konumlanırlar ve hatlara koku miktarlarının başlangıç değeri atanır. Her karıncanın tur veri listesinin ilk elemanı başlangıç şehrine set edilir. Bundan sonra her karınca i . şehirden j . şehre α ve β 'nın fonksiyonu olarak hesaplanan olasılık değerine göre hareket eder. İlk parametre olan koku maddesi τ_{ij} , aynı hattı (i,j) geçmişte ne kadar çok karıncanın seçtiği hakkında bilgi verirken, ikinci parametre olan seçilebilirlik η_{ij} , daha yakın şehrin daha çok tercih edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Adım1: Tüm şehirlere belirli miktarlarda $b_i(t)$ karınca yerleşir. Buna göre karıncaların tur veri listesini yenile. Her hattın koku miktarını sıfırla. Sayacı sıfırla.

Adım2: Tur veri listeleri dolana kadar aşağıdaki işlemleri tekrarla.

- Her şehirdeki tüm karıncalar için Denklem (4.5) aracılığıyla hesaplanan $P_{ij}(t)$ değerine bağlı olarak hareket etmek amacıyla j . şehri seç.
- Karınca k 'yı j . şehre hareket ettir ve j . şehri k . karıncanın tur veri listesine dahil et.
- Aşağıdaki bağıntı aracılığıyla koku miktarını yinele.
- $\Delta\tau_{ij}(t,t+1)=\Delta\tau_{ij}(t,t+1)+Q_1$

- Her kenar (i,j) için $\tau_{ij}(t+1)$ 'yi denklem (4.3) aracılığıyla hesapla.

Adım3: Şu ana kadar bulunan en kısa turu hafızaya al.

- Durdurma kriterleri sağlanıyorsa Adım 4'e git. Yoksa tüm tur veri listesini boşalt.
- Tüm şehirlerde belirli miktarlarda karınca yerleştir ve ikinci adıma git.

Adım4: En kısa turu yaz ve dur.

4.2.2. Karınca Miktar Modeli

Karınca miktar modelinde ise i . şehirden j . şehre giden karınca, Q_2/d_{ij} miktarınca birim uzunluk başına koku bırakmaktadır. Dolayısıyla koku miktarı,

$$\Delta\tau_{ij}^k, t, t+1 = \begin{cases} \frac{Q_2}{d_{ij}}, & \text{k. karınca } ij \text{ hattını } t-t+1 \text{ zaman aralığında kullanırsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (4.7)$$

ifadesi ile verilmektedir.

Denklem (4.6) ve denklem (4.7)'de verilen tanımlamalardan, karıncanın i . şehirden j . şehre gidişinde, bu hatta feromon maddesinin yoğunluk miktarında oluşacak artışın, karınca yoğunluk modelinde mesafeden (d_{ij}) bağımsız olduğu görülmektedir. Bunun tersine, karınca miktar modelinde ise artışın mesafe (d_{ij}) ile ters orantılı olduğu açıktır. Yani, karınca miktar modeli daha kısa hatları karıncalar tarafından daha çok arzu edilir hale getirmektedir.

Bir karınca hareketi gerçekleştiğinde (i,j) hattına bırakmış olduğu koku miktarı, aynı hatta daha önceleri var olan koku miktarı ile toplanır. Her karınca hareketinden sonra geçiş olasılıkları yeni koku miktarları kullanılarak hesaplanır.

Karıncaların toplam sefer sayısı $n-1$ (yani toplam şehir sayısından bir eksik) olduğunda karıncaların tur veri listesi dolacaktır. Kolonideki m karınca tarafından bulunan en kısa tur hesaplanır ve hafızaya alınır. Sonra, tüm tur veri listeleri boşaltılır. Bu işlem ardışık olarak tur sayıcısı maksimum çevrim sayısına eşit oluncaya kadar tekrarlanır veya tüm karıncalar aynı turu oluşturana kadar işlem devam eder. Durdurma kriteri olarak, önceden belirlenen bir maksimum çevrim sayısı veya tüm karıncaların aynı turu oluşturması şartı kullanılabilir.

Adım1: Tüm şehirlere belirli miktarlarda $b_i(t)$ karınca yerleştir. Buna göre karıncaların tur veri listesini yenile. Her hattın koku miktarını sıfırla. Sayacı sıfırla.

Adım2: Tur veri listeleri dolana kadar aşağıdaki işlemleri tekrarla.

- Her şehirdeki tüm karıncalar için Denklem (4.5) aracılığıyla hesaplanan $P_{ij}(t)$ değerine bağlı olarak hareket etmek amacıyla j. şehri seç.
- Karınca k'yı j. şehre hareket ettir ve j. şehri k. karıncanın tur veri listesine dahil et.
- Aşağıdaki bağıntı aracılığıyla koku miktarını yinele.
- $\Delta\tau_{ij}(t,t+1)=\Delta\tau_{ij}(t,t+1)+Q_2/d_{ij}$
- Her kenar (i,j) için $\tau_{ij}(t+1)$ 'yi Denklem (4.3) aracılığıyla hesapla.

Adım3: Şu ana kadar bulunan en kısa turu hafızaya al.

- Durdurma kriterleri sağlanıyorsa Adım 4'e git.
- Yoksa tüm tur veri listesini boşalt.
- Tüm şehirlerde belirli miktarlarda karınca yerleştir ve ikinci adıma git.

Adım4: En kısa turu yaz ve dur.

4.2.3. Karınca Çevrim Modeli

Karınca çevrim algoritmasının temel adımları aşağıda verilmektedir. Bu algoritma ile önceki iki algoritma arasında önemli bir fark vardır. Bu algoritmada, (i,j) hattından geçen karıncaların buraya bırakacağı koku miktarı Δ_{ij}^k , her adımda hesaplanmamakta, sadece tur tamamlandıktan sonra (n adım sonra) hesaplanmaktadır. (t,t+1) zaman aralığında (i,j) hattından geçen karıncanın bırakacağı koku miktarı

$$\Delta\tau_{ij}^k(t,t+n) = \begin{cases} \frac{Q_3}{L^k}, & \text{eğer k. karınca 1. turda ij hattını kullanırsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (4.8)$$

olarak verilmektedir. Burada Q_3 bir sabit ve L^k ise k. karıncanın (i,j) hattını da kullanarak tamamlamış olduğu yolun uzunluğudur. Bu algoritma, karınca miktarı yaklaşımının adaptasyonuna karşılık gelmektedir. Bu algoritmanın diğer iki algoritmadan daha iyi performans göstereceği beklenmektedir. Bunun sebebi üretilen çözümün, problem için tam

bir çözüm olmasıdır. Yani, değerlendirme yapmak amacıyla küresel bilginin kullanılmasıdır.

Koku miktarı değeri n adım sonra, daha önceki gibi

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho_1 \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}(t, t+n) \quad (4.9)$$

formülü ile yenilenir. Bu ifadede

$$\Delta \tau_{ij}^k(t, t+n) = \sum_{k=1}^m \tau_{ij}^k(t, t+n) \quad (4.10)$$

dir. Burada kullanılan ρ_1 , daha önce tanımlanan ρ 'dan farklıdır. Çünkü denklem artık her adımdan sonra değil, sadece tam bir tur üretildikten sonra değişmektedir.

Adım1: Tüm şehirlere belirli miktarlarda $b_i(t)$ karınca yerleşir. Buna göre karıncaların tur veri listesini yenile. Her hattın koku miktarını sıfırla. Sayacı sıfırla.

Adım2: Tur veri listeleri dolana kadar aşağıdaki işlemleri tekrarla.

- Her şehirdeki tüm karıncalar için Denklem (4.5) aracılığıyla hesaplanan $P_{ij}(t)$ değerine bağlı olarak hareket etmek amacıyla j. şehri seç.
- Karınca k'yı j. şehre hareket ettir ve j. şehri k. karıncanın tur veri listesine dahil et.

Adım3: Tüm karıncalar için tur uzunluğunu hesapla.

- Her kenara $(t, t+1)$ zaman aralığında depolanan koku miktarını hesapla.

Adım4: Her kenar için $\tau_{ij}(t+n)$ değerini Denklem (4.10)'a göre hesapla.

Adım5: Şu ana kadar bulunan en kısa turu hafızaya al.

- Durdurma kriteri sağlanıyorsa adım 6 ya git. Yoksa,
- Tüm tur veri listesini boşalt.
- Tüm şehirlere belirli miktarlarda karınca yerleştir.
- İkinci adıma git.

Adım6: En kısa turu yaz ve dur [92].

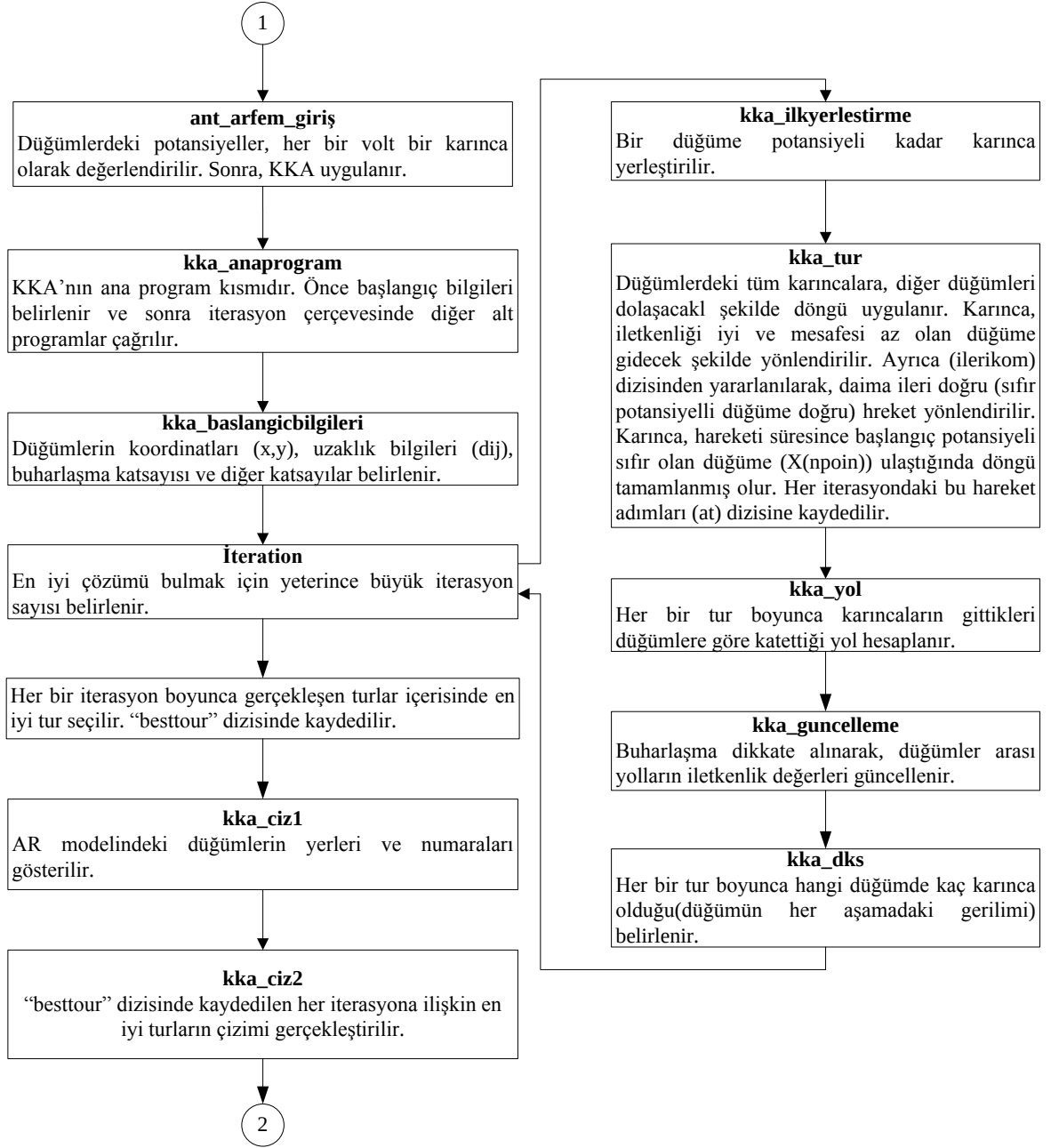
4.3. Karınca Kolonilerinin Davranışları İle İzolatör Yüzey Kaçak Akım Dağılımlarının Benzerlikleri

Bir izolatörde yüzey kaçak akımlarının hesabı yüzeysel atlama oluşumu için temel kriterdir. Deşarj safhalarında ark uzunluğu izolatörün toplam kaçak yolu uzunluğuna eşit olana kadar arka seri kir direnci kaçak akımın miktarını belirleyen büyüklük olmaktadır. Bu direnç yüzey tabakasındaki kir iletkenliğinin geçen akıma bağlı olarak ısınıp kuruması ve iletkenlik değerinin düşmesi nedeniyle zamana bağlı değişken bir büyüklük olarak ortaya çıkar.

Zamanın geçmesi ile iletkenlik değerinin düşmesi karıncaların yürüyüşünde zamanın geçmesi ile feromon maddesinin etkisinin azalması ile eşleştirilebilir. Bu durumda karıncalar gibi akım da iletkenliği yüksek olan bölgelerden akacak şekilde yönlenecektir. Bu yaklaşım ışığında Karınca Koloni Algoritması izolatör yüzeyindeki akımın hangi yönlerde doğru, ne kadar zamanda ve ne kadar miktarda olacağının belirlenmesi için kullanılabilir. Bunun için AR Modeli oluşturulmuş izolatörün Sonlu Elemanlar Yöntemi ile bölmelenmiş yüzeyindeki her bir düğüm noktası, gezgin satıcı problemindeki şehir koordinatlarına karşılık düşer.

Kir iletkenliğinin başlangıç değerlerini belirlemek için random fonksiyonlar kullanılması büyük önem taşımaktadır. Çünkü gerçekte, izolatör yüzeyi atmosferik şartlar nedeniyle rastgele biçimde kirlenmektedir. Bundan dolayı araştırmacılar genellikle hesaplama kolaylığı için sabit kir iletkenliği kabulü ile hesaplamalarını yapmaktadır. Böylece yapılacak hesaplama sonucunda arkın olduğu kaçak akım yolu gerçeğe uygun bir biçimde belirlenmiş olur.

Bu yaklaşımlar ışığında yüzey kaçak akımlarının hesabı için geliştirilen algoritma, Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Yüzey kaçak akımlarının hesabı için geliştirilen algoritma

5. İZOLATÖR YÜZEY KAÇAK AKIMLARININ HESABINDA KARINCA KOLONİ ALGORİTMASINI KULLANAN DİNAMİK BİR MODEL

5.1. Genel Bilgi

Araştırmacılar tarafından kirlenmiş yüksek gerilim izolatörlerinin atlama davranışlarını belirlemek ve bunlar ile ilgili fiziksel mekanizmaları tanımlamak için çeşitli modeller geliştirilmiştir [93].

Bu bölümde, kirlenmiş izolatörlerin kritik atlama geriliminin karınca koloni algoritması yardımıyla nasıl hesaplanabileceği üzerinde durulmuştur. Bunun için önce, geliştirilen bilgisayar programları tanıtılarak akış diyagramları verilmiş ve daha sonra da program sonuçları değerlendirilmiştir.

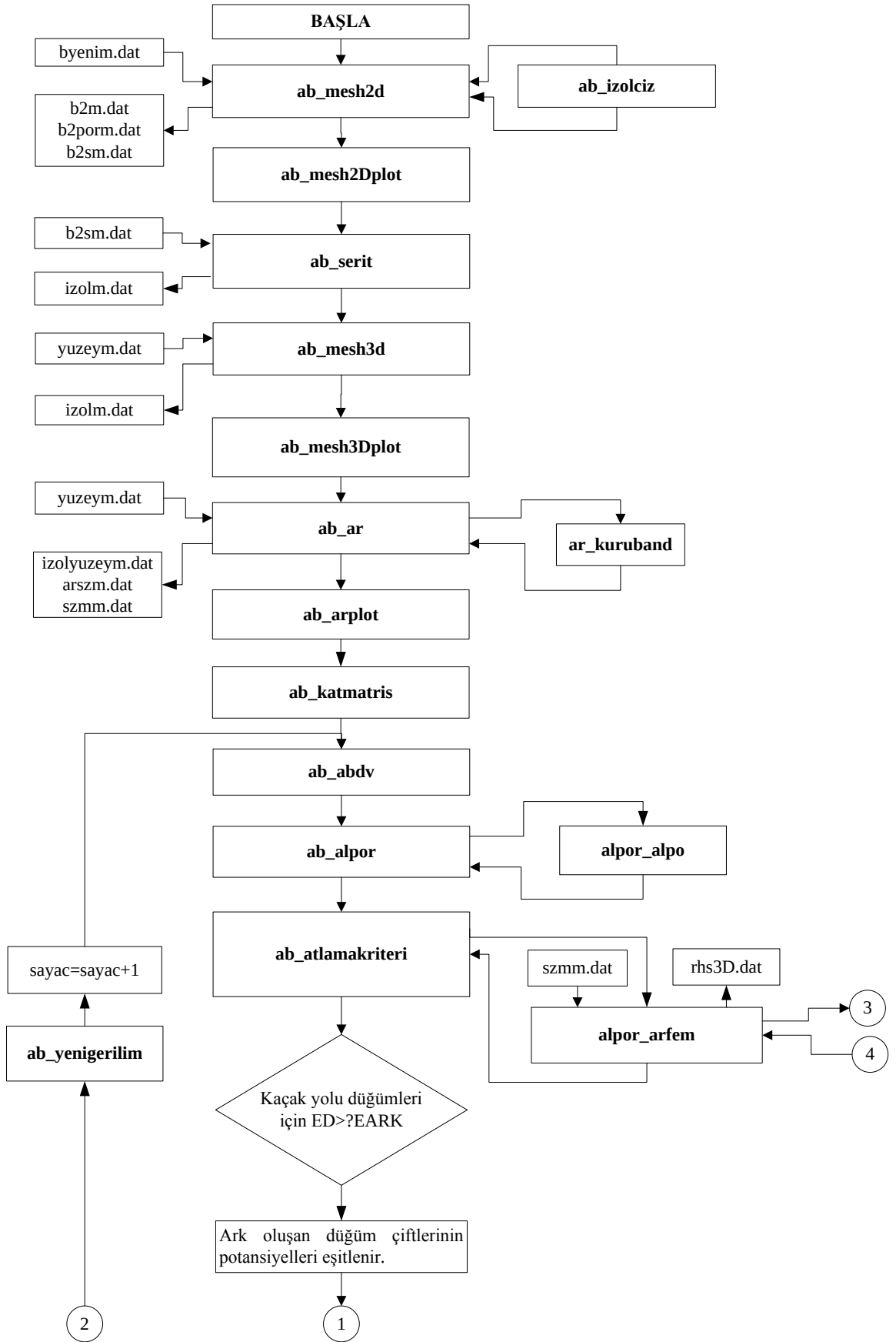
5.2. Bilgisayar Programı

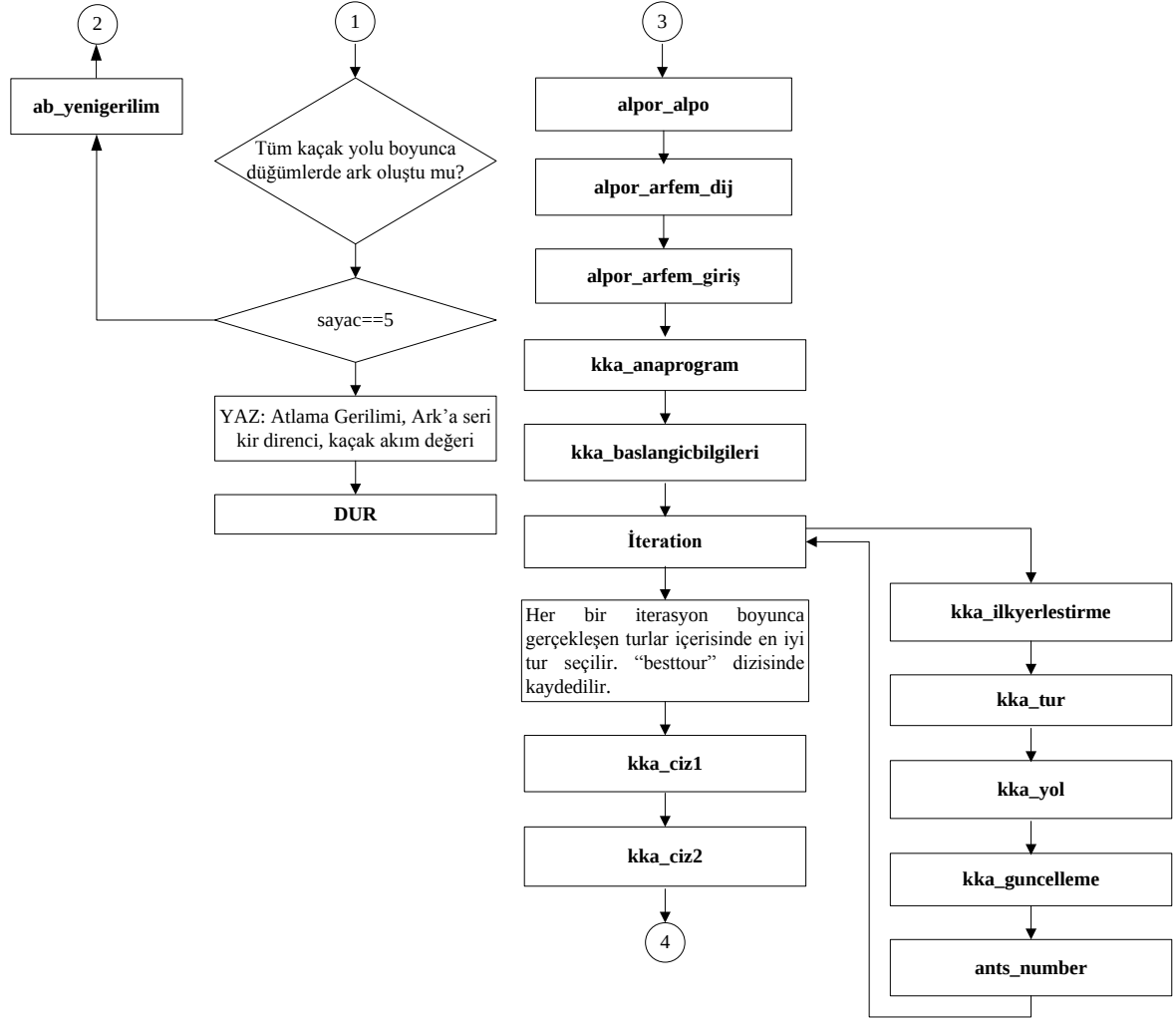
Atlama gerilimini hesaplayan bilgisayar programının genel akış şeması Şekil 5.1’de verilmiştir. Bu akış şemasına göre;

- Öncelikle izolatör yüzeyi ve çevresi (problem bölgesi) dikkate alınarak 2-boyutlu bir sonlu eleman ağı üretilir ve çizilir (ab_mesh2d ve ab_mesh2dplot).
- “ab_serit” altprogramı yardımıyla izolatör yüzeyinde istenen sayıda şerit oluşturulur. “ab_mesh3d” altprogramı ile izolatörün yüzeyinde 3-boyutlu sonlu eleman ağı üretilerek, açık modelin elde edilmesi sağlanır.
- 3-boyutlu modelden iki boyutlu açık model üretilir (ab_ar). Bunun için sızma aralığı üzerindeki düğümlerden yararlanarak her iki düğüm arasındaki mesafe ve toplam sızma aralığı boyu hesaplanır.
- İzolatör yüzeyini modelleyen 3-boyutlu sonlu eleman ağı ab_arplot ile çizdirildikten sonra, 2-boyutlu kompleks katsayılı STE matrisi elde edilir (ab_katmatris).
- Elde edilen STE matrisinden yararlanılarak, 2-boyutlu çözüm için ABDV kare matrisi oluşturulur (ab_abdv).
- 2-boyutlu problemin düğüm potansiyelleri elde edilir ve sonra potansiyel değerlerden yararlanılarak düğümlerin elektrik alanları (ED) hesaplanır (ab_alpor).

- AR modeline ilişkin katsayılar matrisi alpor_arfem altprogramında elde edilerek alpor_alpo altprogramında çözülür.
- Her düğüme ait komşu düğümlerin sayısı ve numaraları belirlenir (ant_arfem_dij).
- Her düğümün potansiyel değeri, düğümdeki her bir karıncanın 1 voltluk bir gerilime karşılık geldiği kabulü ile hesaplanır (ant_arfem_giris).
- Programın bu aşamasından itibaren Karınca Koloni Algoritması uygulanır. kka_anaprogram altprogramı, KKA'nın ana program kısmıdır. Bu altprogramda önce başlangıç bilgileri belirlenir ve bir iterasyon içerisinde diğer altprogramlar çağrılır.
- kka_baslangicbilgileri altprogramı ile, düğümlerin koordinatları (x,y), uzaklık bilgileri (d_{ij}), buharlaşma katsayısı gibi katsayılar belirlenir.
- İterasyon içerisinde sırasıyla düğüm potansiyeli kadar karıncaların yerleştirildiği kka_ilkyerlestirme, düğümlerdeki tüm karıncaların mesafe ve iletkenliğe bağlı olarak diğer düğümlere hareket etmesini sağlayan kka_tur, her bir tur boyunca karıncaların gittikleri düğümlere göre aldıkları yolu hesaplayan kka_yol, buharlaşma dikkate alınarak düğümler arası yolların iletkenlik değerlerinin güncellendiği kka_guncelleme ve düğümlerin her aşamadaki karınca sayılarını dolayısı ile gerilimini gösteren kka_dugumpot programları çağrılır.
- Her bir iterasyon sonunda gerçekleşen en iyi tur “besttour” dizisine kaydedilir.
- KKA'nın uygulanması sonucu izolatör yüzeyindeki her bir düğümün potansiyeli (EARK) hesaplanmış olacaktır. Kaçak yolu üzerindeki düğümler için AR modelinin çözümünden hesaplanan EARK ile ED karşılaştırılır (ab_atlamakriteri).
- $ED > EARK$ olan düğümlerde ark oluşmuş demektir. Ark oluşan düğümlerin potansiyelleri eşitlenir. Tüm düğümler için ark olup olmadığı kontrol edilir.
- Tüm düğümlerde ark oluşmamış ise gerilim ve sigma değerleri güncellenerek ab_abdv altprogramına geri dönülür.
- Şayet ark tüm düğümlerde gerçekleşmişse atlama olmuş demektir ve bu durumda atlama gerilimi, kaçak akım ve kir direnci değerleri ekrana yazdırılarak program sonlandırılır.

Bu programda yer alan altprogramlar, daha sonraki alt bölümlerde detaylı olarak açıklanacaktır.

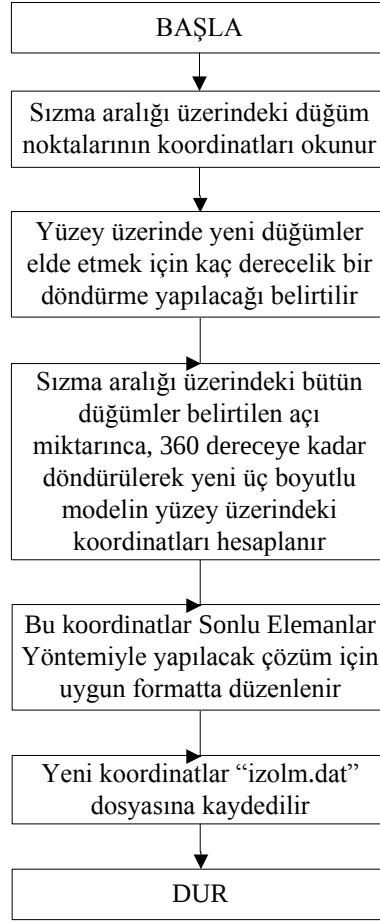




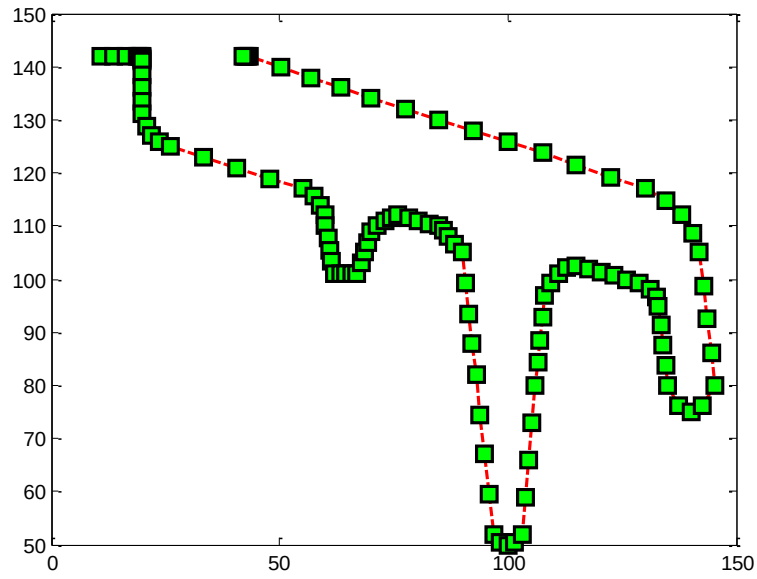
Şekil 5.1. Yüzey kaçak akımı ve atlama gerilimi hesabına ilişkin akış diyagramı

5.2.1. ab_serit Altprogramı

“ab_serit” alt programına ilişkin akış diyagramı Şekil 5.2’de verilmiştir. İlk olarak “b2porpotm.dat” dosyasından, kaçak yolu üzerinde bulunan düğümler ve koordinatları okunur ve bu koordinatlara göre izolatörün 2-boyutlu şekli çizdirilir (Şekil 5.3). İzolatör, eksenel simetriye sahip olduğundan, sadece kaçak yolu 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 “izolm.dat” dosyasına yazılır.



Şekil 5.2. “ab_serit” altprogramına ait akış diyagramı



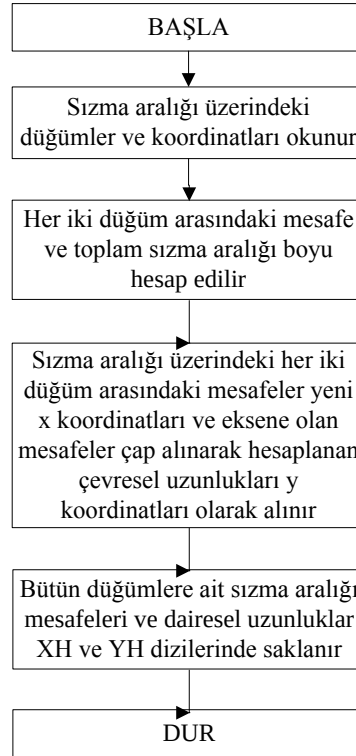
Şekil 5.3. BSFT 9336 izolatörünün 2-boyutlu kesit görünüşü (yarı simetri)

5.2.2. ab_mesh2d ve ab_mesh3d Altprogramları

“mesh2d”, izolatörün iki boyutlu çizimini ve sonlu eleman ağını üreten alt programdır. “mesh3d” ise, izolatörün yüzeyinde 3-boyutlu sonlu eleman ağını üreterek, açık model elde edilmesini sağlayan alt programdır. Böylece Sonlu Eleman Analizi için gerekli olan koordinatlar, 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 edilmiş olur.

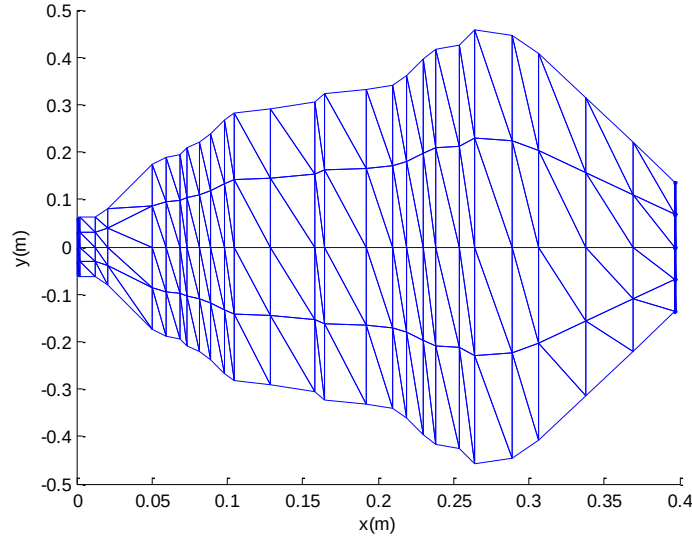
5.2.3. ab_ar Altprogramı

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.



Şekil 5.4. “ab_ar” altprogramına ait akış diyagramı

AR modelinde x koordinatları, üç boyutlu koordinatlar kullanılarak hesap edilen kaçak yolu uzunlukları; y koordinatları ise her bir düğümün izolator eksenine olan mesafesi yarıçap olarak alınarak elde edilen çevresel uzunluklardır. Böylece açık modele ait yeni iki boyutlu koordinatlar elde edilir (Şekil 5.5).

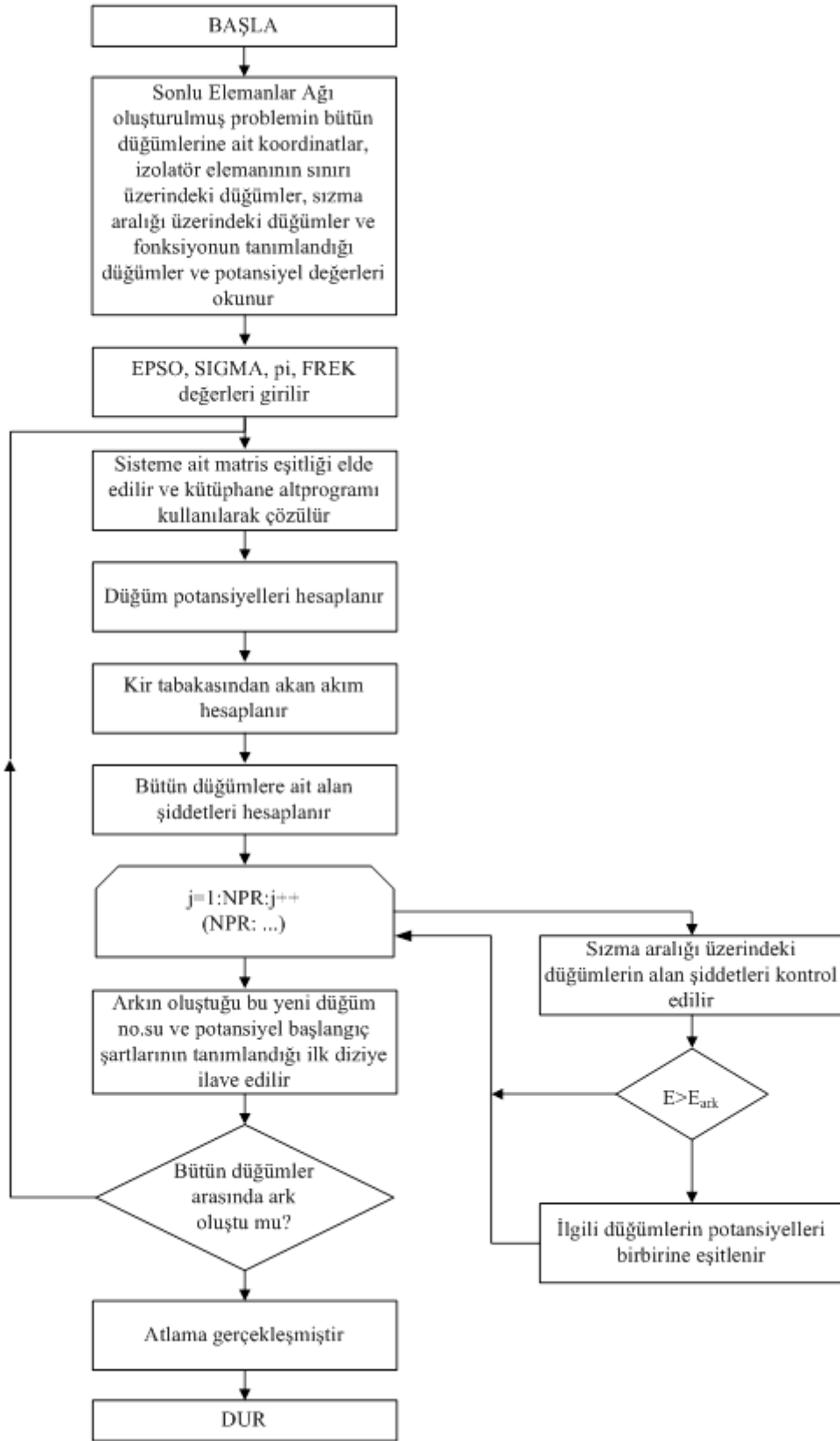


Şekil 5.5. BSFT 9336 tipi izolatorün açık modeli (AR modeli)

5.2.4. ab_alporAltprogramı

Problemin verileri; eleman düğümleri, eleman dielektrik sabitleri, başlangıç potansiyeli bilinen düğümler ve potansiyelleri, koordinatlarıyla okunur. Daha sonra program içinde dielektrik sabiti (ϵ_o, ϵ_r), iletkenlik (σ), pi, frekans (f) vb. sabitler kullanılarak bütün düğüm potansiyelleri, sistem matris eşitliği oluşturulur ve çözülür. Kir tabakasından akan akım hesaplandıktan sonra, yine bütün düğümlere ait alan şiddetleri hesaplanır.

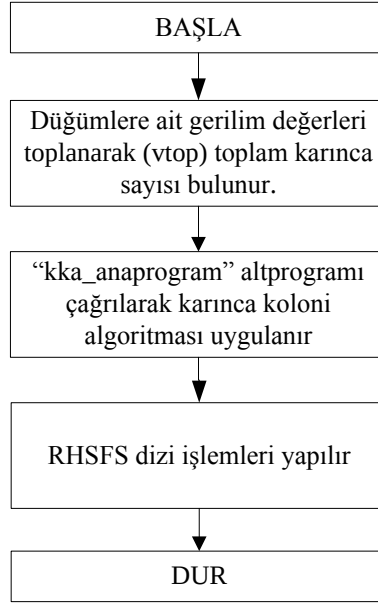
Kaçak yolu boyunca, sırasıyla her iki düğüm arasındaki ΔE alan şiddeti farkı kontrol edilir. Herhangi iki düğüm arasında ark oluşmuş ise, bu iki düğümün potansiyeli eşitlenir. Arkın olduğu düğüm numaraları ve potansiyel değeri, başlangıçta potansiyeli belli olan düğümlerin oluşturduğu diziye eklenir. Potansiyel ve/veya iletkenlik değeri artırılır. Düğümler arası alan şiddeti değeri tekrar kontrol edilerek ark oluşup oluşmadığı kontrol edilir. Kaçak yolundaki bütün düğümler arasında ark oluşana, yani izolator yüzeyi boyunca atlama meydana gelene kadar işleme devam edilir. Tüm bu işlemlerin gerçekleştirildiği program akış şeması Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. “ab_alpor” altprogramına ait akış diyagramı

5.2.5. alpor_arfem_giris Altprogramı

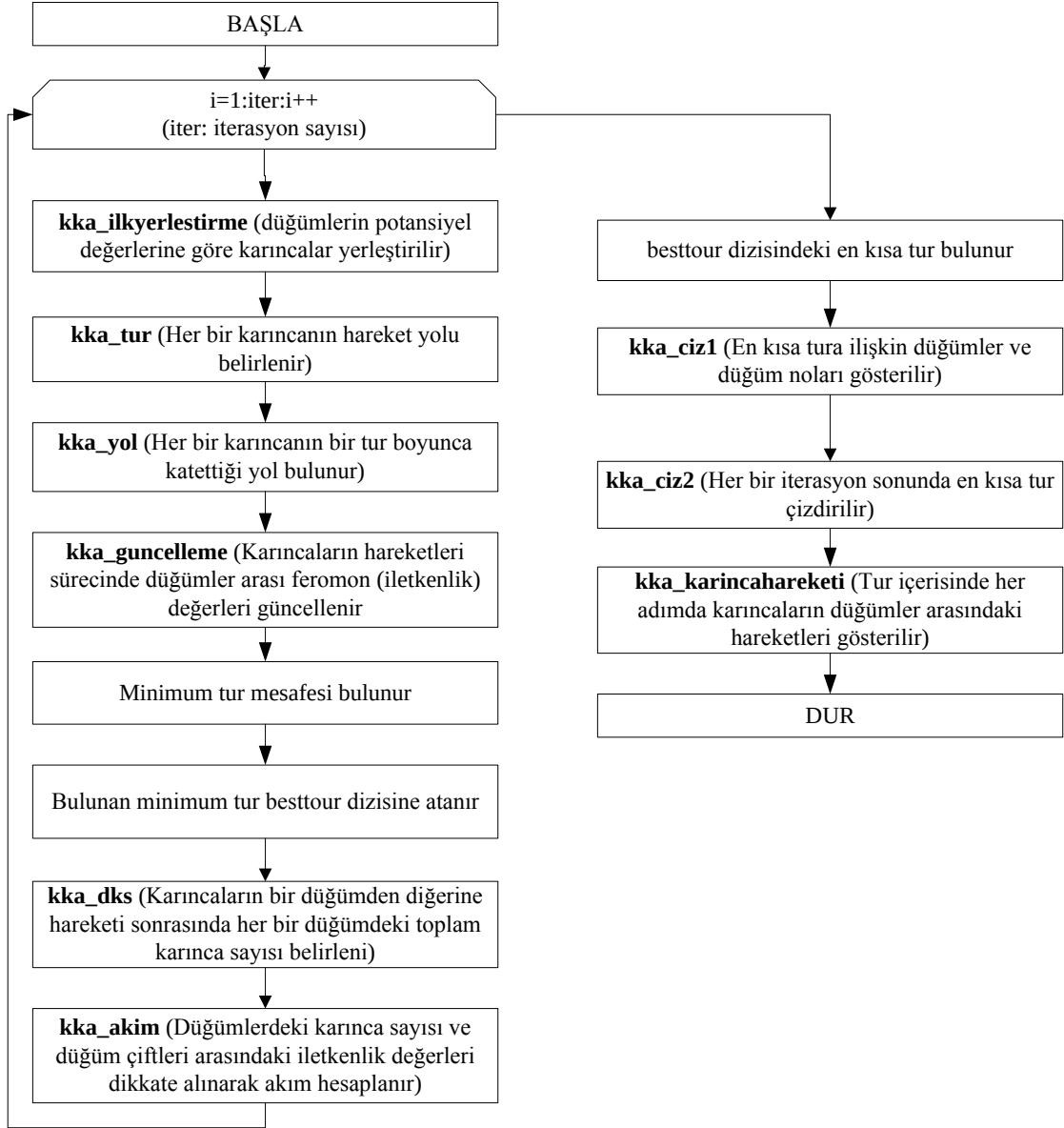
Tüm düğümlere ait gerilim değerleri toplanarak toplam karınca sayısı belirlenir. Daha sonra “kka_anaprogram” alt programı çağrılarak karınca koloni algoritması uygulanır. Hazırlanan bilgisayar programına ilişkin akış şeması Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. “alpor_arfem_giris” altprogramına ait akış diyagramı

5.2.6. kka_anaprog Altprogramı

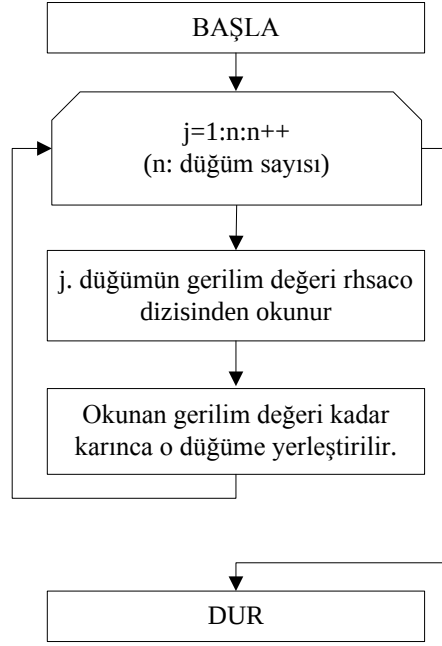
Bu program, Karınca Koloni Algoritmasının ana program kısmıdır. İlk önce başlangıç bilgileri belirlenir. Daha sonra iterasyon çerçevesinde KKA’na ait diğer alt programlar çağrılarak, en kısa tur elde edilir. İterasyon bitiminden sonra elde edilen en kısa tura ait çizimler için ilgili alt programlar işlem görür (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. “kka_anaprog” akış şeması

5.2.7. kka_ilkyerlestirme Altprogramı

Bu alt programda, her bir düğümün potansiyel değeri kadar o düğüme karınca yerleştirilir. Alt programa ilişkin akış şeması Şekil 5.9’da verilmiştir.



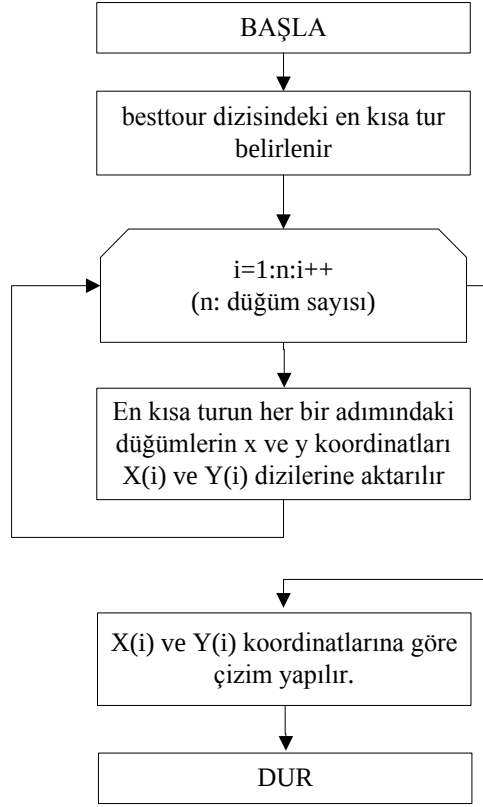
Şekil 5.9. “kka_ilkyerlestirme” altprogramına ilişkin akış şeması

5.2.8. kka_tur Altprogramı

Düğümlerdeki tüm karıncaların, diğer düğümleri dolaşmalarını sağlayacak şekilde döngü uygulanır. Karınca, iletkenliği iyi ve yakın olan düğüme gidecek şekilde yönlendirilir. Ayrıca (ilerikom) dizisinden yararlanılarak, daima ileri doğru (sıfır potansiyelli düğüme doğru) hareket yönlendirilir. Karınca, hareketi süresince başlangıç potansiyeli sıfır olan düğüme (X(npoin)) ulaştığında döngü tamamlanmış olur. Her iterasyondaki bu hareket adımları (at) dizisine kaydedilir.

5.2.9. kka_ciz1 Altprogramı

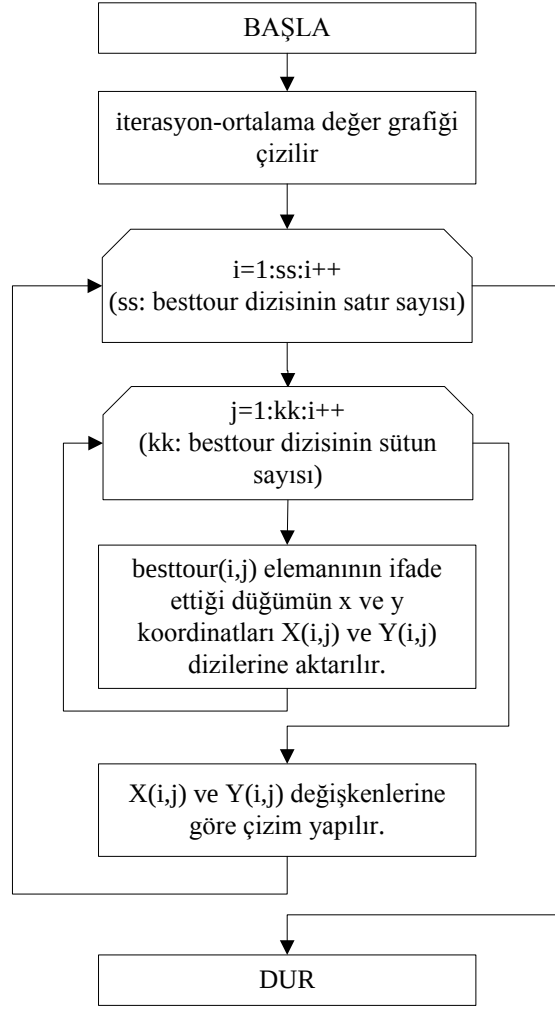
Bu alt program yardımıyla, besttour dizisindeki en kısa tura ait düğümler ve numaraları gösterilir. Şekil 5.10’da bu programa ilişkin akış şeması verilmiştir.



Şekil 5.10. “kka_ciz1” altprogramına ilişkin akış şeması

5.2.10. kka_ciz2 Altprogramı

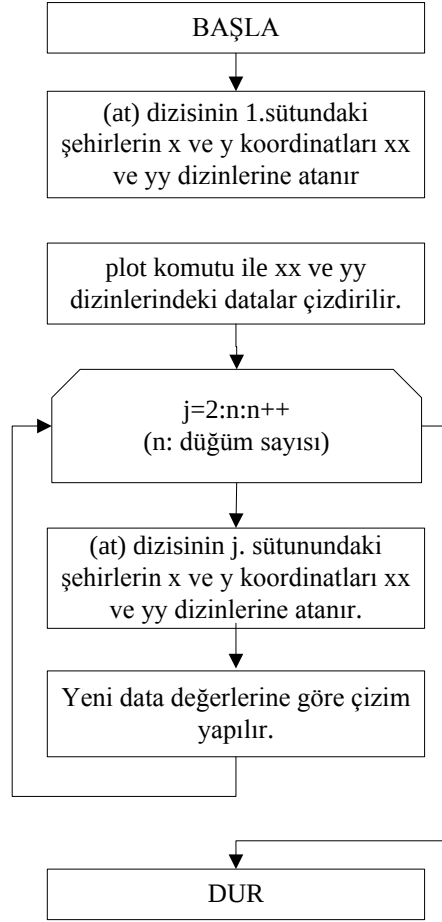
Her iterasyon sonucunda elde edilen ve besttour dizisine aktarılan en iyi turların çizimleri, bu alt program yardımıyla gerçekleştirilir. Şekil 5.11’de bu alt programa ait akış şeması verilmiştir.



Şekil 5.11. “kka_ciz2” altprogramına ilişkin akış şeması

5.2.11. kka_karincahareketi Altprogramı

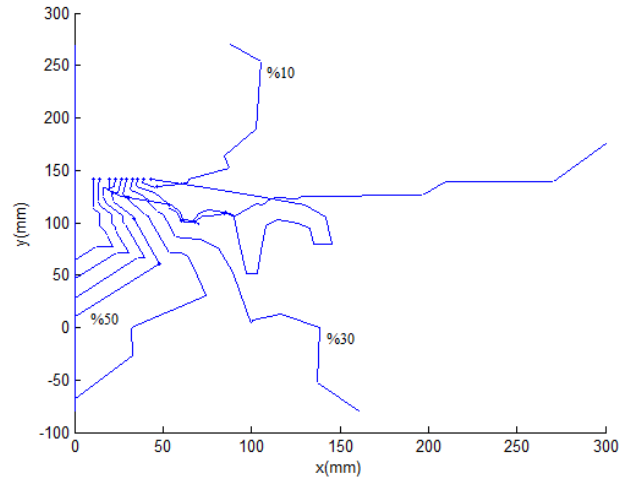
Bu alt programda karıncaların her bir adımdaki hareketi çizdirilir. Bunun için öncelikle karıncaların tur bilgilerinin saklandığı (at) dizisinden, gidilen düğüm bilgisi alınarak, bu düğümlere ilişkin koordinatlar xx ve yy dizilerine aktarılır. Daha sonra plot komutu ile xx ve yy değerlerine göre çizim yapılır (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. “kka_karincahareketi” altprogramına ilişkin akış şeması

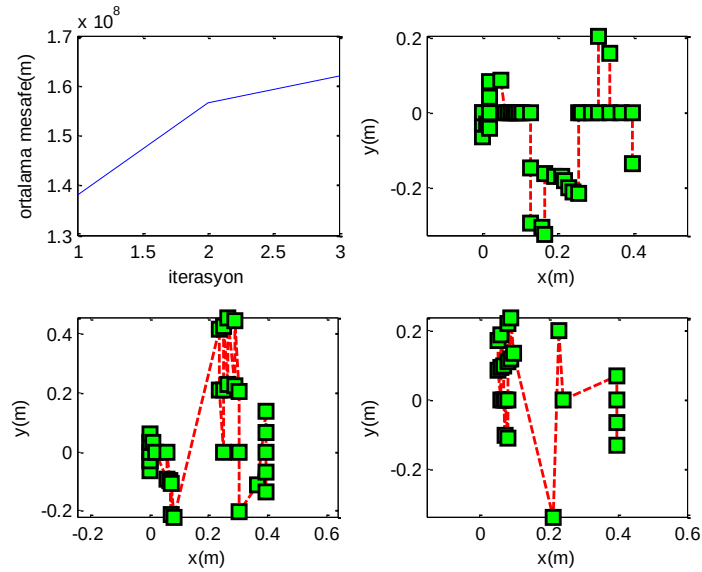
5.4. Bilgisayar Programı Sonuçları

Karınca Koloni Sistemini izolatörlerdeki kirlenme problemine uygulamak üzere bir algoritma geliştirilmiş ve MATLAB (Lisans No: 161051)’da programı yazılmıştır. Öncelikle, sis tipi BSFT 9336 izolatörünün sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla potansiyel dağılımı hesaplanmıştır (Şekil 5.13). Daha sonra bu izolatörün açık modeli (AR modeli) oluşturulmuştur.



Şekil 5.13. BSFT 9336 sis tipi izolatörün eşpotansiyel eğrileri

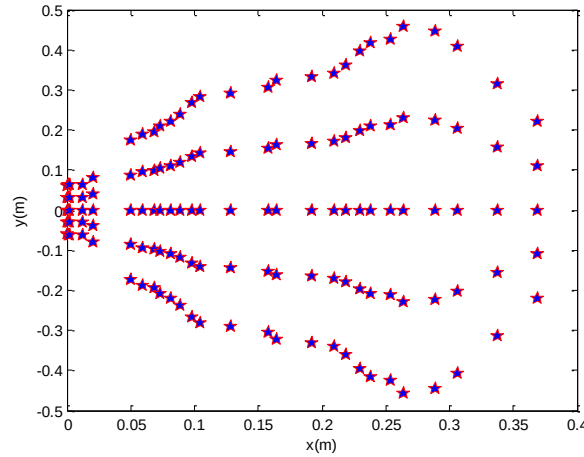
Açık modeli oluşturulan izolatör yüzeyinden akan kaçak akımların izolatör yüzeyinde biriken kir maddesinin türüne ve miktarına bağlı olduğu yaklaşımından hareketle, izolatör yüzeyi üzerindeki her bir düğümün gerilim değerine bağlı olarak belirlenen karıncaların hareketi, düğümler arasındaki kir miktarına ve mesafeye bağlı olarak sağlanmıştır. Algoritmada döngüler yardımıyla en kısa karınca yolu yüzey kaçak akım yolu olarak belirlenmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Karıncaların en kısa yolları

Karınca koloni algoritmasındaki feromon maddesine benzer şekilde, bilgisayar programında kir tabakası izolator yüzeyine random olarak dağıtılmış ve ayrıca kaçak akımların akmasıyla ortaya çıkan ısı etkisiyle kir miktarındaki azalmayı ifade etmek için sabit bir buharlaşma katsayısı dikkate alınmıştır.

Feromon değerinden yararlanarak iletkenlik değeri ve bu iletkenlik ile düğümler arasındaki potansiyel farkı değerlerinden de kaçak akımlar hesaplanmıştır (Şekil 5.15).

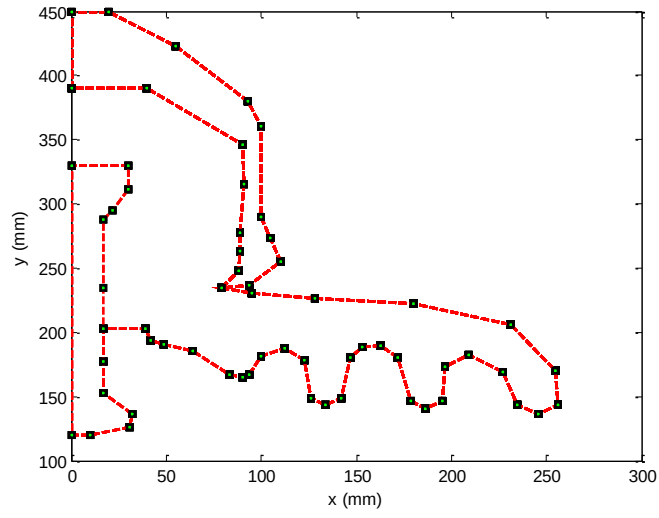


Şekil 5.15. BSFT 9336 izolatörünün açık modeli üzerinde karınca hareketi

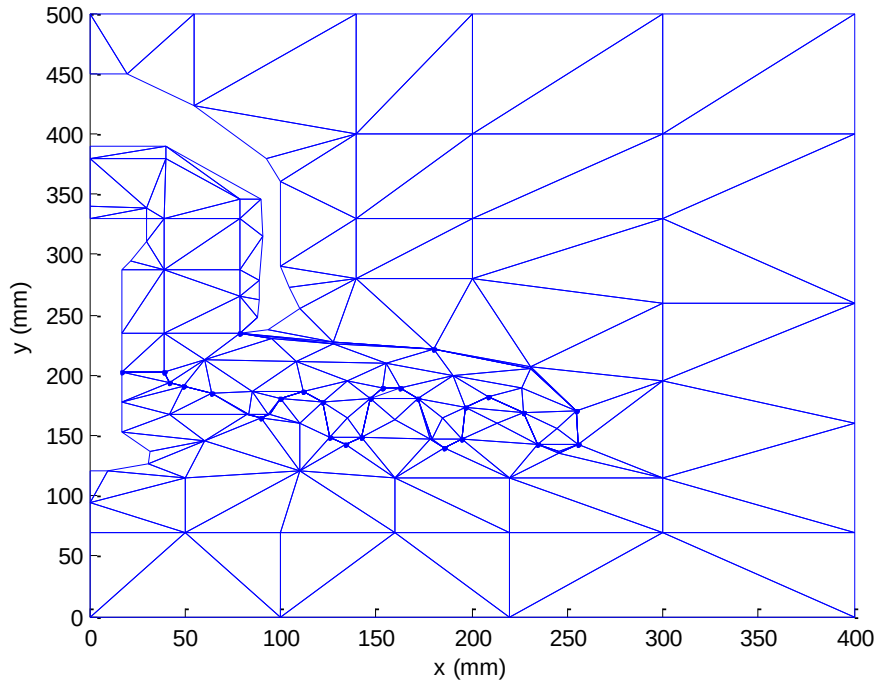
Deneyssel çalışmalarda, U160 BL tipi izolator kullanılmıştır. Bu izolatöre ait Sonlu Eleman verileri bilgisayar ortamına aktarılmış ve MATLAB ortamında hazırlanan bilgisayar programı yardımıyla gerekli hesaplama ve çizimler gerçekleştirilmiştir. U160 BL tipi izolatöre ait teknik özellikler Tablo 5.1’de verilmiştir [94].

Tablo 5.1. U160 BL izolatörünün özellikleri

Çap (D)	Yükseklik (H)	Pin Çapı (d)	Kaçak Yolu Uzunluğu	Ağırlığı
280 mm	170 mm	20 mm	390 mm	8,8 kg

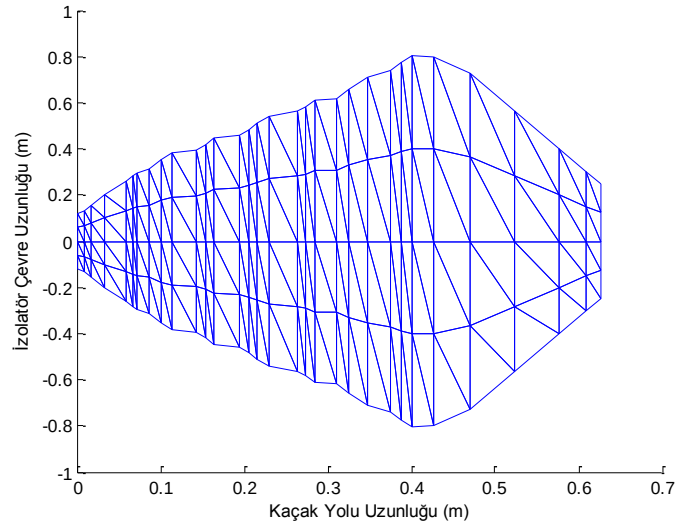


Şekil 5.16. U160 BL izolatörünün $M=1$ için belirlenen şekli (yarı simetri)

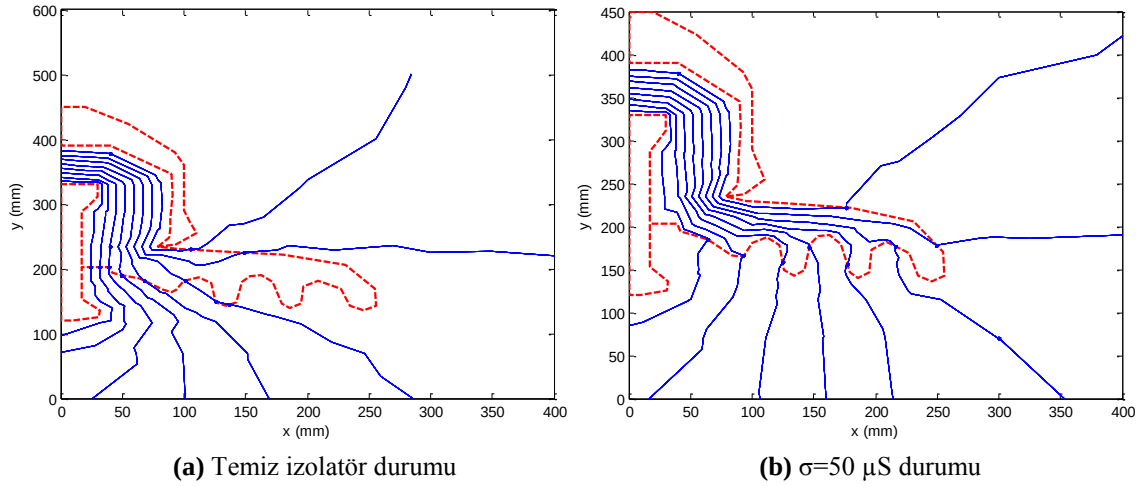


Şekil 5.17. U160 BL izolatörünün $M=1$ için Sonlu Eleman ağı

U160 BL izolatörünün açık modeli Şekil 5.18’de; $U=5$ kV, temiz izolatör ve $\sigma=50 \mu\text{S}$ değerleri için hesaplanan eşpotansiyel eğrileri ise, Şekil 5.19’da verilmiştir.



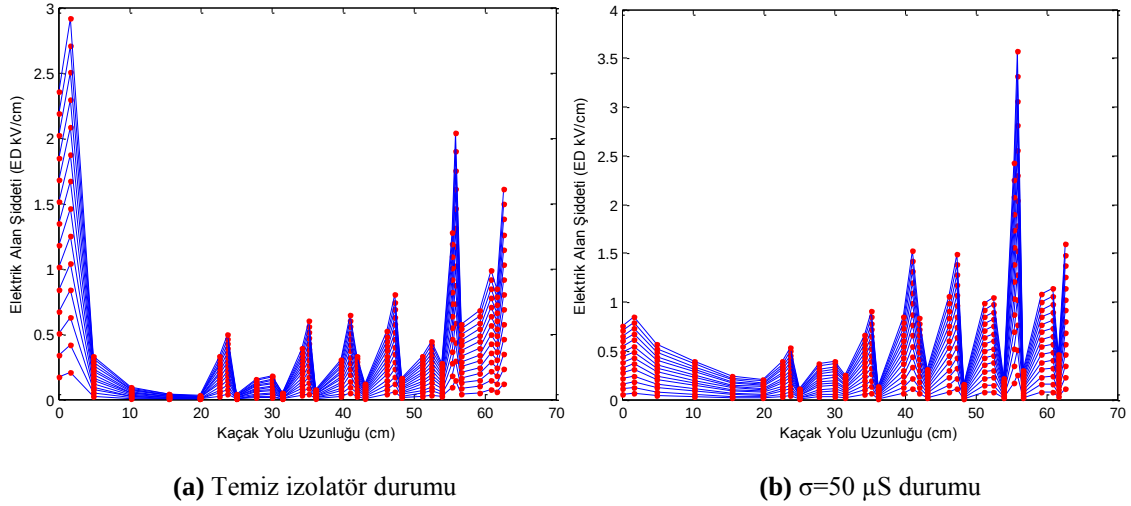
Şekil 5.18. U160 BL izolatörünün açık modeli



Şekil 5.19. U160 BL izolatörünün eşpotansiyel eğrileri

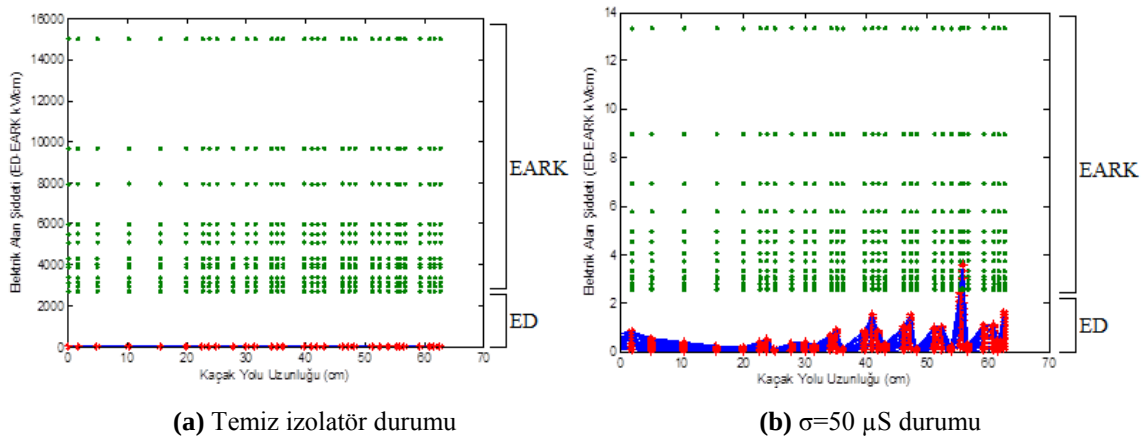
Şekil 5.20, ele alınan izolatörün temiz durum ve 50 μS yüzey iletkenlik değeri için kaçak yolu boyunca alan şiddeti değişimlerini göstermektedir. Eğriler, 5 kV değerinden başlayarak 70 kV değerine kadar 5'er kV aralıklarla artan gerilimler için çizdirilmiştir.

Şekil 5.20(a)'da kaçak yolunun ilk değerlerinde (pin tarafı) alan şiddetinin çok yüksek olduğu, iletkenlik değeri arttıkça izolatörün kapak kısmında alan şiddetinin daha yüksek değerlere ulaştığı Şekil 5.20(b)'de görülmektedir. Bu durum Şekil 5.19(a)'da eşpotansiyel eğrilerin pin kısmında daha yoğun olmasından ve Şekil 5.19(b)'de ise eğri yoğunluğunun kapak tarafına doğru kaymasından da anlaşılmaktadır.



Şekil 5.20. U160 BL izolatörünün kaçak yolu yüzey alan şiddeti eğrileri

Şekil 5.21 ise, temiz ve $50 \mu\text{S}$ yüzey iletkenlikli izolatör üzerinde yine 5 kV değerinden başlayarak 70 kV değerine kadar 5'er kV aralıklarla (14 döngü boyunca) ED ve EARK değerlerini göstermektedir. KKA yardımıyla hesaplanan EARK değerleri her adımda azalırken, 2-boyutlu model üzerinden Sonlu Elemanlar yöntemiyle hesaplanan ED değerleri artış göstermektedir. Gerilimdeki veya yüzey iletkenliğindeki artışa bağlı olarak $\text{ED} > \text{EARK}$ olan noktalarda yüzeysel deşarjlar başlayacaktır. Şekil 5.21(b)'de izolatörün kapak yakınından itibaren bu şartın gerçekleştiği ve o bölgede yüzey deşarjlarının başladığı görülmektedir. Gerilimin daha da arttırılması durumunda EARK değeri düşmeye ve ED değeri yükselmeye devam edecek, böylece yüzey üzerindeki daha çok noktalarda ark oluşumu ortaya çıkacaktır.



Şekil 5.21. U160 BL izolatörünün kaçak yolu yüzey alan şiddeti değerleri

5.5. Bilgisayar Programı ile Hesaplanan Akım Değerleri

Deneylerde kullanılan izolatörlerin iletkenlik değerleri, KKA yardımıyla geliştirilen bilgisayar programına girilmiş ve izolatörlerin yüzey kaçak akım değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan akım değerleri Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Bilgisayar programı ile hesaplanan farklı iletkenlik değerleri için yüzey kaçak akım değerleri

	Farklı İletkenlik Değerine Sahip İzolatörler İçin Bilgisayar Programı ile Hesaplanan Yüzey Kaçak Akımı Değerleri (mA)						
Uygulanan Gerilim (kV)	2,03 μ s	3,32 μ s	8,55 μ s	10,98 μ s	13,45 μ s	17,8 μ s	226 μ s
5	0,034	0,048	0,142	0,187	0,231	0,294	0,331
10	0,060	0,103	0,254	0,310	0,374	0,542	0,582
15	0,083	0,127	0,351	0,450	0,536	0,691	0,829
20	0,098	0,175	0,431	0,560	0,692	0,869	1,184
25	0,130	0,193	0,536	0,681	0,815	1,147	1,465
30	0,153	0,228	0,634	0,833	0,980	1,301	1,640
35	0,170	0,261	0,717	0,906	1,096	1,495	1,920
40	0,191	0,321	0,778	1,039	1,286	1,709	2,195
45	0,216	0,339	0,878	1,176	1,403	1,944	2,345
50	0,233	0,396	0,977	1,285	1,582	2,090	2,669
55	0,259	0,417	1,105	1,377	1,652	2,302	2,952
60	0,286	0,448	1,203	1,574	1,923	2,434	3,078
65	0,304	0,498	1,292	1,668	1,971	2,750	3,469
70	0,334	0,523	1,402	1,739	2,176	2,871	3,652

6. UYGULAMA

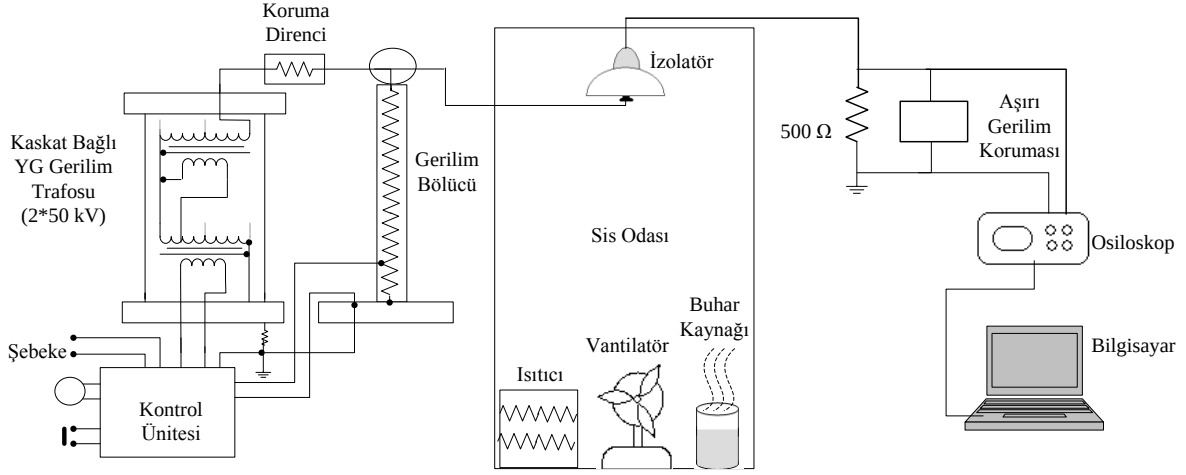
6.1. Genel Bilgi

Beşinci bölümde, YG izolatörlerinin atlama gerilimi ile kaçak akım değerlerini hesaplayan bilgisayar programına ait sonuçlar verilmişti. Bu bölümde ise, teorik çalışmalara dayalı olarak geliştirilen bilgisayar programı çıktılarını karşılaştırmak amacıyla yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

6.2. Deneysel Sistem

Deney sistemine ait şema Şekil 6.1’de görülmektedir. Her biri 50 kV’luk iki adet YG transformatörü kaskat bağlanarak 100 kV’a kadar gerilim elde edilebilmesi sağlanmıştır. Transformatör çıkış gerilimi, seri bağlı 875 k Ω ’luk bir koruma direnci üzerinden izolatöre uygulanmaktadır. Yüzey kaçak akımına ait dalga şekilleri izolatör çıkışına bağlanan 500 Ω ’luk direnç üzerinden gerilim bilgisi olarak alınmaktadır. Sistemde oluşabilecek herhangi bir arıza nedeni ile ölçüm cihazlarının zarar görmesine engel olmak için bir aşırı gerilim koruyucu kullanılmıştır. İzolatörde atlama oluştuğunda, transformatörün sekonderine bağlı olan koruma direnci zarar görür ve izolatör üzerinden büyük bir akım akarsa, 500 Ω ’luk dirençte düşen gerilim yüksek değerlere çıkar. Bu durumda, dirence paralel bağlı aşırı gerilim koruyucu kısa devre özellik göstererek osiloskop ve veri toplama cihazını (NI 6210) korur. Sistemde kullanılan gerilim bölücü yardımıyla transformatör çıkışındaki gerilim ve ayrıca akım değerleri kontrol ünitesi üzerinden izlenebilmektedir.

Deneyler için gerekli nem değerlerini oluşturmak için test odasına bir su ısıtıcı konulmuştur. Ayrıca bir ısıtıcı yardımıyla da oda sıcaklığı istenen seviyede tutulmuştur. Sistem odasına yerleştirilen bir vantilatör yardımıyla, oda içerisindeki ısı ve nemin homojen dağılımı sağlanmıştır.



Şekil 6.1. Deney Sistemi

6.3. Deney Prosedürleri

6.3.1. YG İzolatörlerinin Deneyler İçin Hazırlanması

Örnek olarak ele alınan bir zincir izolatör elemanının (porselen) yüzey kaçak akım testleri, Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'ndeki yüksek gerilim laboratuvarında AA altında yapılmıştır. Atlama gerilimini ölçmek için, izolatörün kapak (cap) kısmı toprağa, sap (pin) kısmı ise AA yüksek gerilim kaynağına bağlanmıştır. Yapay kirlilik, NaCl ile saf suyun karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Deneyde, %0,2, %0,4, %0,6, %1,0, %1,2, %1,6 ve %2,0, olmak üzere 7 farklı oranda tuz solüsyonu hazırlanmıştır. %1,2 tuz çözeltisi için 100 ml suda 1,2 gr NaCl eritilmiştir. Diğer solüsyonlar da benzer şekilde hazırlanmıştır. Solüsyonların izolatör yüzeyine dengeli dağılımını sağlamak için bir askı sistemi oluşturulmuş ve izolatörler bu askı sistemine asılmıştır. Hazırlanan tuzlu su karışımları, test edilecek izolatörlerin yüzeylerine homojen olarak ayrı ayrı püskürtülmüş ve kurumaya bırakılmıştır. Bu işlem, tüm karışımın izolatör yüzeyine püskürtülmesi sağlanıncaya kadar tekrarlanmıştır. Böylece her biri farklı iletkenlik değerine sahip 7 adet izolatör test için hazır hale getirilmiştir. Ayrıca, temiz durum şartlarını incelemek için bir adet temiz izolatör kullanılmıştır. İzolatörlerin kirlenmesi işlemi biter bitmez test işlemlerine geçilmiştir.

6.3.2. Deney Sonuçlarının Alınması

Deney sonuçları, kuruda, %60 ve %85 bağıl nem değerleri altında alınmıştır. Böylece üç farklı nem şartları altında sonuçlar elde edilerek karşılaştırılmıştır. İlk olarak temiz izolatör, kuru şartlar altında test işlemine tabi tutulmuş ve yüksek gerilim transformatörü çıkışına bağlı koruma direnci üzerinden izolatör enerjilendirilmiştir. Başlangıçta 5 kV gerilim uygulanarak 500 ohm'luk direnç üzerinden gerilimin dalga şekli hem osiloskopa hem de veri toplama cihazı üzerinden bilgisayara kaydedilmiştir. Osiloskoptan okunan gerilimin tepe değerinden hareketle yüzey kaçak akımının tepe ve efektif değerleri hesaplanmıştır. Bilgisayara alınan verilerin şekilleri MATLAB programı kullanılarak çizdirilmiştir. Daha sonra her adımda gerilim değeri 5 kV arttırılarak benzer şekilde kaçak akım değerleri kaydedilmiştir.

Aynı işlemler kuru durumda farklı kir değerlerine sahip her bir izolatör için sırayla tekrarlanmıştır. Daha sonra %60 ve %85 nem şartları için de benzer şekilde izolatörler test işlemine tabi tutulmuşlardır. Yapılan deneylerde, izolatörlerin farklı nem şartlarındaki temiz ve kirli durumları için atlama olayı ve yüzey kaçak akım dalga şekilleri incelenmiştir.

İzolatörlerin ESDD değerlerini hesaplamak için iki metot kullanılabilir. Birinci metot, izolatör yüzeyine püskürtülen çözeltideki tuz miktarının izolatör yüzey alanına bölünmesidir. Mesela % 0,2'lik çözelti ile 0,2 gram tuz 100 ml saf suya katılmış ve bu çözelti izolatör yüzeyine püskürtülmüştür. Bunun anlamı 0,2 gram yani 200 miligram tuz izolatör yüzeyine homojen olarak püskürtülmüştür. Testlerde kullandığımız izolatörün yüzey alanı 6442 cm² olduğuna göre, izolatörün bu kirlenme seviyesindeki ESDD değeri 200/6442 mg/cm² ifadesiyle 0,031 mg/cm² olarak hesaplanır. Bu metotla elde edilecek değer doğruluğu, tuz çözeltisinin kayıpsız olarak izolatör yüzeyine püskürtülmesine bağlıdır. Püskürtme esnasında tuzlu su çözeltisinin çok az da olsa bir kısmı ister istemez havaya uçuşacağından, tamamının izolatör yüzeyine püskürtülmesi mümkün olmayacaktır. Bu nedenle ikinci metot ile hesaplama yöntemine gidilmiştir.

İkinci metodun işlem aşamaları şöyledir; Atlama testi sonrası, izolatör yüzeyine saf su püskürtülerek yıkanmıştır. Yıkama sonucu elde edilen kirli suyun hacmi ve iletkenliği ölçülmüştür. Aynı zamanda sıcaklık değeri de kaydedilmiştir. Farklı sıcaklıklardaki iletkenlik değerleri Denklem 6.1 kullanılarak 20 °C'ye dönüştürülmüştür.

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - b (\theta - 20)] \quad (6.1)$$

Burada, θ çözeltinin sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), σ_{θ} çözeltinin θ sıcaklığındaki iletkenliği, σ_{20} çözeltinin 20°C sıcaklığındaki iletkenliği (S/m) ve b ise Tablo 6.1’de verilen sıcaklığa bağlı bir faktördür.

%0,2 tuz çözeltisi ile kirletilen izolatörün test sonrasında saf su ile yıkanmasıyla oluşan çözeltinin $20,6^{\circ}\text{C}$ ’deki iletkenliği iletken ölçer yardımıyla $2320\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ve hacmi ise $100\ \text{cm}^3$ olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler Denklem 6.1’de yerine yazılarak $\sigma_{20}=2288,3\ \mu\text{S}/\text{cm}$ olarak hesaplanmıştır. $\mu\text{S}/\text{cm}$ birimi S/m’ye dönüştürülünce $\sigma_{20}=2288,3 \cdot 10^{-4}$ S/m olarak elde edilmiştir.

Tablo 6.1. ‘b’ katsayısının sıcaklığa bağlı değerleri

$\theta (^{\circ}\text{C})$	b
5	0,03156
10	0,02817
20	0,02277
30	0,01905

Çözeltinin tuzluluk miktarı (S_a) Denklem 6.2 yardımıyla belirlenir.

$$S_a = (5,7 \cdot \sigma_{20})^{1,03} \quad (6.2)$$

σ_{20} değeri Denklem 6.2’de yazılarak $S_a=1,314$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak ESDD Denklem 6.3 yardımıyla belirlenebilir.

$$\text{ESDD} = (S_a \times \text{Vol}) / A \quad (6.3)$$

Burada, Vol çözeltinin hacmi (cm^3) ve A test izolatörünün yüzey alanıdır ($6442\ \text{cm}^2$). Bu durumda tüm değerler Denklem 6.3’de yerine yazılmış ve $0.2\ \text{gr}/100\ \text{ml}$ çözelti ile kirletilmiş izolatör için ESDD değeri $0,0203\ \text{mg}/\text{cm}^2$ olarak elde edilmiştir.

Her iki yöntemde de elde edilen değerler arasındaki fark, yukarıda belirtildiği gibi çözeltinin tamamının izolatör yüzeyine püskürtülememesinden kaynaklanmaktadır. Zaten ikinci metot bu nedenle kullanılmaktadır.

Test sonrası kirli izolatörlerin yıkanmasıyla elde edilen çözeltiler için ölçülen büyüklükler Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2. Test sonrası yıkanan izolatörlerden elde edilen çözeltilerin ölçülen bazı değerleri

Kir Seviyesi (gr/100 ml)	Sıcaklık (°C)	Hacim (cm³)	Ölçülen İletkenlik (μS)
0,2	20,6	100	2320
0,4	21,3	100	3790
0,6	20,9	110	8630
1,0	20,3	100	11810
1,2	20,7	130	11250
1,6	20,7	100	19060
2,0	20,8	140	17380

Çözeltilerin tuzluluk oranlarına karşılık gelen ESDD ve iletkenlik değerleri Tablo 6.3’te gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Farklı tuzluluk oranlarına karşılık ESDD ve iletkenlik değerleri

Tuzluluk (gm/ml)	ESDD (mg/cm²)	İletkenlik(σ) (μS/cm)
0,2	0,0203	2,03
0,4	0,0332	3,32
0,6	0,0855	8,55
1,0	0,0946	9,46
1,2	0,1345	13,45
1,6	0,1781	17,81
2,0	0,2262	22,62

6.3.2.1. Kuru Durumda Yapılan Deneyler

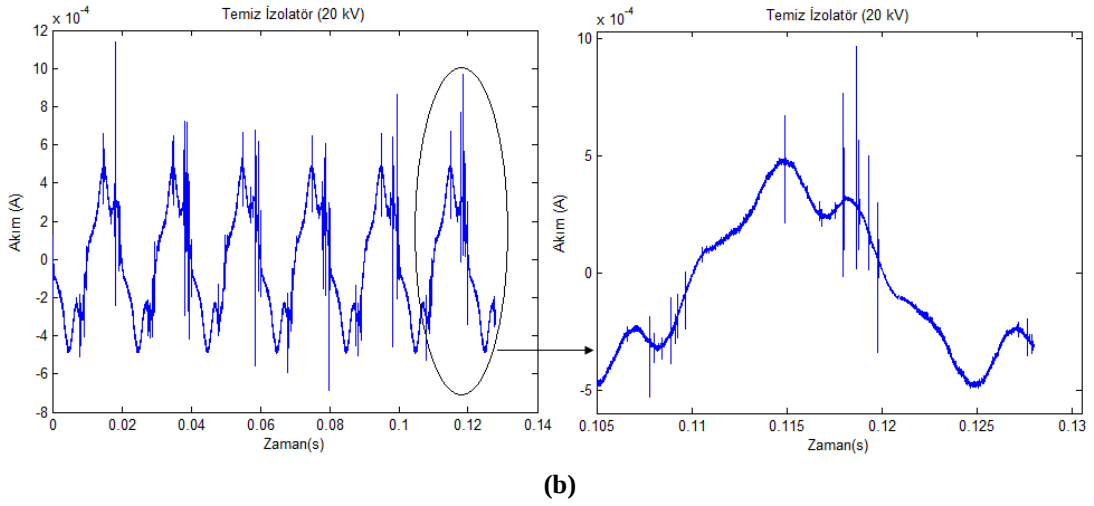
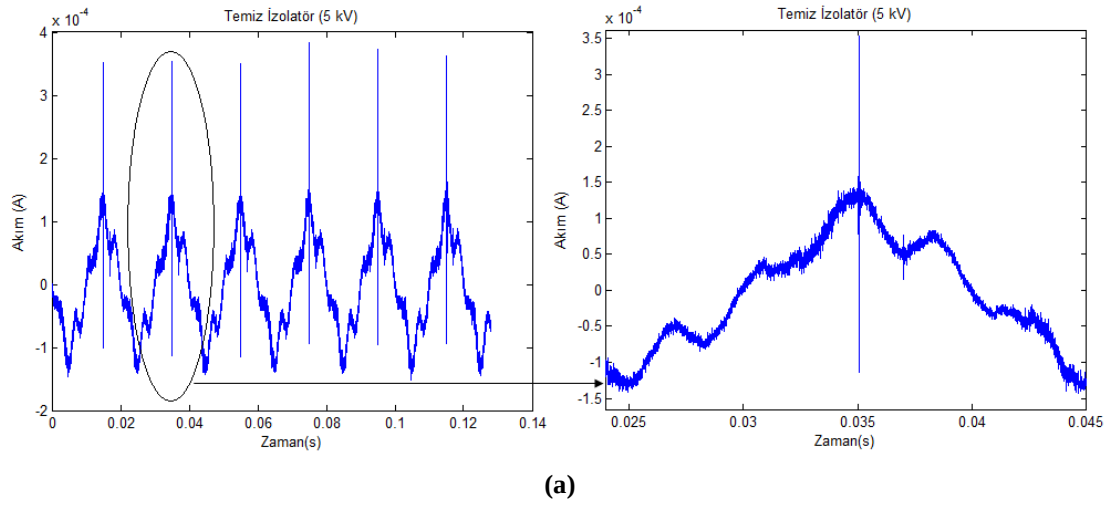
Kuru şartlar altında yapılan deneysel çalışmalarda, her bir izolatör için ölçülen kaçak akımların efektif değerleri ile akım darbelerinin en yüksek tepe değerleri Tablo 6.4’de verilmiştir.

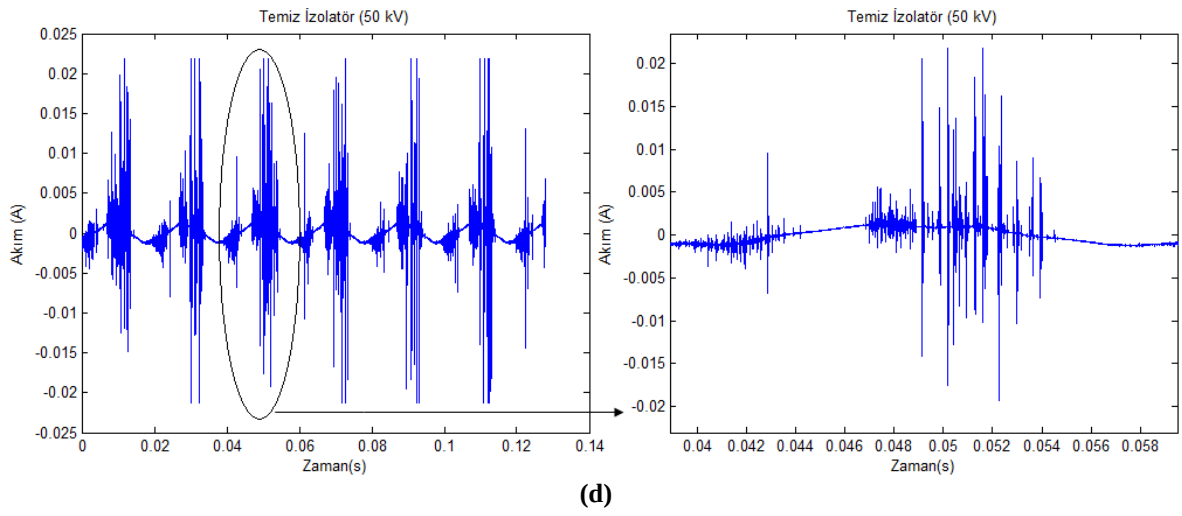
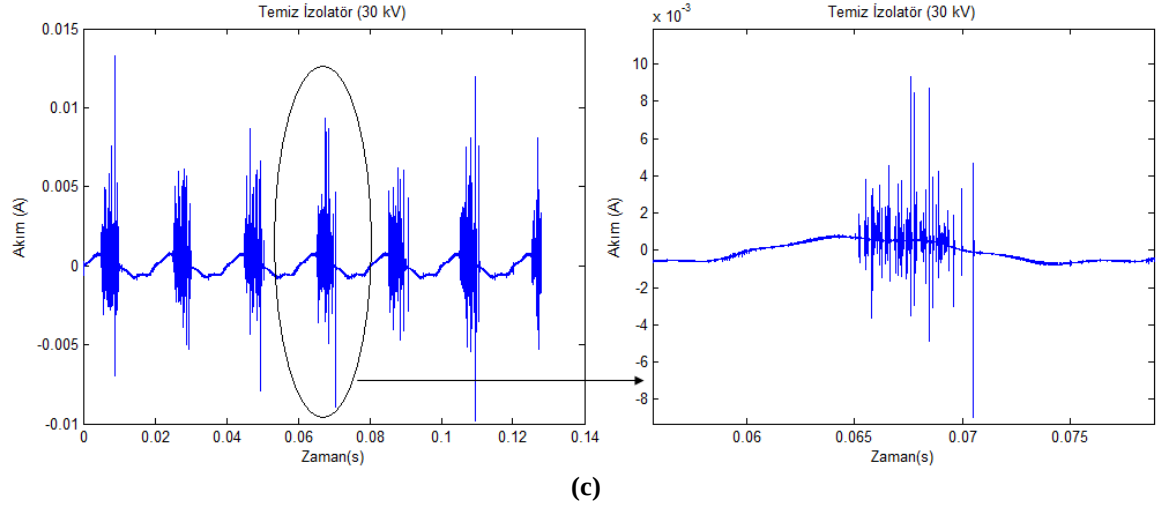
Tablo 6.4. Kuru durum için yüzey kaçak akımlarının efektif ve en yüksek tepe değerleri

	$\sigma=2,03 \mu\text{s/cm}$		$\sigma=3,32 \mu\text{s/cm}$		$\sigma=10,98 \mu\text{s/cm}$	
Uyg. Ger. (kV)	I(eff) (mA)	I(peak) (mA)	I(eff) (mA)	I(peak) (mA)	I(eff) (mA)	I(peak) (mA)
5	0,084	0,353	0,078	0,148	0,100	0,408
10	0,152	0,478	0,148	0,251	0,182	0,504
15	0,224	3,901	0,218	1,493	0,266	0,586
20	0,292	4,238	0,292	11,720	0,346	0,871
25	0,372	8,780	0,374	21,380	0,426	19,440
30	0,464	15,490	0,460	19,800	0,518	11,310
35	0,562	15,560	0,550	14,110	0,610	16,590
40	0,650	18,910	0,648	17,020	0,716	21,830
45	0,756	21,830	0,750	20,370	0,816	21,740
50	0,860	21,830	0,856	21,560	0,926	21,830
	$\sigma=13,45 \mu\text{s/cm}$		$\sigma=17,8 \mu\text{s/cm}$		$\sigma=22,6 \mu\text{s/cm}$	
Uyg. Ger. (kV)	I(eff) (mA)	I(peak) (mA)	I(eff) (mA)	I(peak) (mA)	I(eff) (mA)	I(peak) (mA)
5	0,092	0,142	0,098	0,143	0,090	0,153
10	0,164	0,289	0,178	0,253	0,162	0,255
15	0,246	0,811	0,258	0,591	0,240	0,381
20	0,328	2,700	0,338	2,151	0,316	0,909
25	0,406	10,670	0,420	9,444	0,404	10,790
30	0,492	21,830	0,510	12,100	0,490	12,010
35	0,580	21,830	0,600	17,650	0,576	13,240
40	0,672	21,830	0,694	21,570	0,668	21,780
45	1,720	21,830	0,800	21,830	0,772	21,830
50	0,880	21,830	0,914	21,830	0,876	21,830
Temiz						
Uyg. Ger. (kV)	I(eff) (mA)	I(peak) (mA)	Uyg. Ger. (kV)	I(eff) (mA)	I(peak) (mA)	
5	0,090	0,383	30	0,484	13,250	
10	0,162	0,383	35	0,578	17,160	
15	0,264	0,582	40	0,674	20,710	
20	0,346	1,137	45	0,868	21,830	
25	0,440	21,420	50	0,972	21,830	

a) Temiz İzolatör Durumu

Daha önceden saf suyla yıkanarak temizlenen test izolatörü, kuru şartlar altındaki deney odasına konularak test işlemine başlanmıştır. Başlangıçta 5 kV gerilim uygulanarak izolatör yüzeyinde akan kaçak akım bilgisi hem osiloskopa hem de veri toplama cihazı üzerinden bilgisayara kaydedilmiştir. Bilgisayara alınan verilerin şekilleri MATLAB programı kullanılarak çizdirilmiştir (Şekil 6.2).

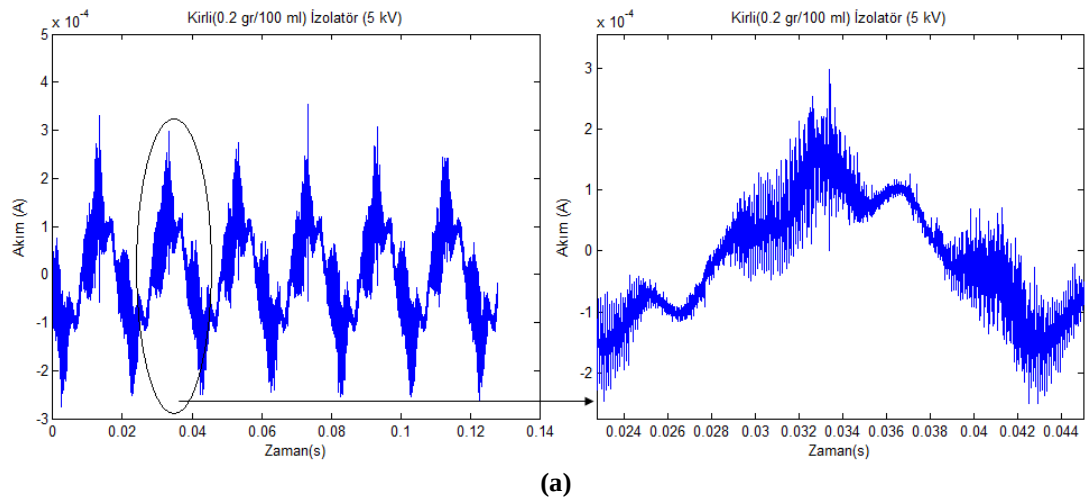


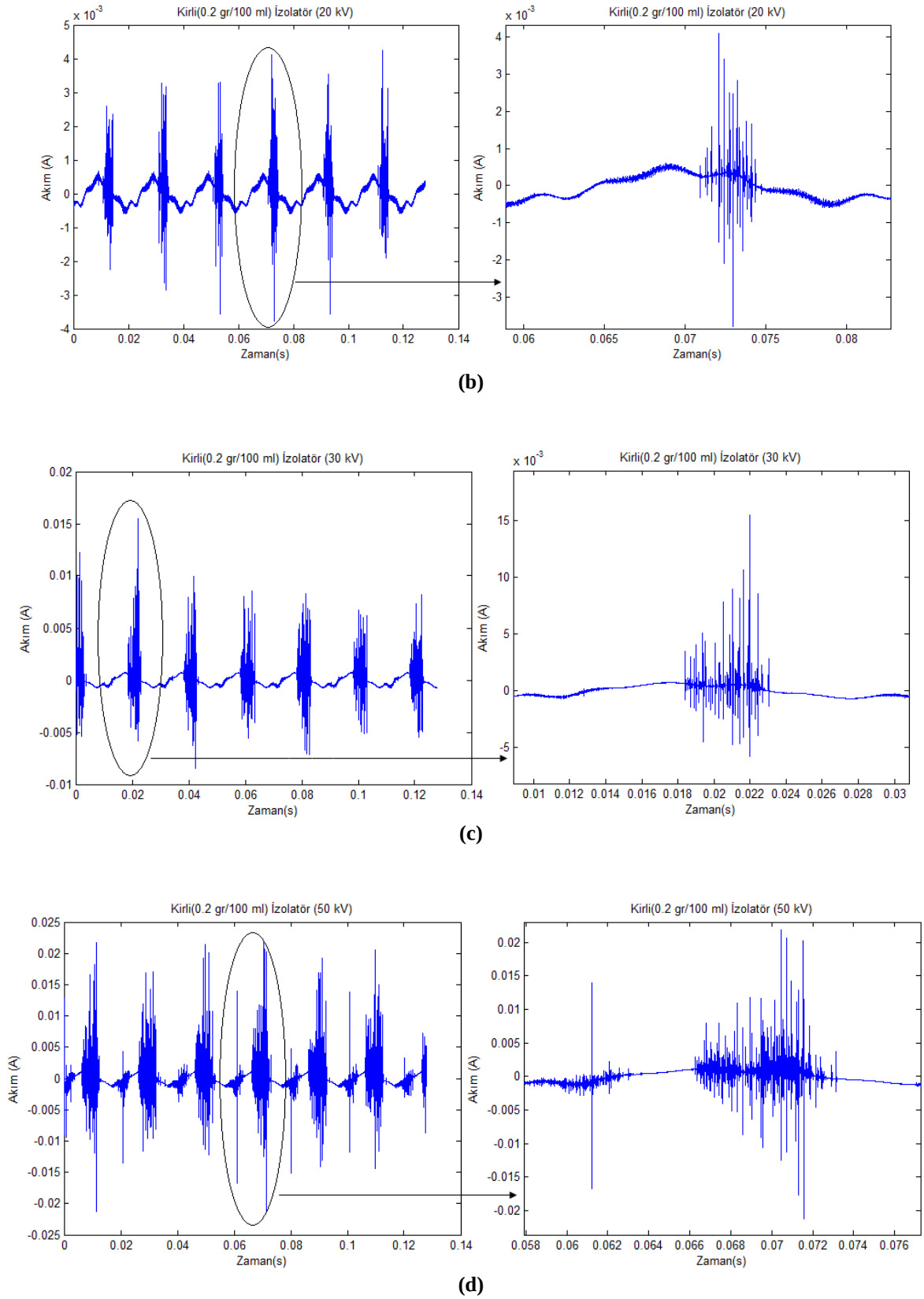


Şekil 6.2. Temiz izolatör için kuru durumda kaçak akım grafikleri
(a) 5 kV (b) 20kV (c)30 kV (d)50 kV

b) Düzgün Dağılımlı Kir Tabakası Deneyleri

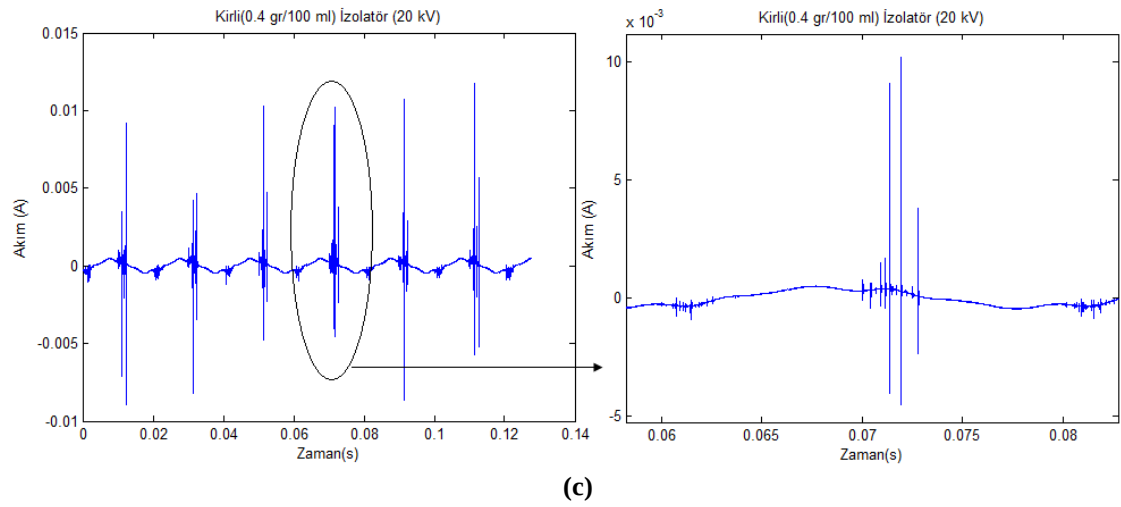
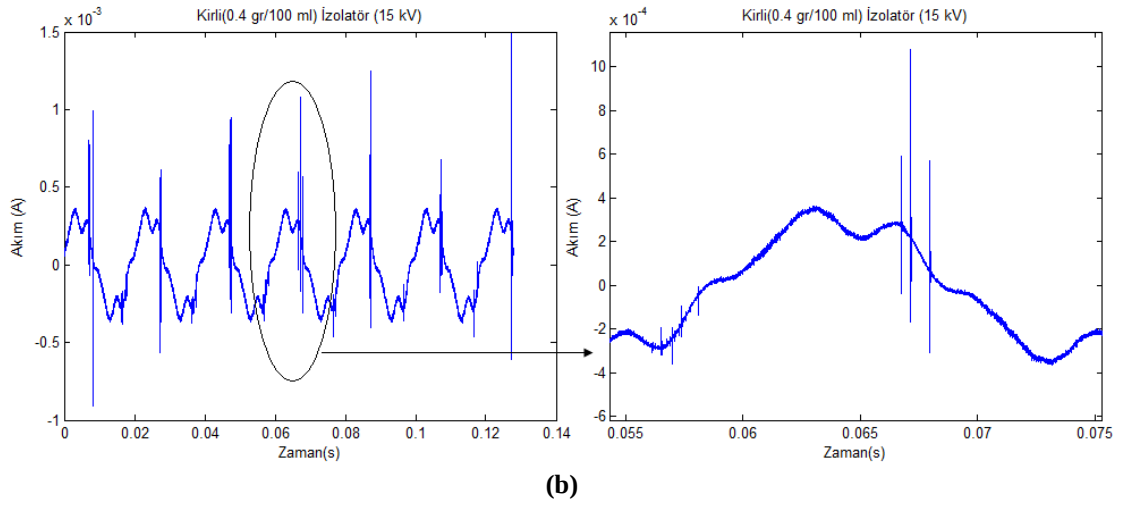
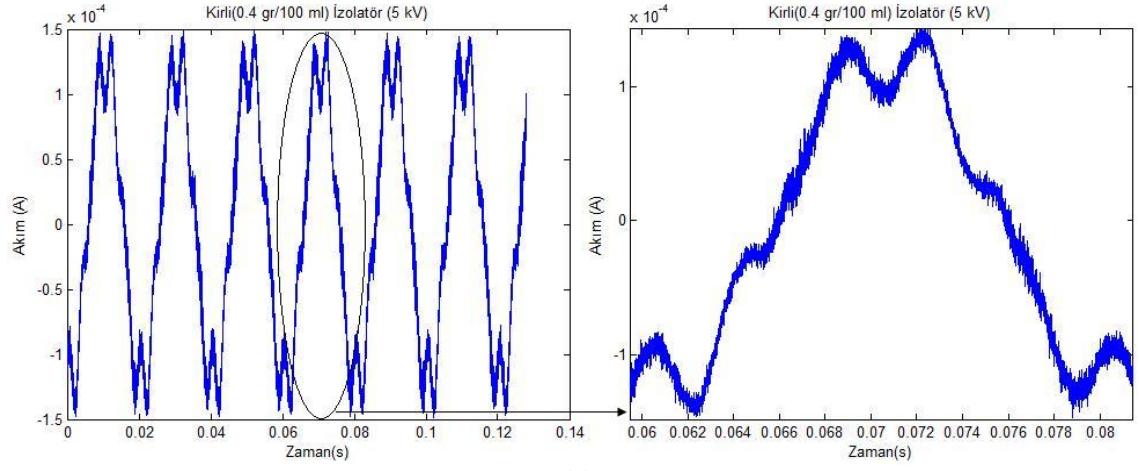
b-1) 0,2 gr/100ml NaCl ile Kirletilmiş İzolatörün Kaçak Akım Grafikleri:

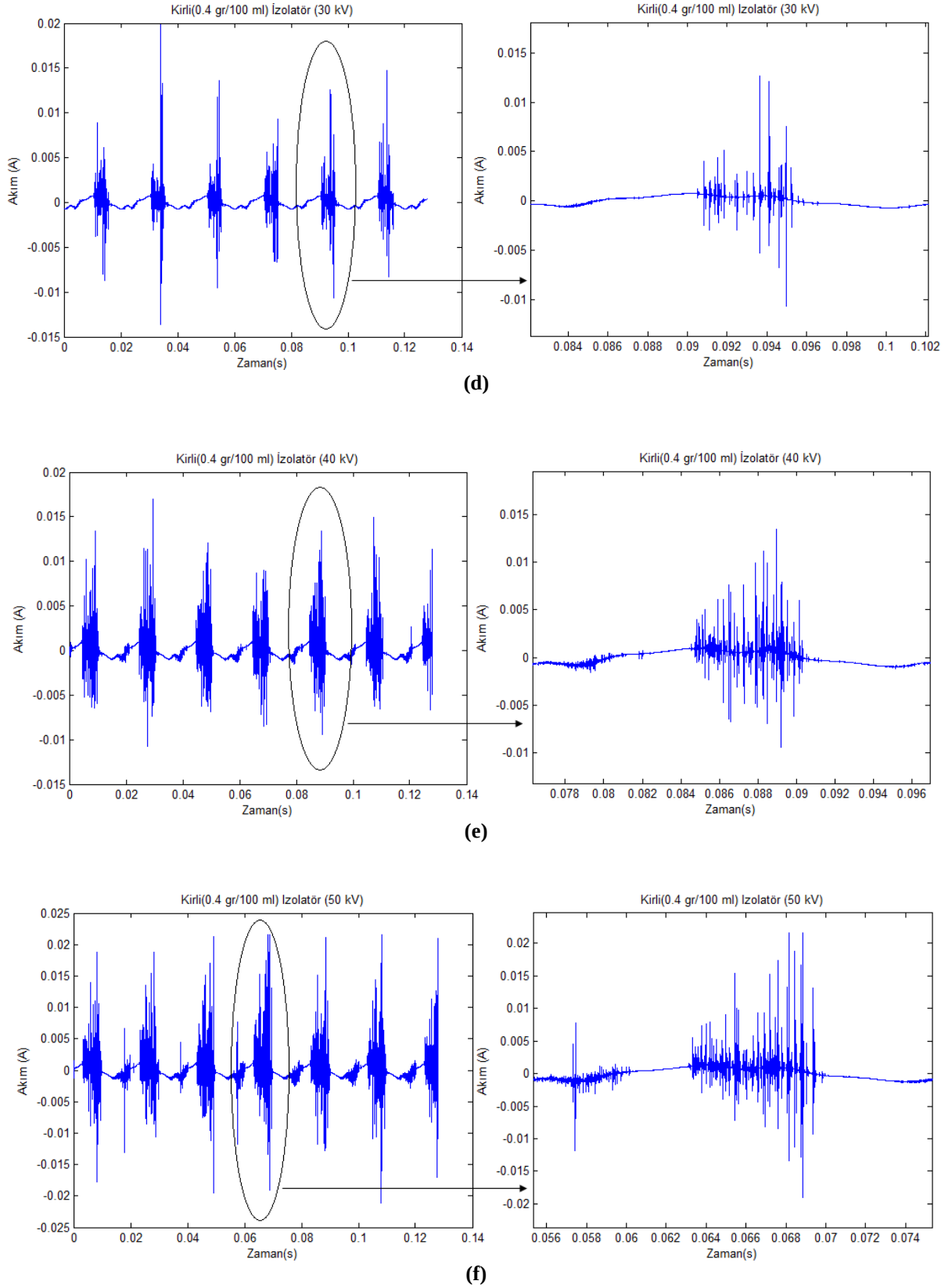




Şekil 6.3. 0,2 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için kuru durumda kaçak akım grafikleri
(a) 5 kV **(b)** 20kV **(c)** 30 kV **(d)** 50 kV

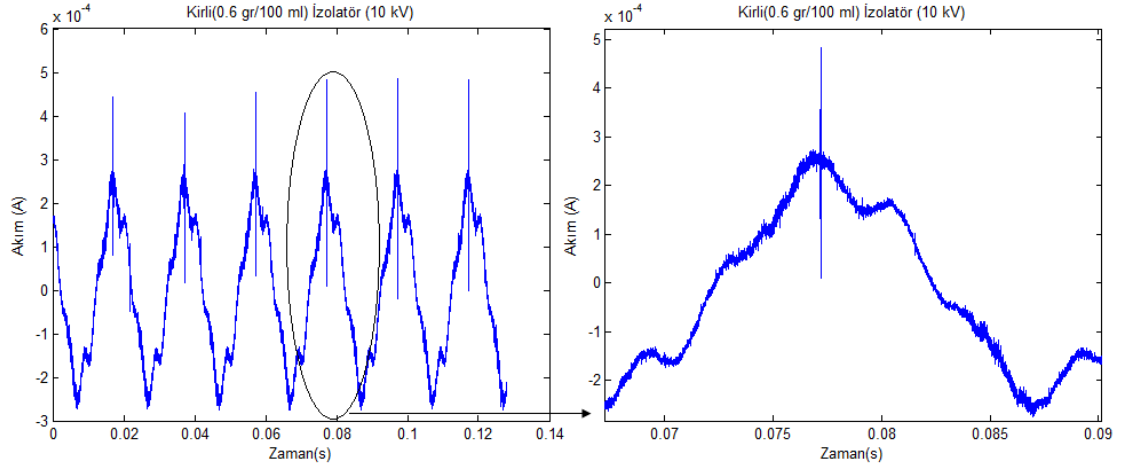
b-2) 0,4 gr/100ml NaCl ile Kirletilmiş İzolatörün Kaçak Akım Grafikleri:



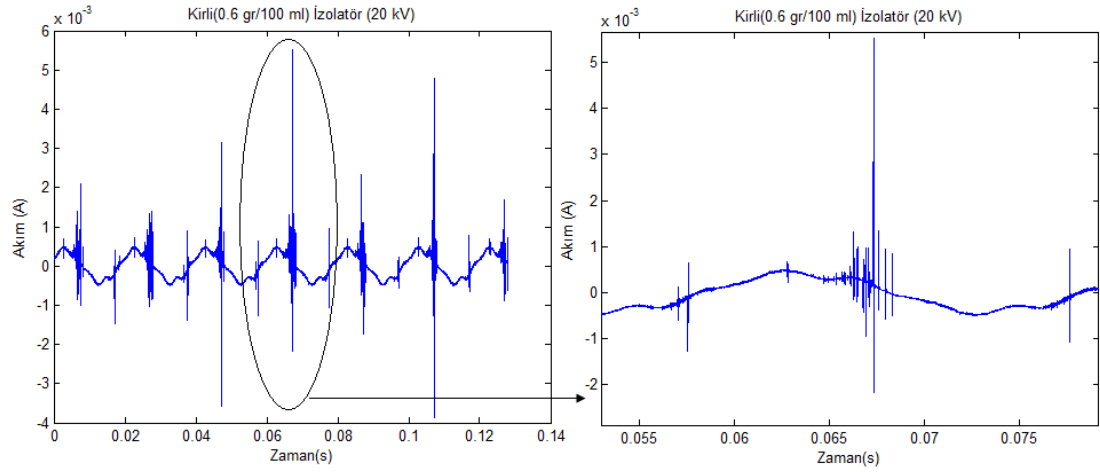


Şekil 6.4. 0,4 gr NaCl ile kirlenmiş izolatör için kuru durumda kaçak akım grafikleri
(a) 5 kV **(b)** 15 kV **(c)** 20kV **(d)** 30 kV **(e)** 40 kV **(f)** 50 kV

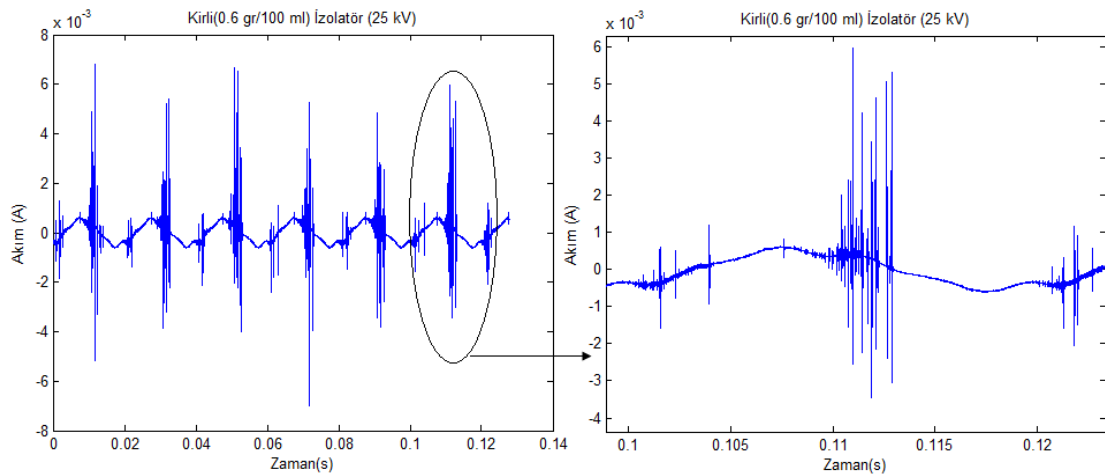
b-3) 0,6 gr/100ml NaCl ile Kirletilmiş İzolatörün Kaçak Akım Grafikleri:



(a)



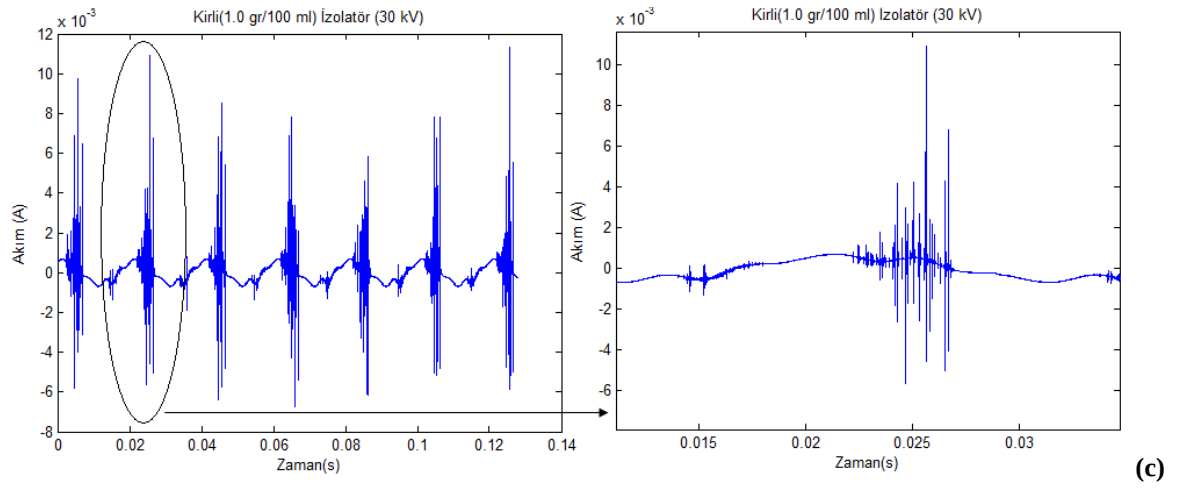
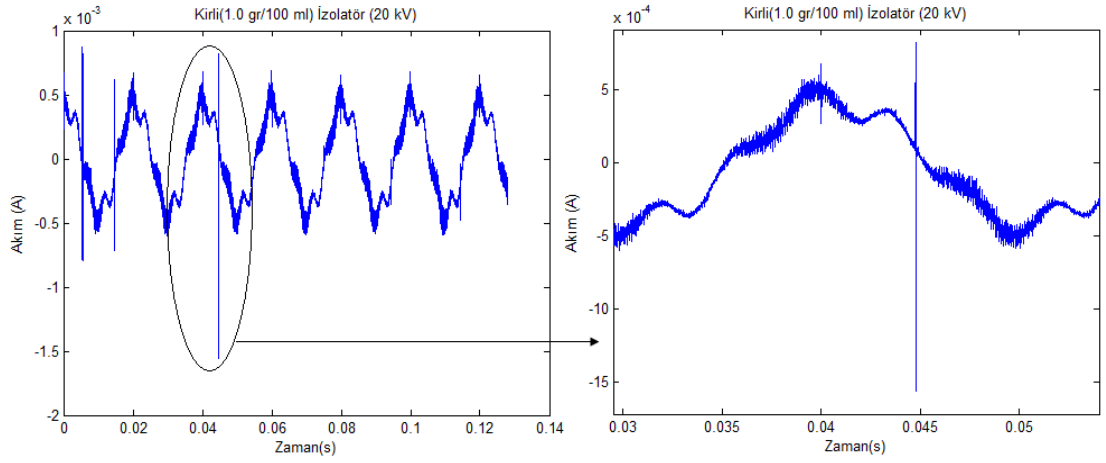
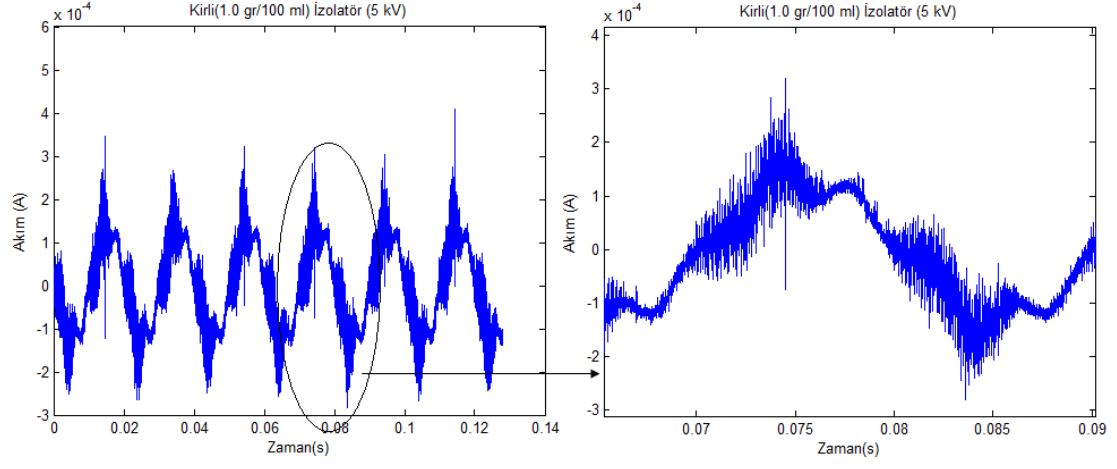
(b)

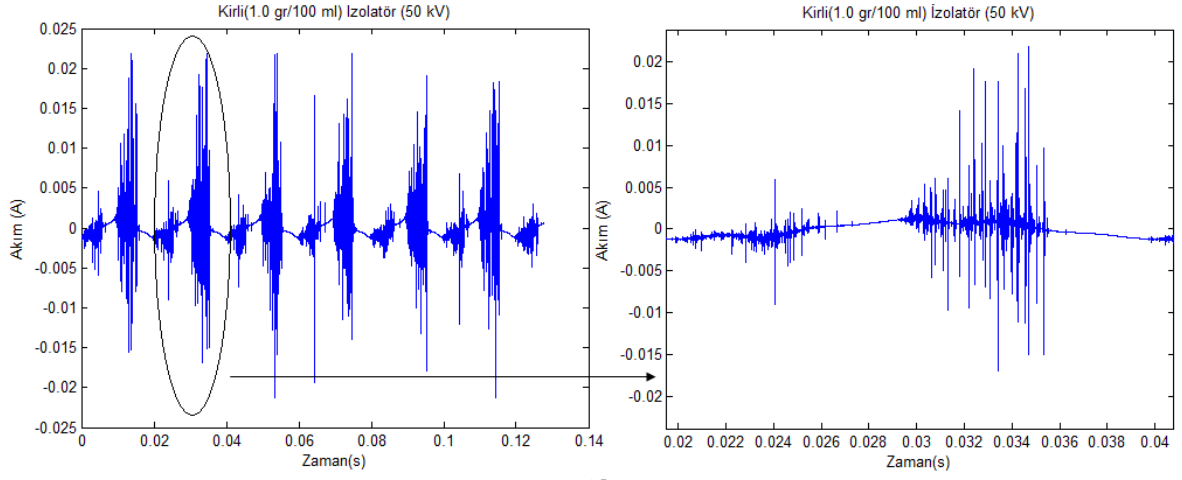


(c)

Şekil 6.5. 0,6 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için kuru durumda kaçak akım grafikleri
(a) 10 kV (b) 20kV (c)25 kV

b-4) 1,0 gr/100ml NaCl ile Kirletilmiş İzolatörün Kaçak Akım Grafikleri:

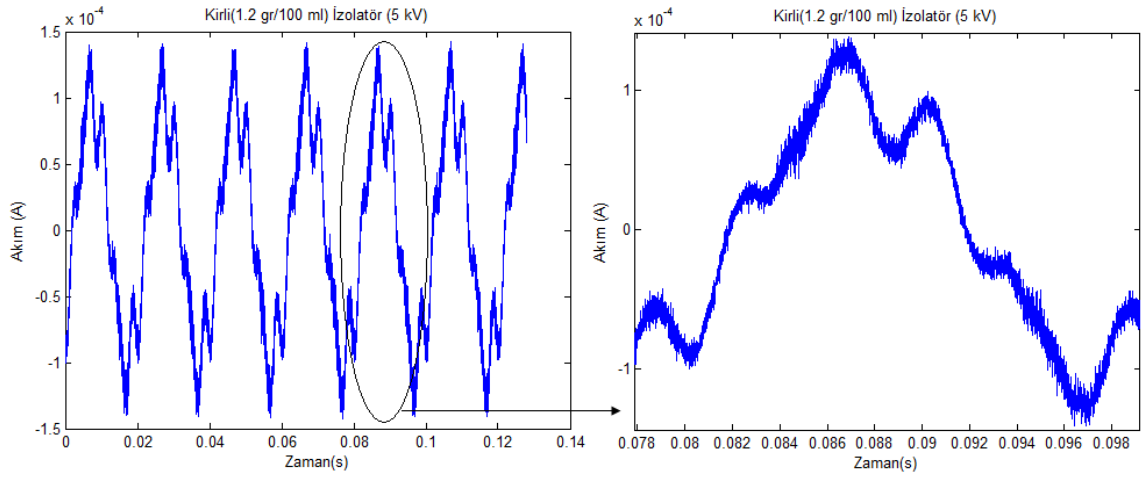




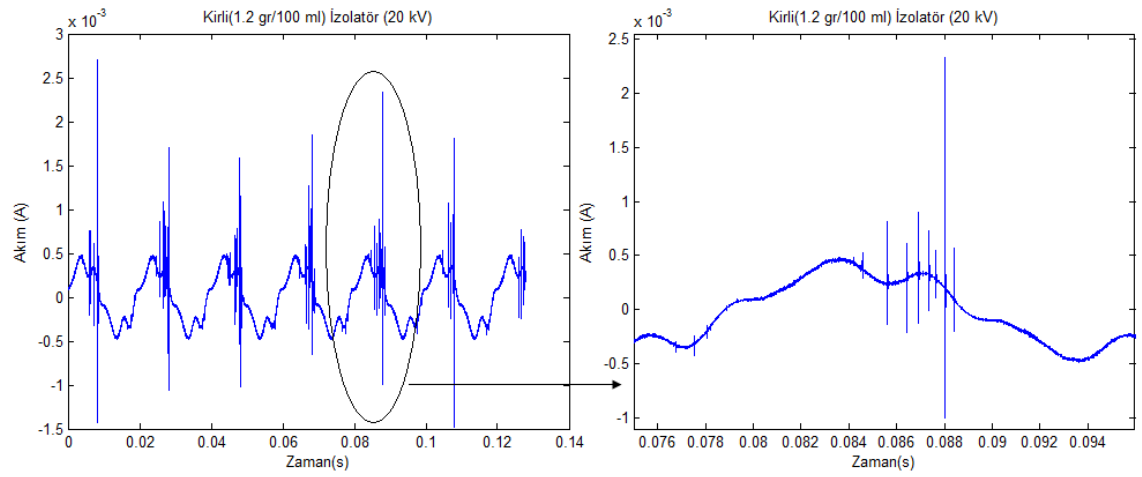
(d)

Şekil 6.6. 1,0 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için kuru durumda kaçak akım grafikleri
(a) 5 kV (b) 20kV (c)30 kV (d)50 kV

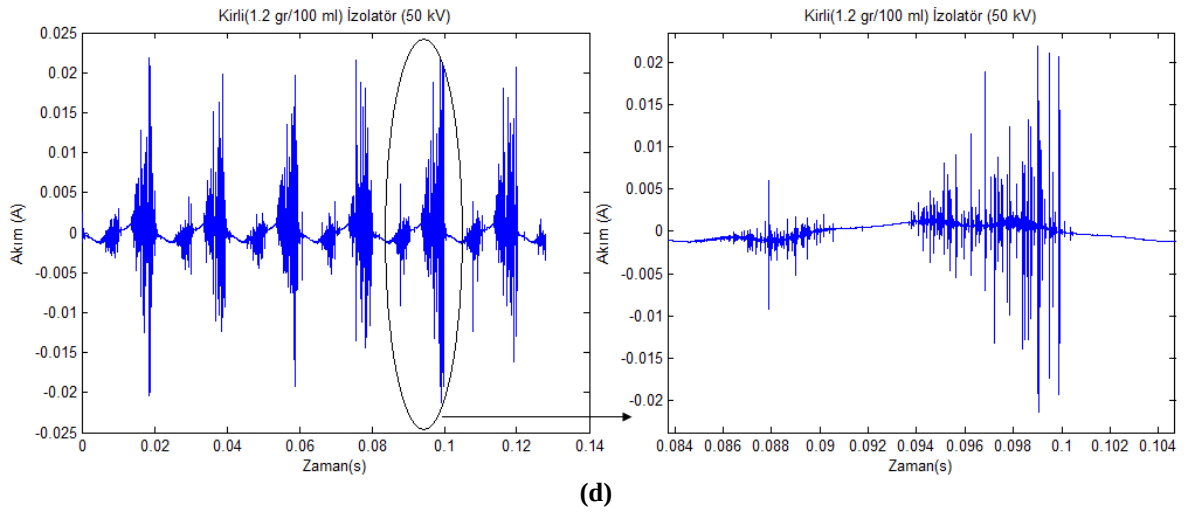
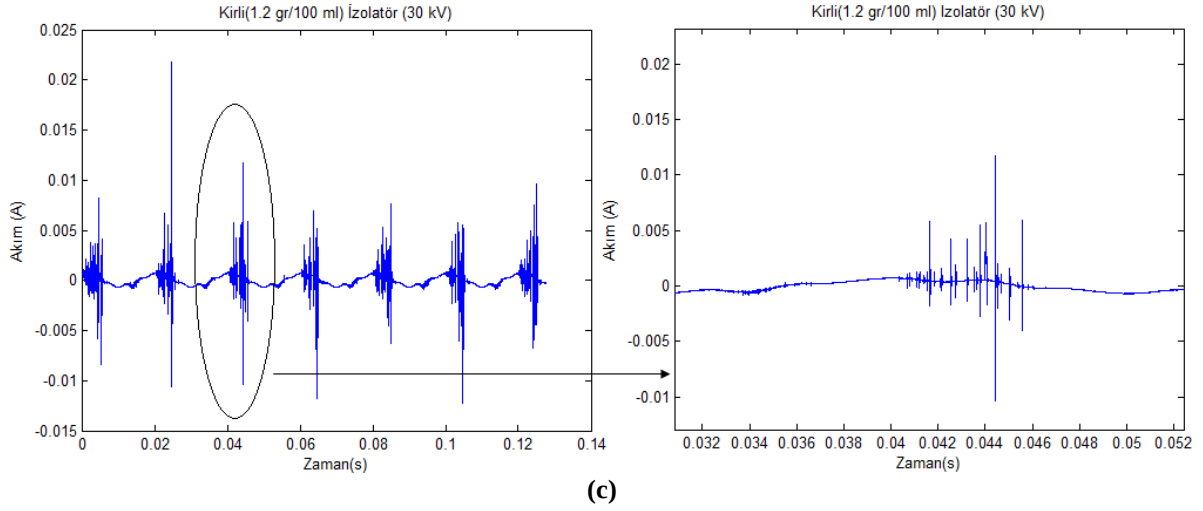
b-5) 1,2 gr/100ml NaCl ile Kirletilmiş İzolatörün Kaçak Akım Grafikleri:



(a)



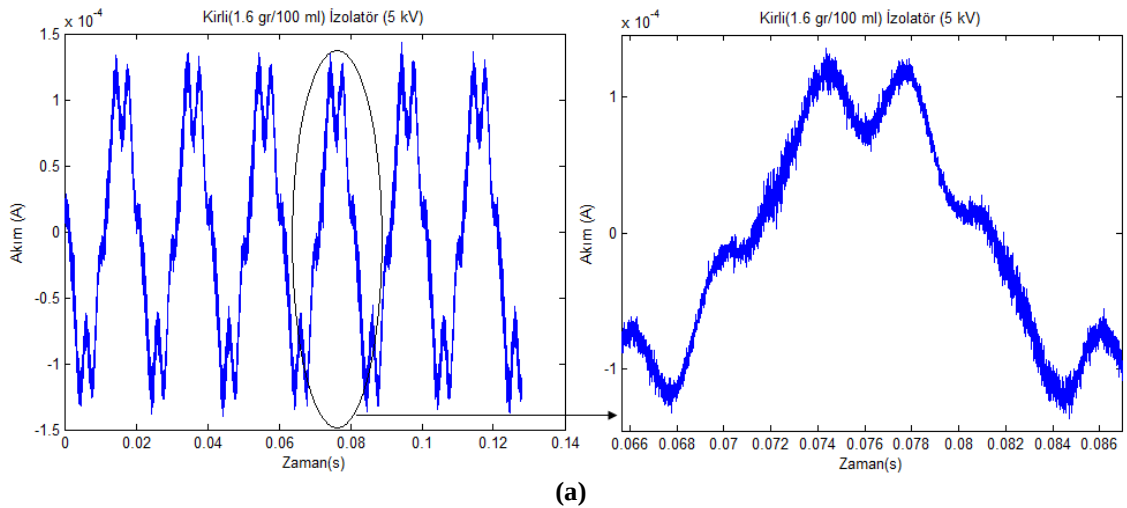
(b)

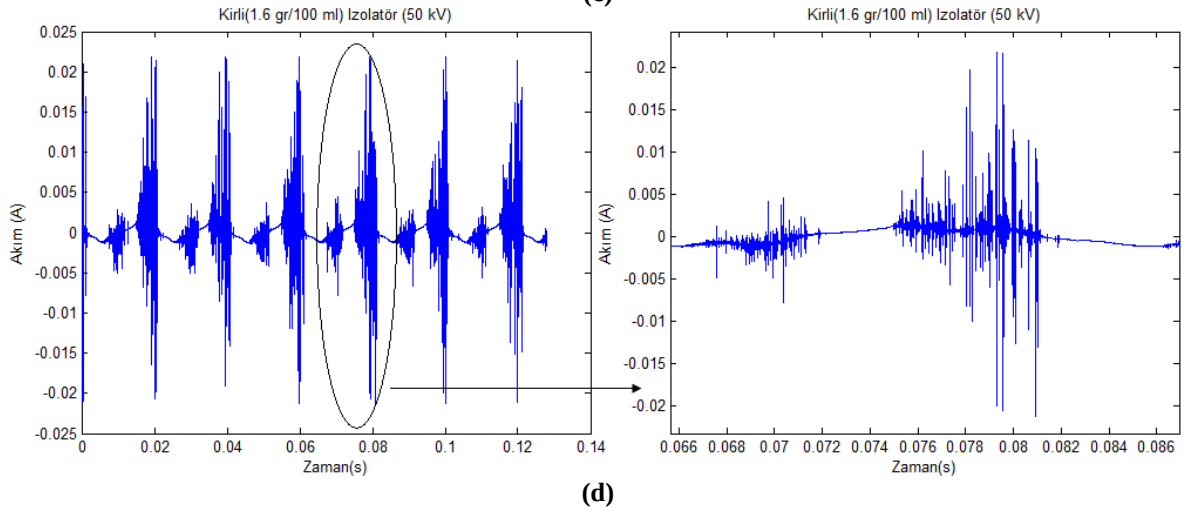
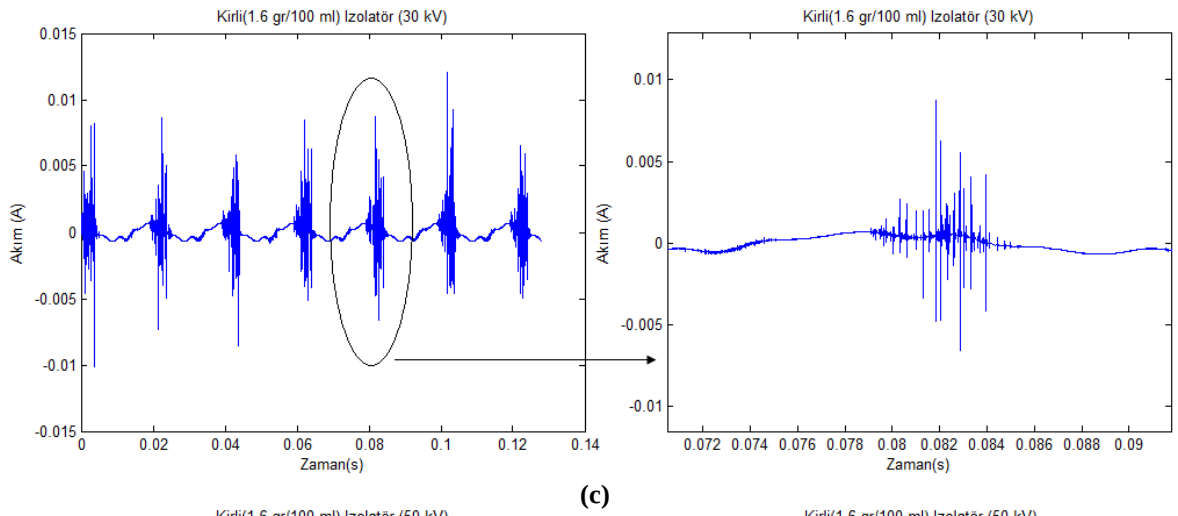
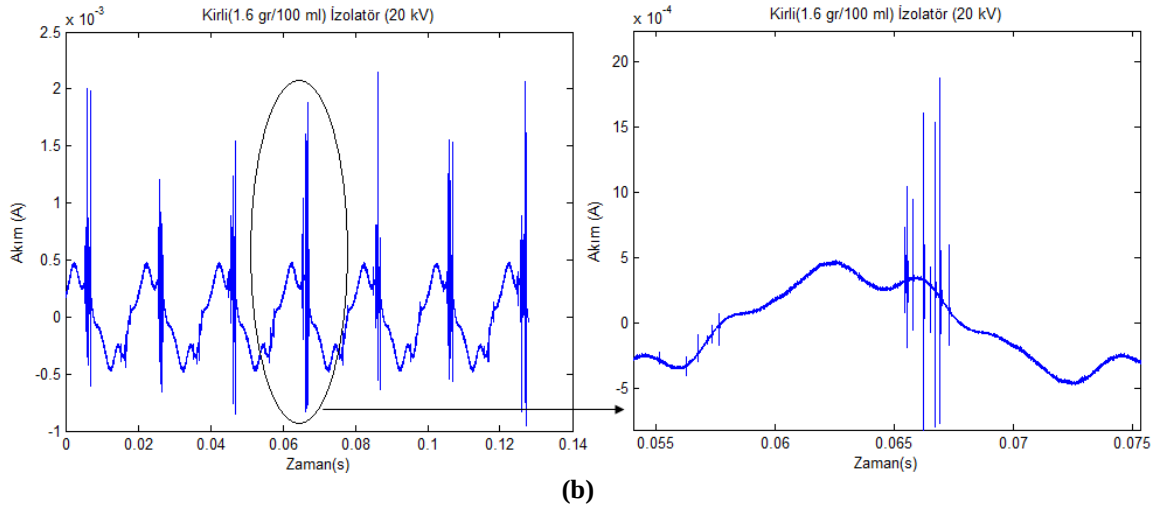


Şekil 6.7. 1,2 gr NaCl ile kirlenmiş izolator için kuru durumda kaçak akım grafikleri

(a) 5 kV (b) 20kV (c)30 kV (d)50 kV

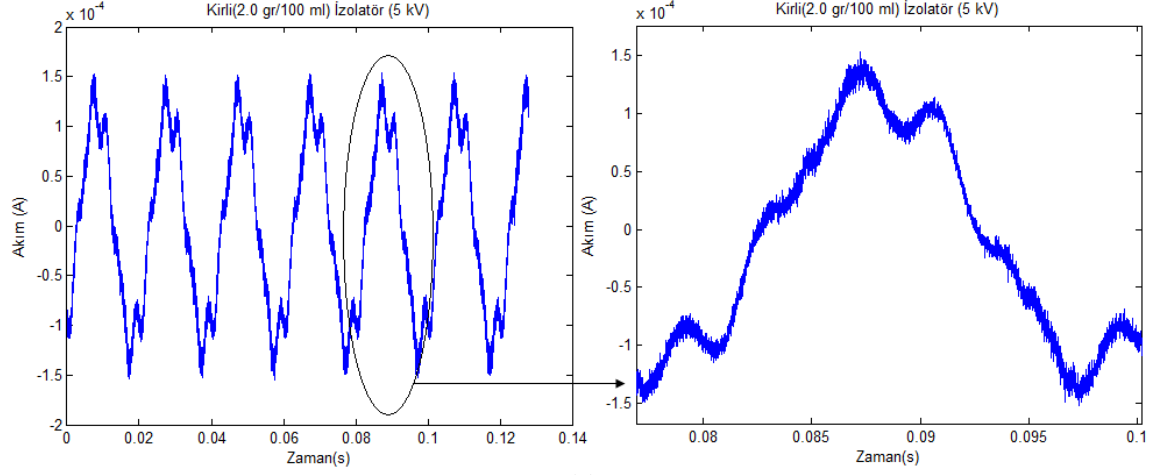
b-6) 1,6 gr/100ml NaCl ile Kirlenmiş İzolatorün Kaçak Akım Grafikleri:



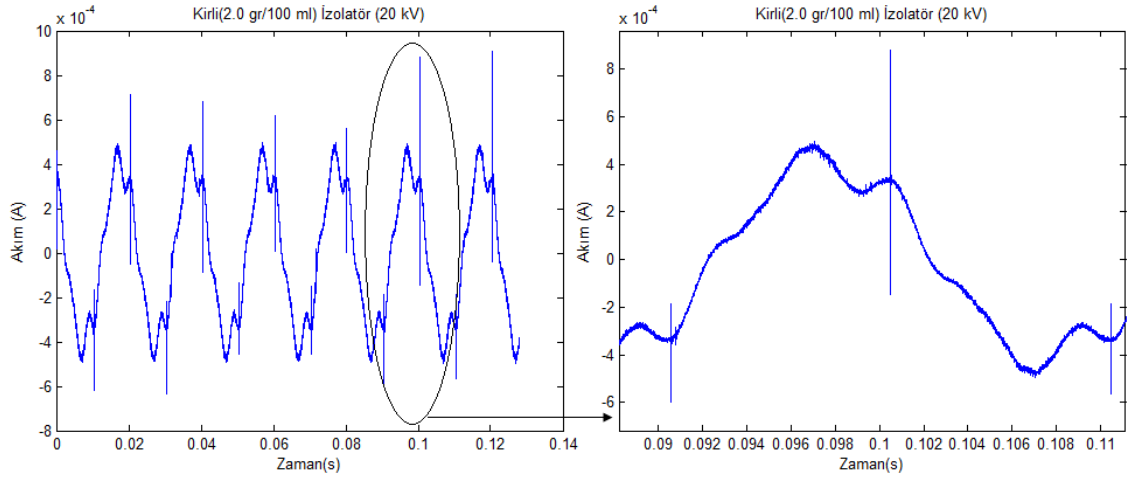


Şekil 6.8. 1,6 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için kuru durumda akım grafikleri
(a) 5 kV **(b)** 20kV **(c)**30 kV **(d)**50 kV

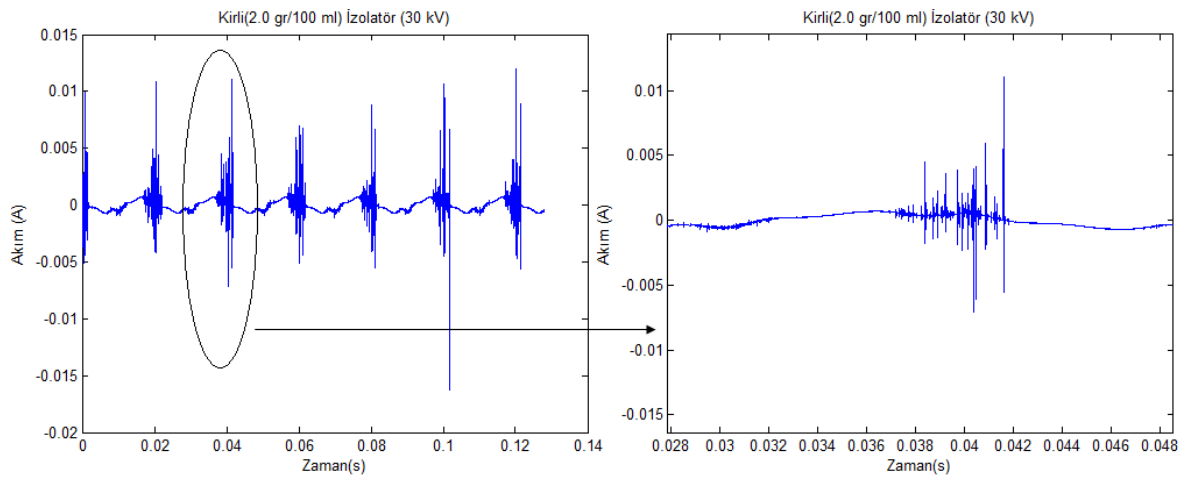
b-7) 2,0 gr/100ml NaCl ile Kirletilmiş İzolatörün Kaçak Akım Grafikleri:



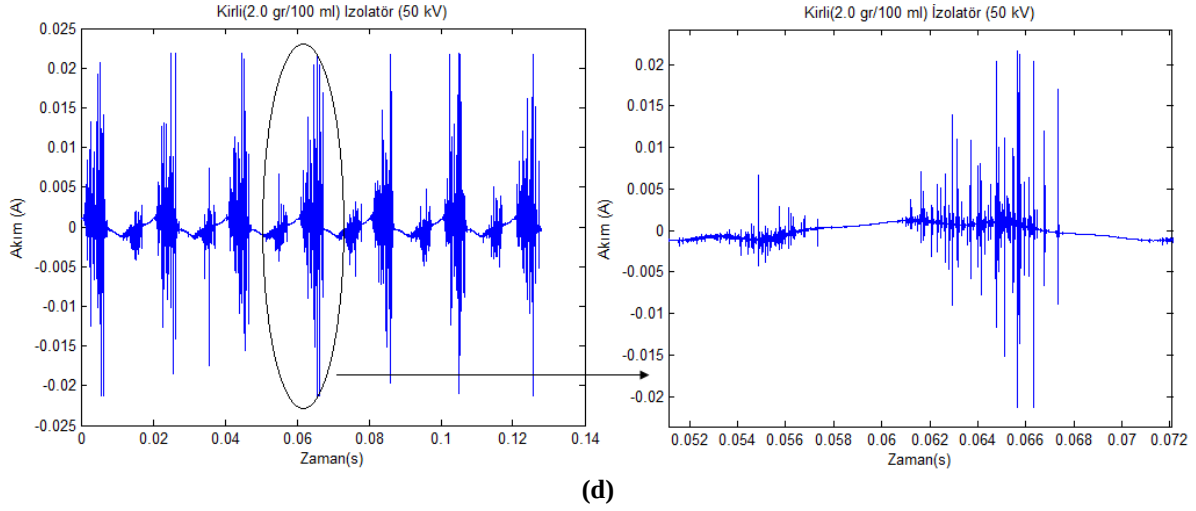
(a)



(b)



(c)



Şekil 6.9.2,0 gr NaCl ile kirlenmiş izolatör için kuru durumda kaçak akım grafikleri
(a) 5 kV (b) 20kV (c)30 kV (d)50 kV

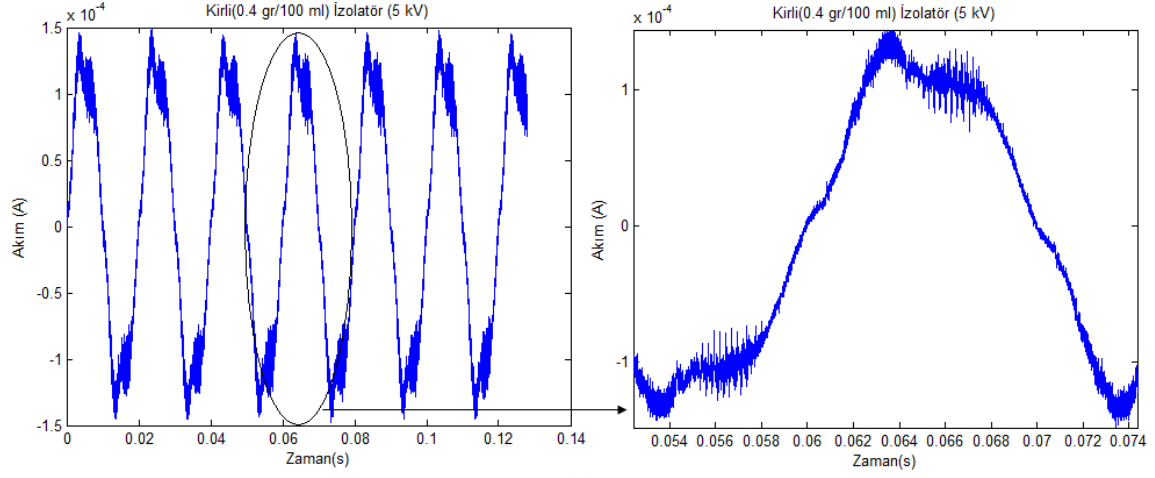
6.3.2.2. %60 Bağlı Nem Durumunda

%60 bağıl nem altında yapılan deneysel çalışmalarda her bir izolatör için ölçülen kaçak akımların efektif değerleri ile tepe değerleri Tablo 6.5’de verilmiştir.

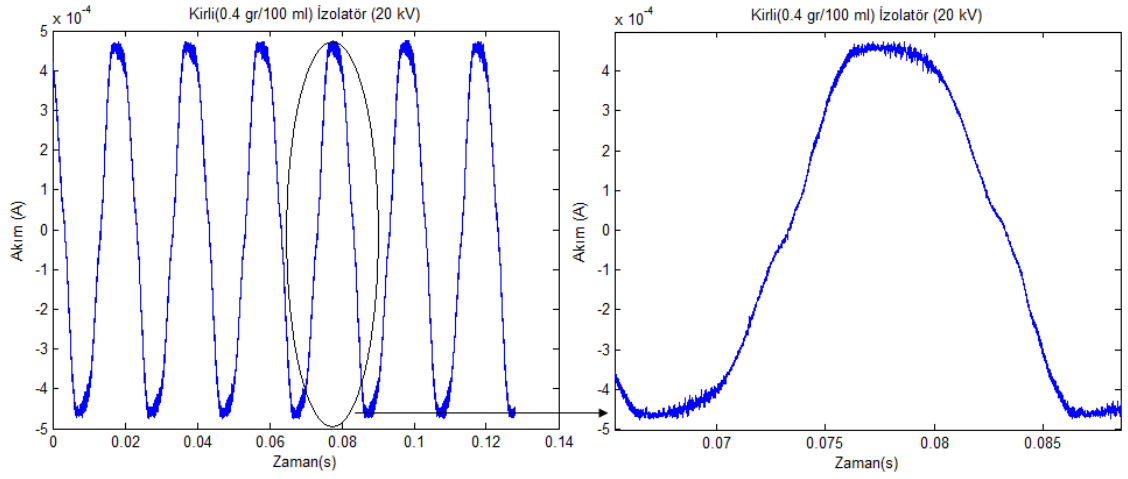
Tablo 6.5. %60 bağıl nem durumu için yüzey kaçak akımlarının efektif ve en yüksek tepe değerleri

Uyg. Ger. (kV)	$\sigma=3,32 \mu\text{s/cm}$		$\sigma=10,98 \mu\text{s/cm}$		$\sigma=17,8 \mu\text{s/cm}$	
	I(eff) (mA)	I(peak) (mA)	I(eff) (mA)	I(peak) (mA)	I(eff) (mA)	I(peak) (mA)
5	0,084	0,149	0,074	0,137	0,098	0,180
10	0,168	0,246	0,144	0,245	0,164	0,284
15	0,248	0,357	0,224	0,405	0,236	0,392
20	0,338	0,475	0,304	0,474	0,308	0,501
25	0,424	0,586	0,378	0,588	0,382	0,616
30	0,512	4,932	0,452	12,150	0,47	17,550
35	0,596	20,470	0,572	21,830	0,556	21,830
40	0,644	17,370	0,658	19,380	0,652	19,080
45	0,758	21,260	0,748	16,880	0,746	15,800
50	0,876	21,650	0,854	21,200	0,844	17,780

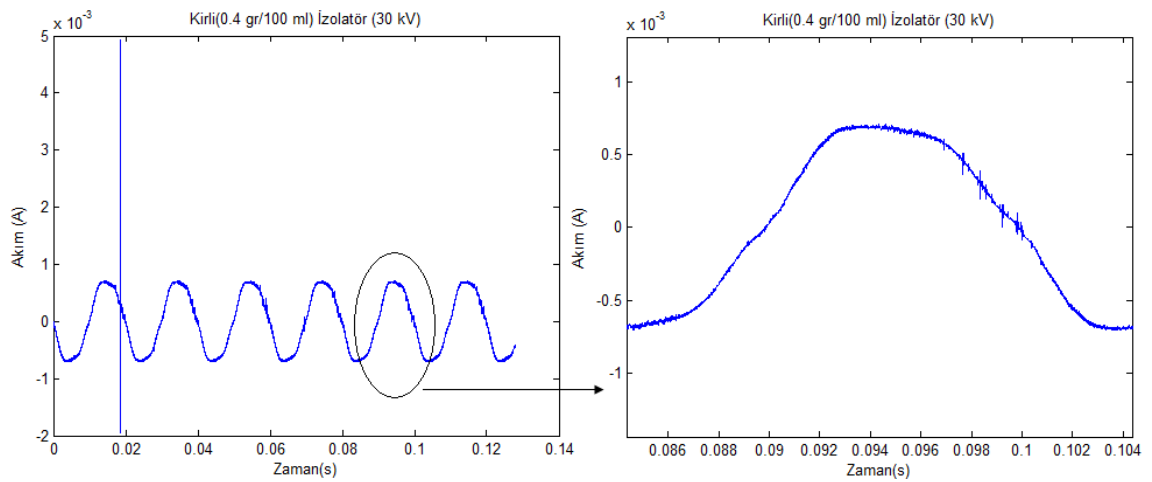
a) 0,4 gr/100ml NaCl ile Kirletilmiş İzolatörün Kaçak Akım Grafikleri:



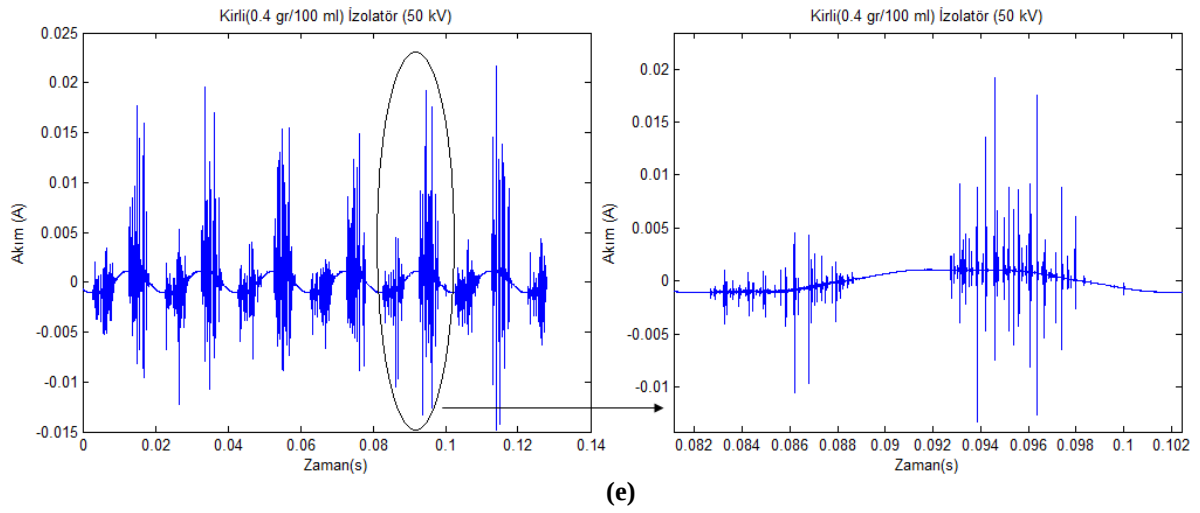
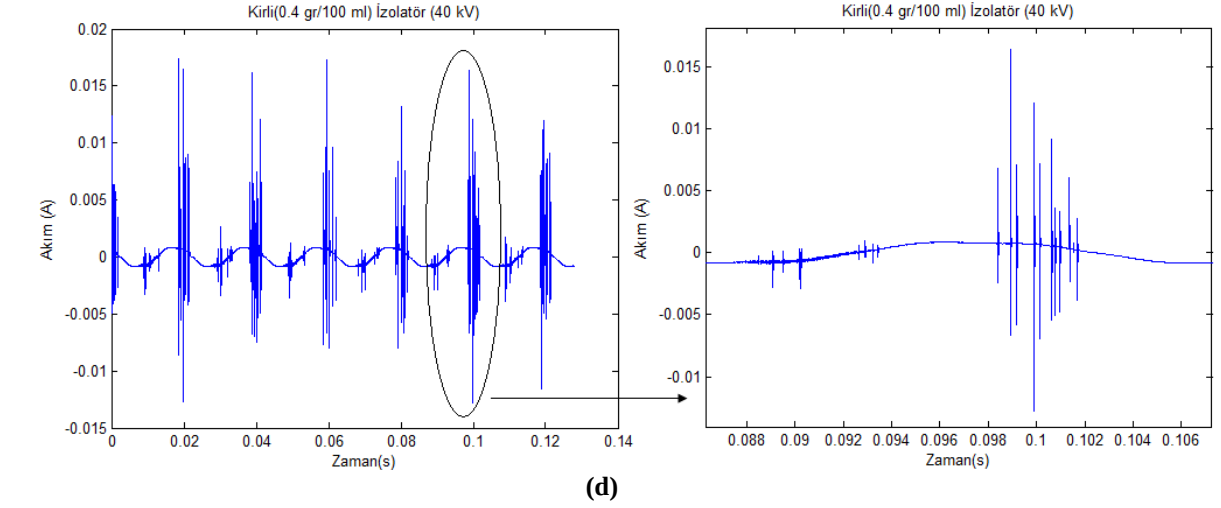
(a)



(b)

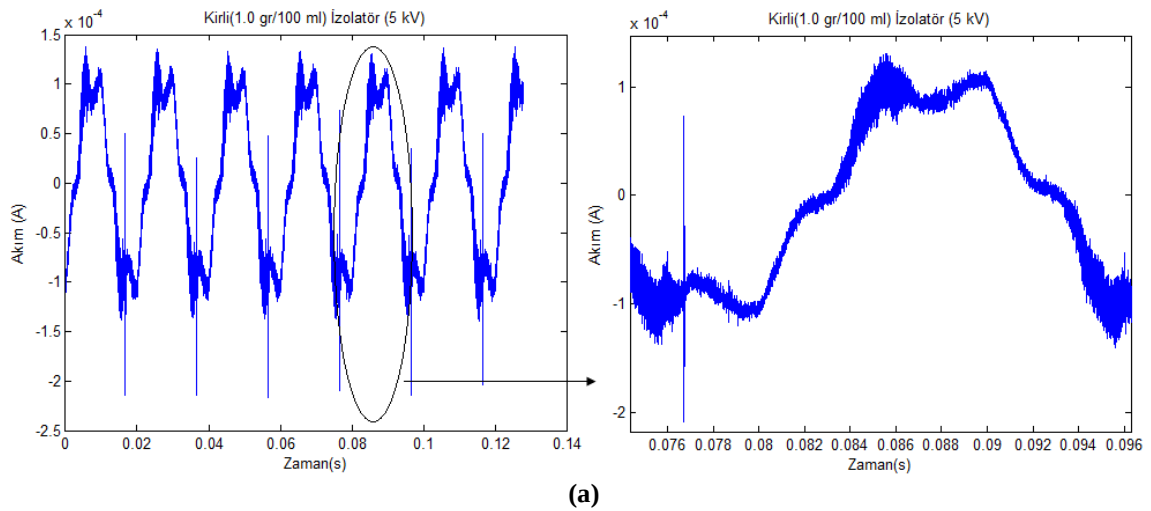


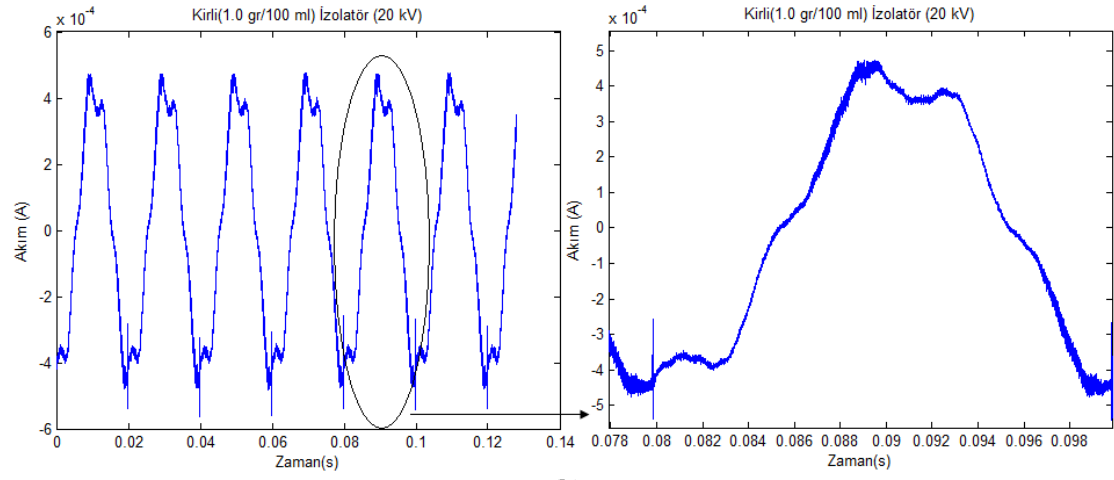
(c)



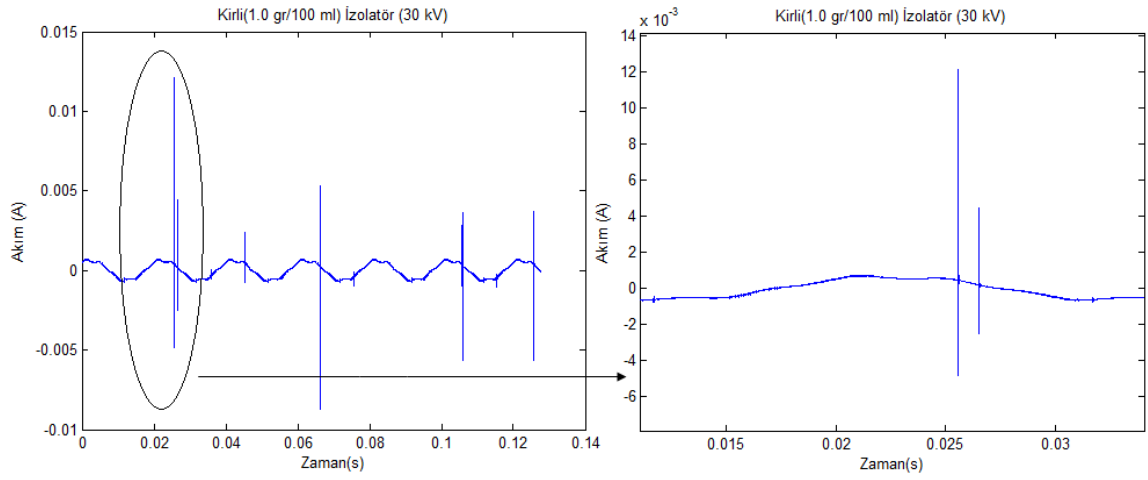
Şekil 6.10. 0,4 gr NaCl ile kirlenmiş izolatör için %60 bağıl nem altında kaçak akım grafikleri
(a) 5 kV **(b)** 20 kV **(c)** 30 kV **(d)** 40kV **(e)** 50 kV

b) 1,0 gr/100ml NaCl ile Kirlenmiş İzolatörün Kaçak Akım Grafikleri:

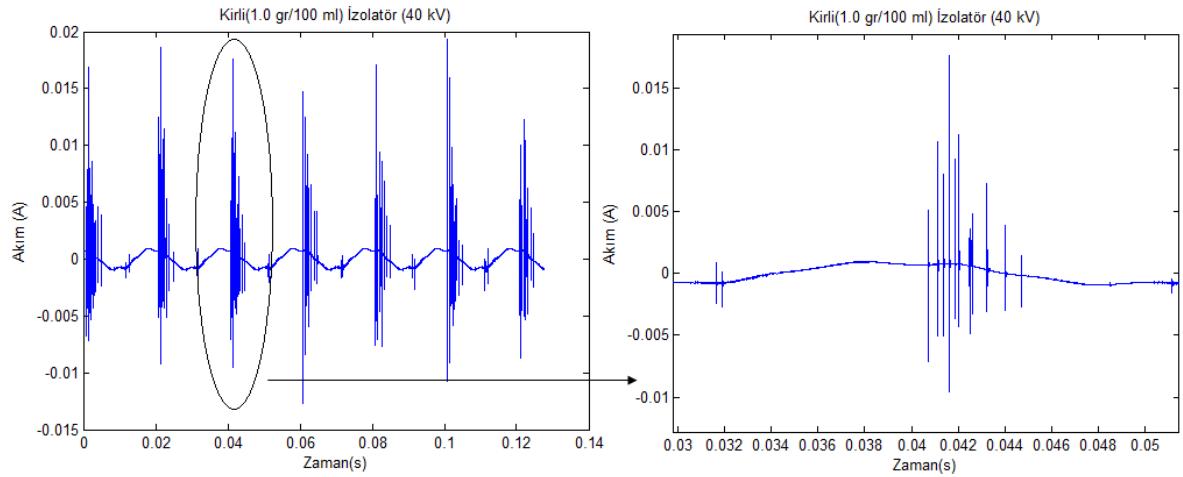




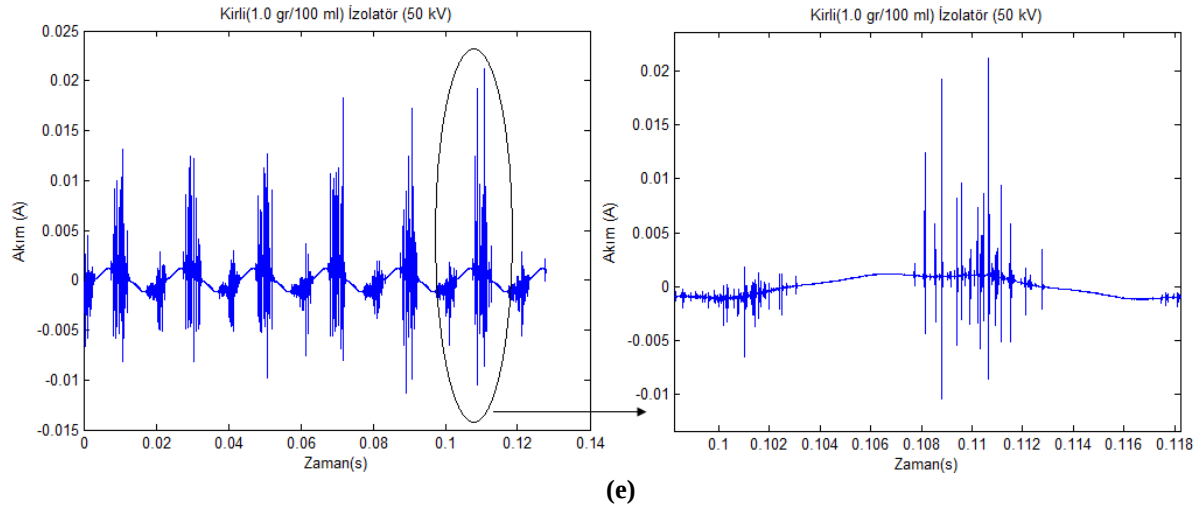
(b)



(c)

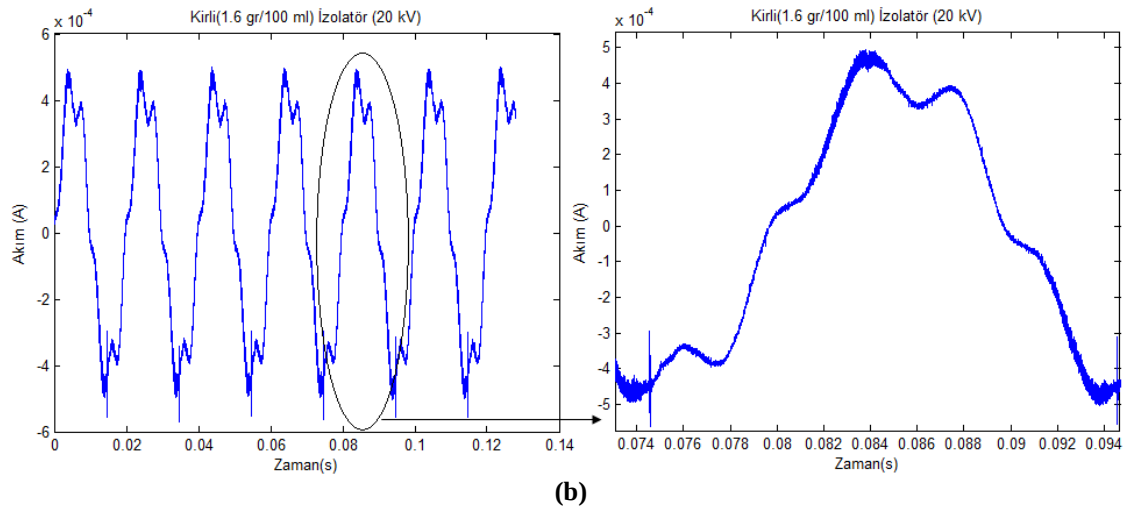
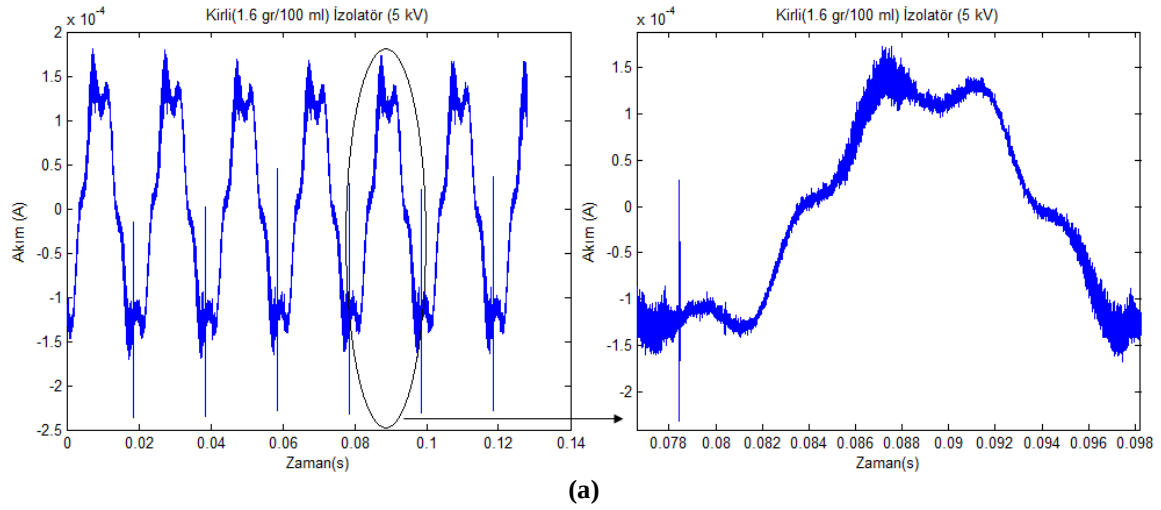


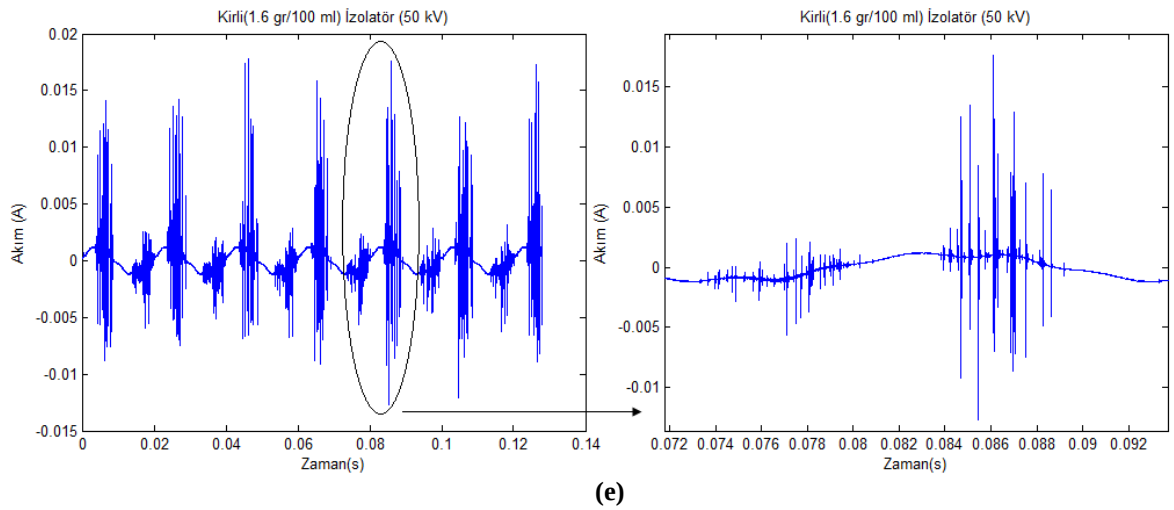
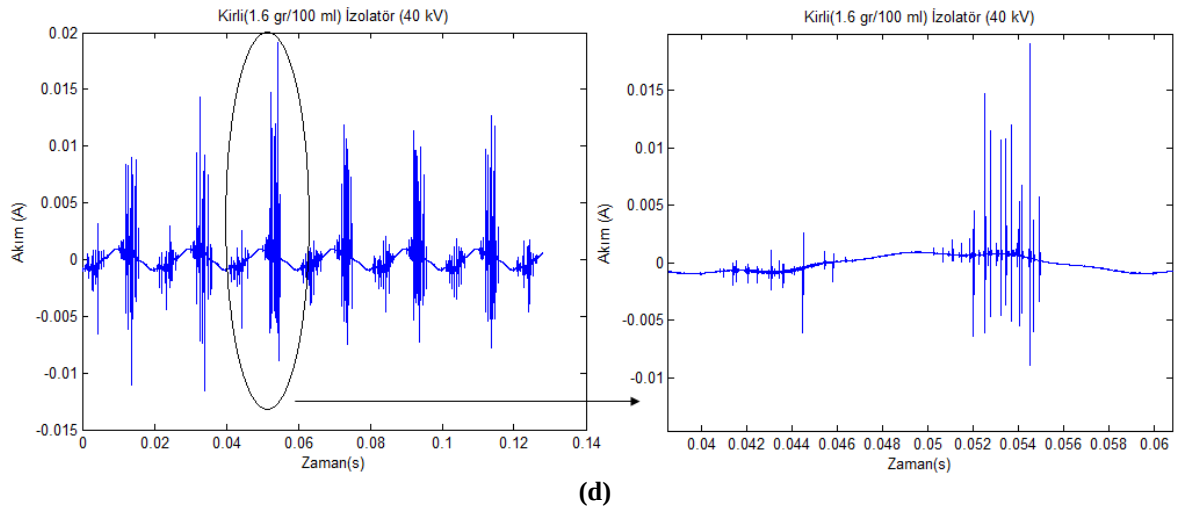
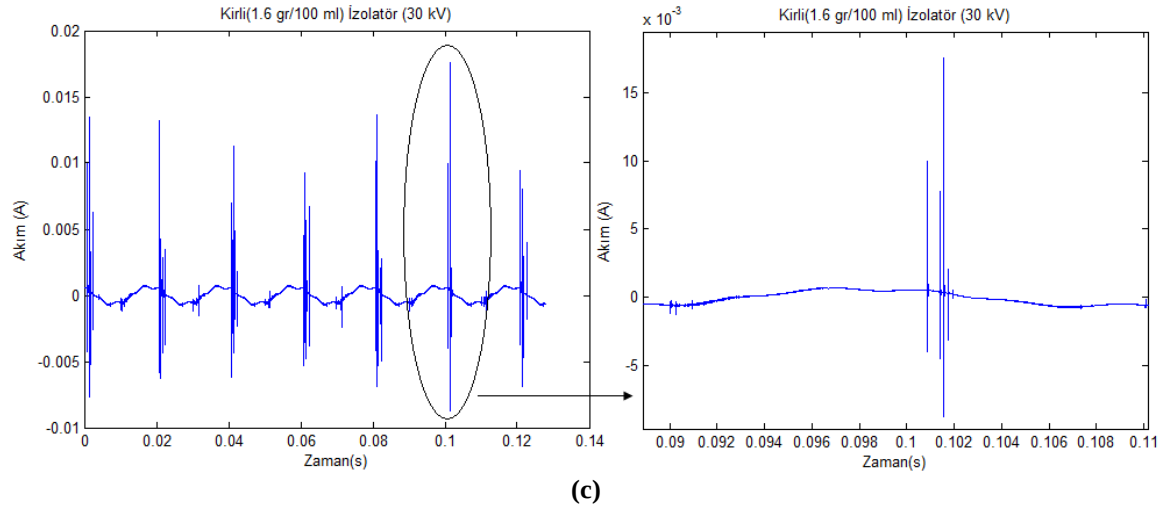
(d)



Şekil 6.11. 1,0 gr NaCl ile kirletilmiş izolator için %60 bağıl nem altında kaçak akım grafikleri
(a) 5 kV **(b)** 20 kV **(c)** 30 kV **(d)** 40kV **(e)** 50 kV

c) 1,6 gr/100ml NaCl ile Kirletilmiş İzolatörün Kaçak Akım Grafikleri:





Şekil 6.12. 1,6 gr NaCl ile kirlenmiş izolator için %60 bağıl nem altında kaçak akım grafikleri
(a) 5 kV **(b)** 20 kV **(c)** 30 kV **(d)** 40kV **(e)** 50 kV

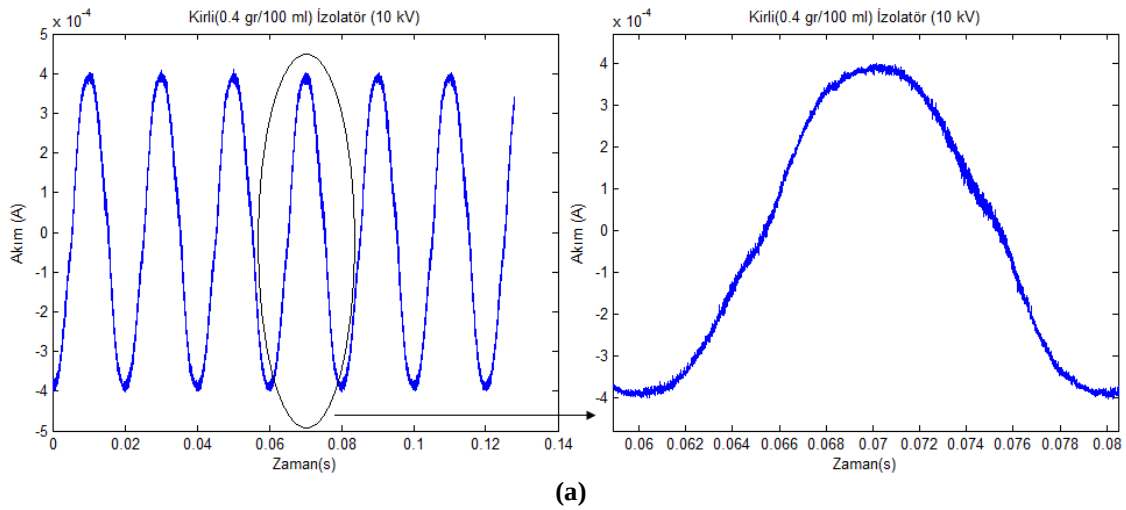
6.3.2.3. %85 Bağıl Nem Durumunda

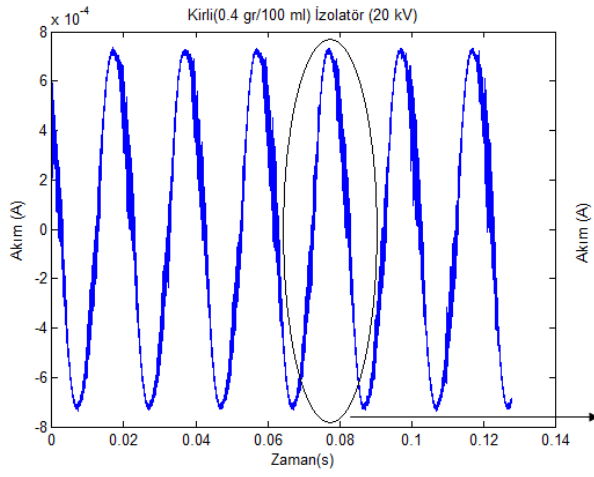
%85 bağıl nem altında yapılan deneysel çalışmalarda her bir izolatör için ölçülen kaçak akımların efektif değerleri ile tepe değerleri Tablo 6.6’da verilmiştir.

Tablo 6.6. %85 bağıl nem durumu için yüzey kaçak akımlarının efektif ve en yüksek tepe değerleri

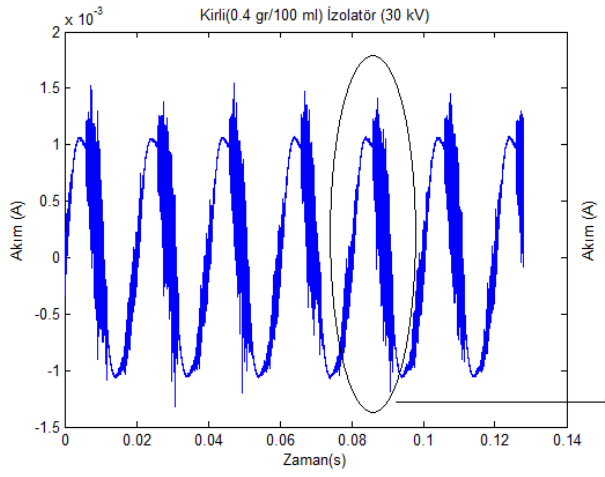
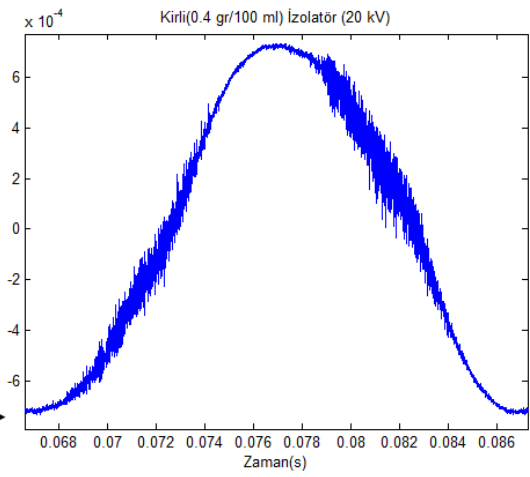
	$\sigma=3,32 \mu\text{s/cm}$		$\sigma=10,98 \mu\text{s/cm}$		$\sigma=17,8 \mu\text{s/cm}$	
Uyg. Ger. (kV)	I(eff) (mA)	I(peak) (mA)	I(eff) (mA)	I(peak) (mA)	I(eff) (mA)	I(peak) (mA)
5	0,148	0,490	0,16	0,290	0,17	0,211
10	0,276	0,411	0,324	0,393	0,314	0,349
15	0,39	0,565	0,452	1,025	0,452	0,515
20	0,512	0,737	0,64	1,788	0,616	0,669
25	0,634	1,193	0,68	2,707	0,776	0,835
30	0,752	1,541	0,756	3,082	0,936	0,980
35	0,884	1,812	0,91		1,1	1,179
40	1,026	2,400	1,052		1,276	1,582
45	1,138	4,302	1,216		1,414	2,137
50	1,264	4,272	1,52		1,584	3,566

a) 0,4 gr/100ml NaCl ile Kirletilmiş İzolatörün Kaçak Akım Grafikleri:

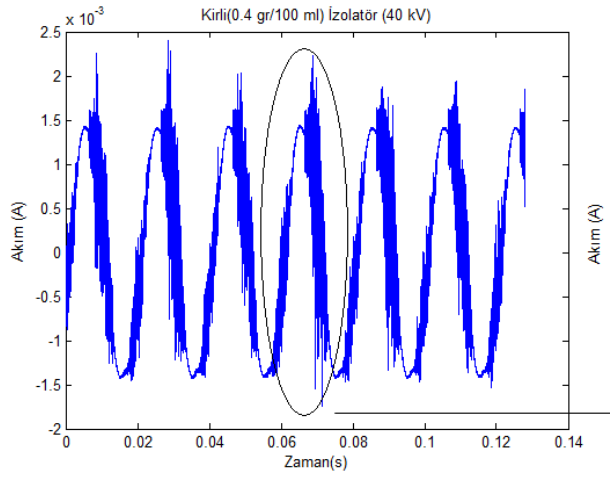
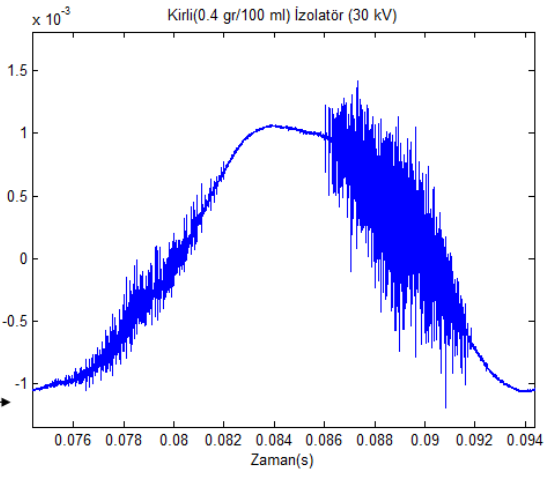




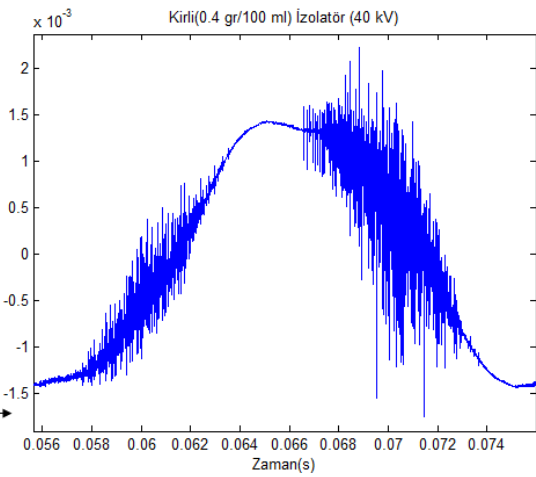
(b)

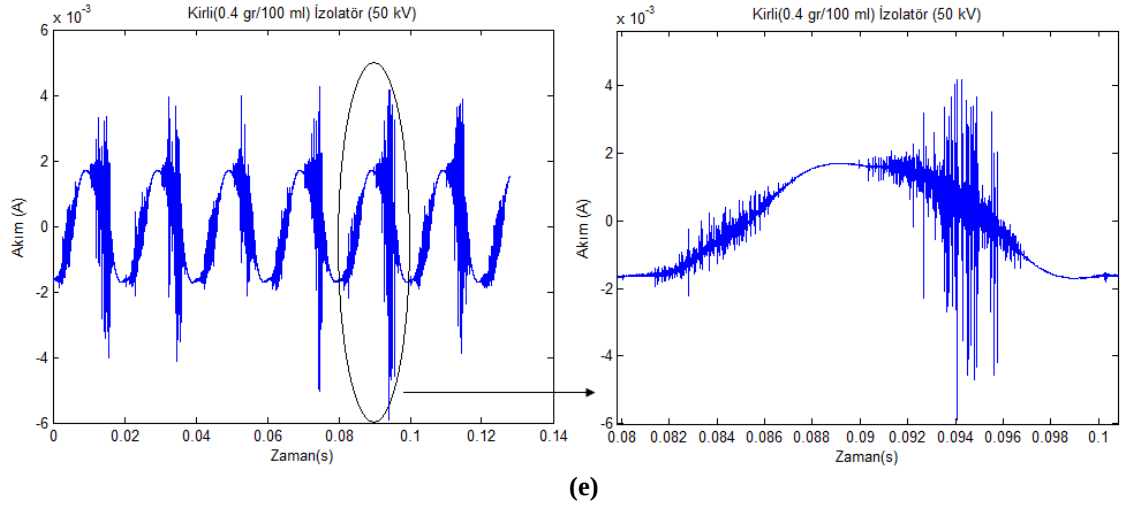


(c)



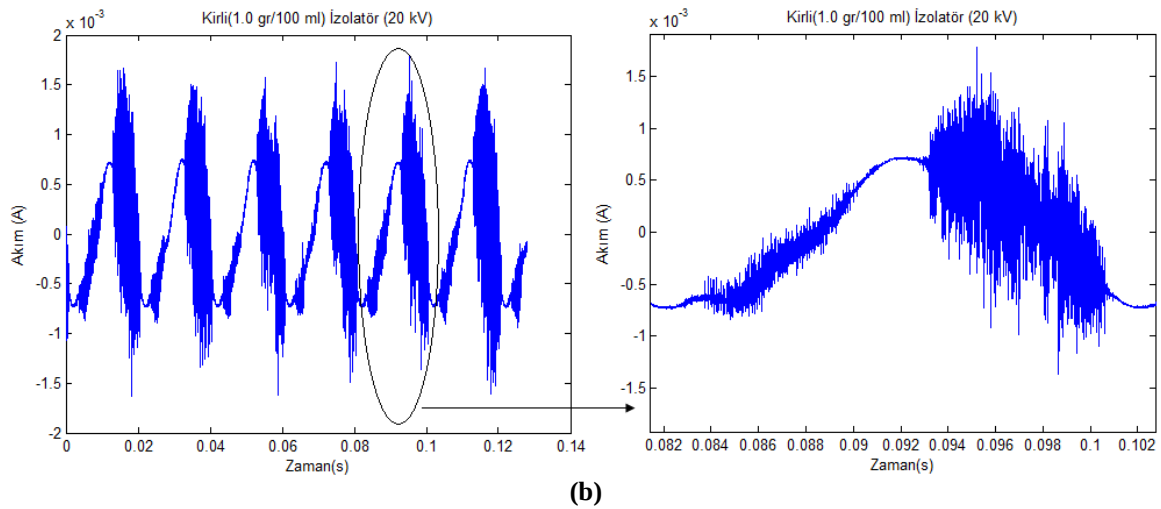
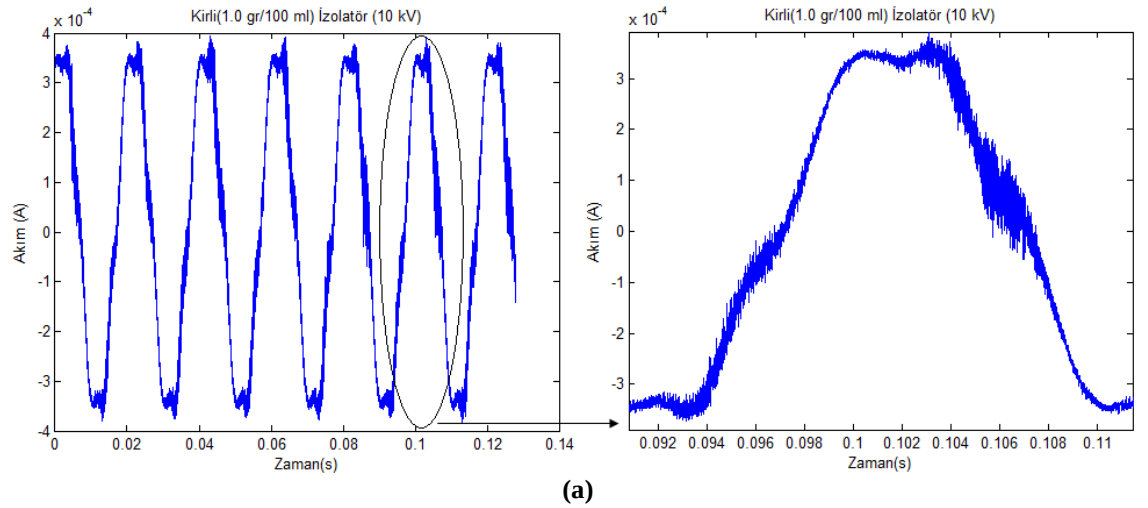
(d)

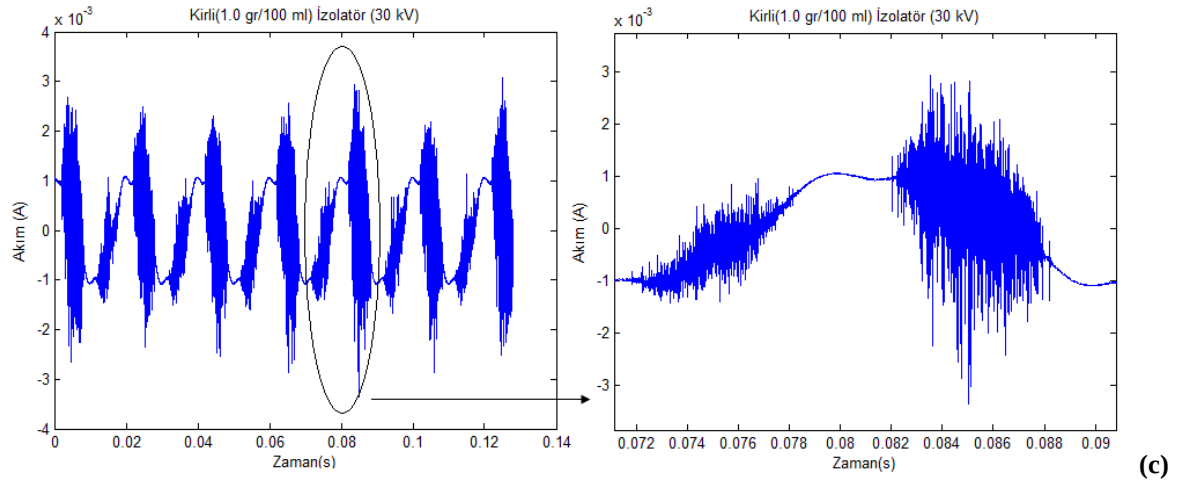




Şekil 6.13. 0,4 gr NaCl ile kirletilmiş izolatör için %85 bağıl nem altında kaçak akım grafikleri
(a) 10 kV **(b)** 20 kV **(c)** 30 kV **(d)** 40kV **(e)** 50 kV

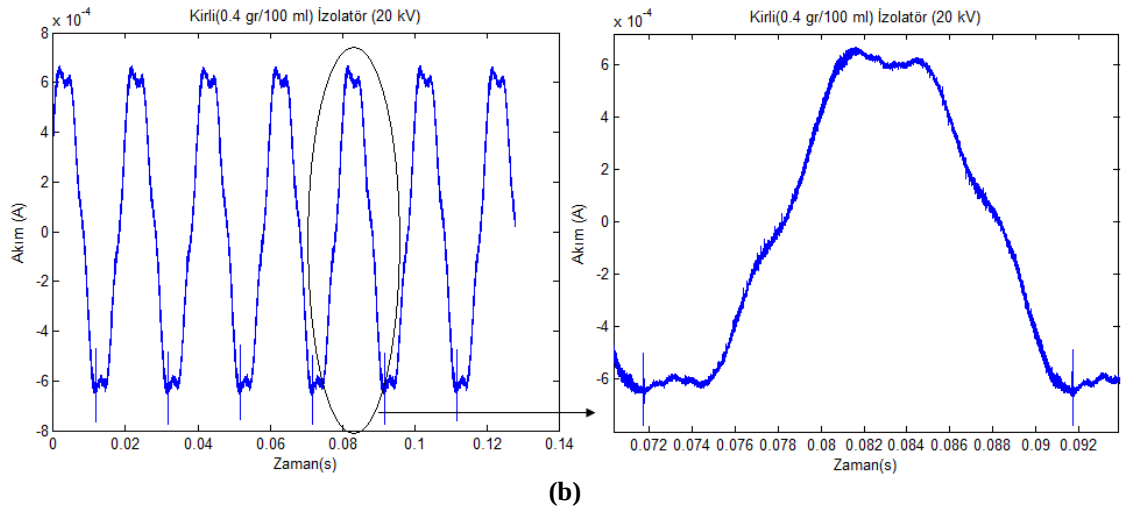
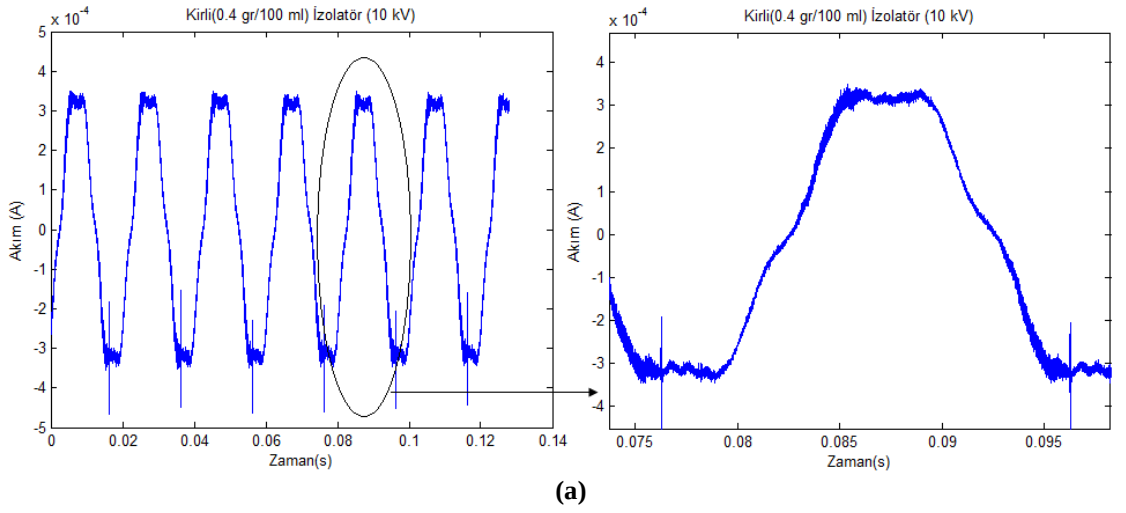
b) 1,0 gr/100ml NaCl ile Kirletilmiş İzolatörün Kaçak Akım Grafikleri:

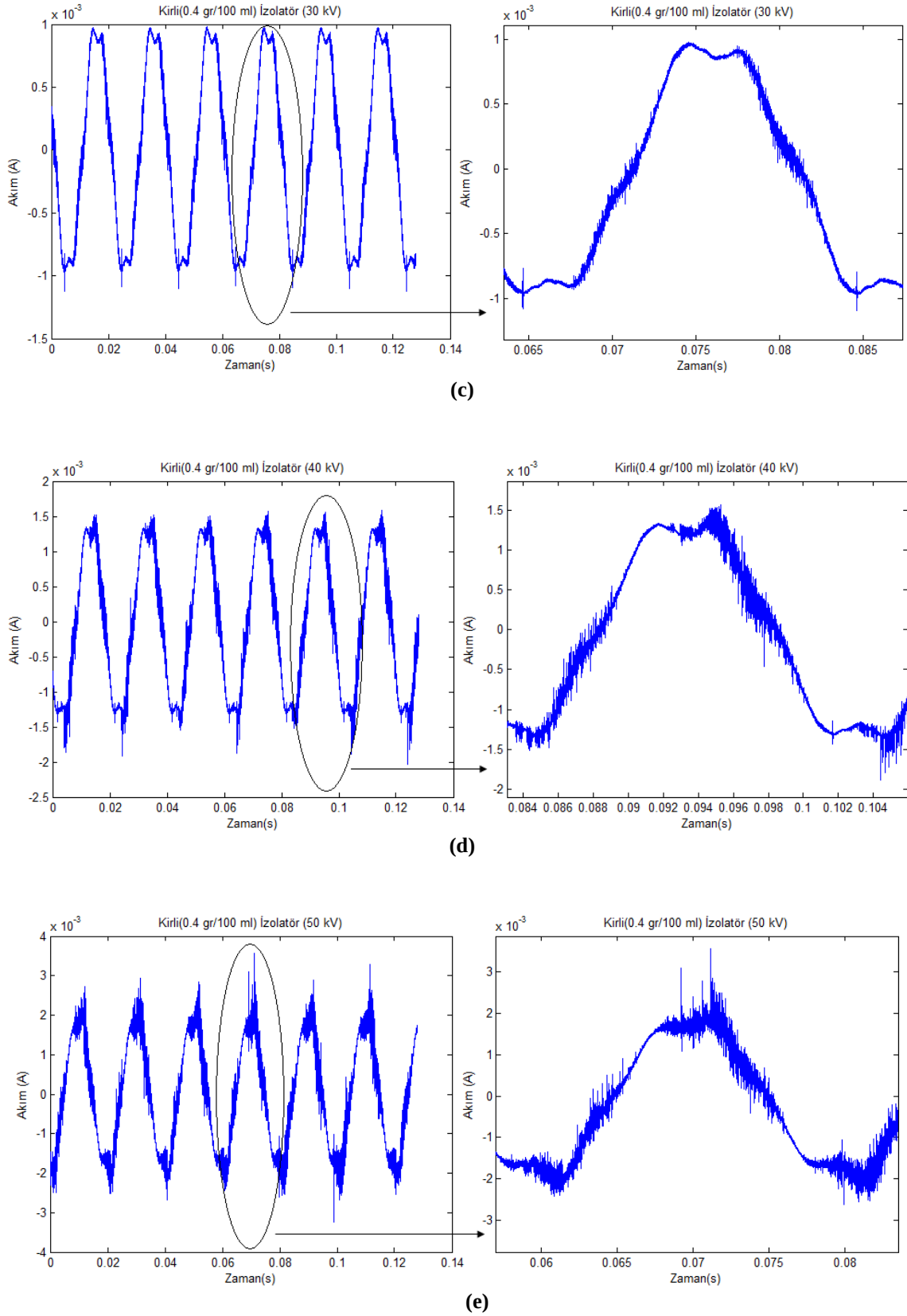




Şekil 6.14. 1,0 gr NaCl ile kirletilmiş izolator için %85 bağıl nem altında kaçak akım grafikleri
(a) 10 kV (b) 20 kV (c) 30 kV

c) 1,6 gr/100ml NaCl ile Kirletilmiş İzolatorün Kaçak Akım Grafikleri:





Şekil 6.15. 1,6 gr NaCl ile kirlenmiş izolatör için %85 bağıl nem altında kaçak akım grafikleri
(a) 10 kV **(b)** 20 kV **(c)** 30 kV **(d)** 40kV **(e)** 50 kV

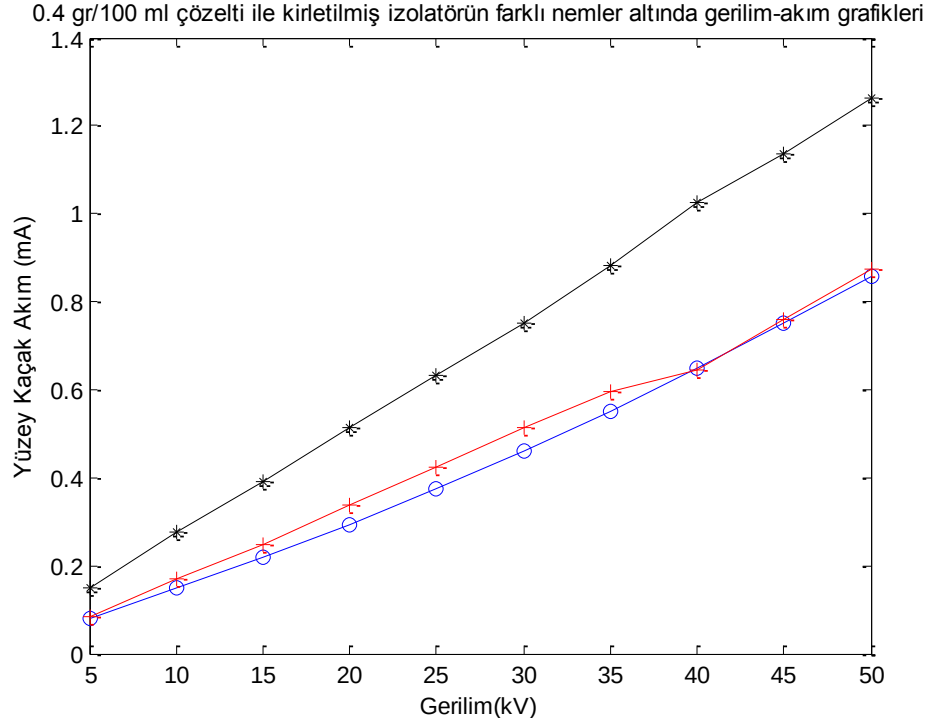
6.4. Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

Kuru durumda farklı kir seviyelerine sahip izolatörler için ölçülen yüzey kaçak akım değerleri Tablo 6.7’de verilmiştir. Tüm kir seviyeleri için ölçülen akım değerlerinin birbirine yakın olması, kuru şartlar altında izolatör yüzeyinde biriken kir miktarının, yüzey kaçak akımları bakımından çok fazla önemli olmadığı gerçeğini göstermektedir.

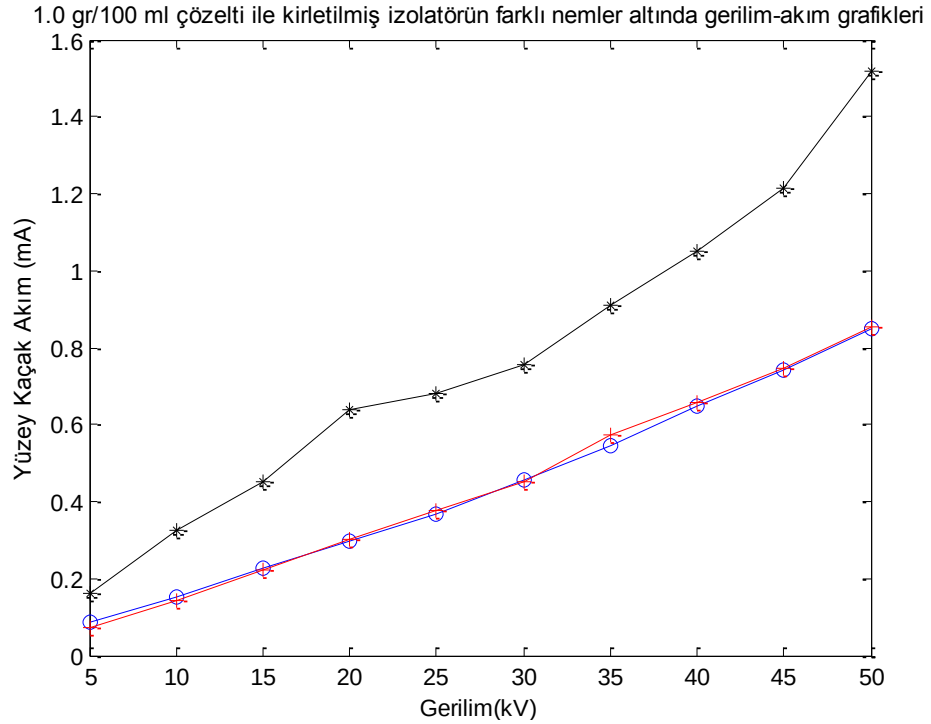
Tablo 6.7. Kuru durumda farklı kir seviyelerine sahip izolatörlerden akan kaçak akım değerleri

I _(eff) mA					
0,2 gr	0,4 gr	1,0 gr	1,2 gr	1,6 gr	2,0 gr
0,084	0,078	0,1	0,092	0,098	0,09
0,152	0,148	0,182	0,164	0,178	0,162
0,224	0,218	0,266	0,246	0,258	0,24
0,292	0,292	0,346	0,328	0,338	0,316
0,372	0,374	0,426	0,406	0,42	0,404
0,464	0,46	0,518	0,492	0,51	0,49
0,562	0,55	0,61	0,58	0,6	0,576
0,65	0,648	0,716	0,672	0,694	0,668
0,756	0,75	0,816	0,72	0,8	0,772
0,86	0,856	0,926	0,88	0,914	0,876

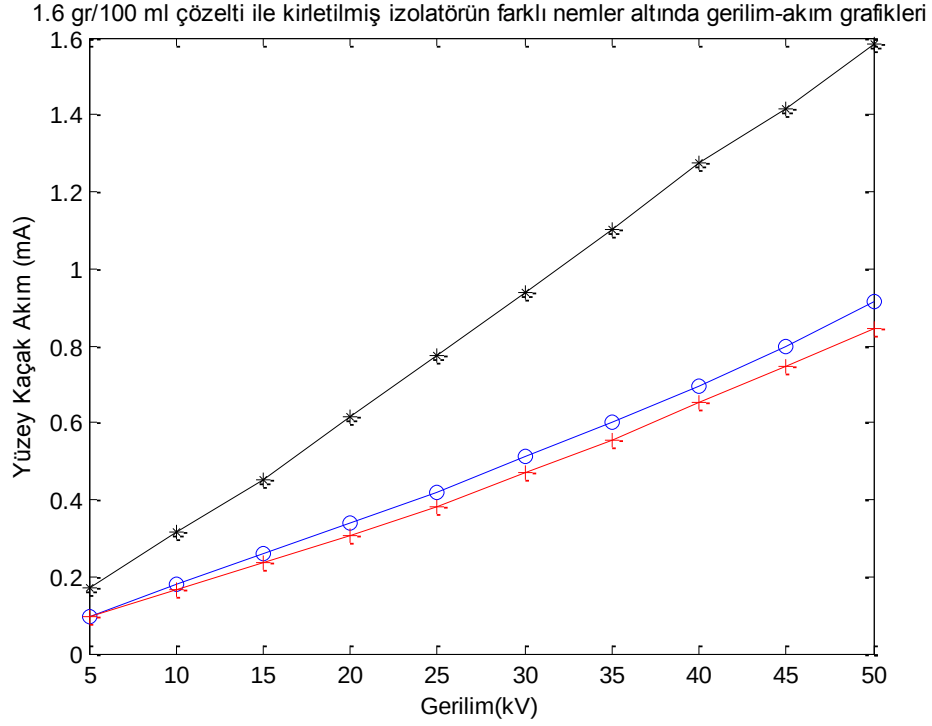
İzolatörün hafif, orta ve ağır kirlilik seviyelerine karşılık gelen üç farklı kir durumu (0.4, 1.0 ve 1.6 gr NaCl ile kirlenilmiş) örnek olarak ele alınmış ve bu durumlara ilişkin kuru, %60 bağıl nem ve %85 bağıl nem altında yüzey kaçak akımları ölçülerek, grafikleri bir arada çizdirilmiştir (Şekil 6.16, Şekil 6.17 ve Şekil 6.18). İzolatörlerin yüzeyinden akan kaçak akım değerleri, bağıl nemin artışı ve dolayısıyla yüzey iletkenlik değerinin yükselmesine bağlı olarak artmaktadır.



Şekil 6.16. 0,4 gr NaCl ile kirlenilen izolatör için farklı nem değerleri altında akım-gerilim grafikleri (o:Kuru durumda; +:%60 nem durumunda; *: %85 nem durumunda)



Şekil 6.17. 1,0 gr NaCl ile kirlenilen izolatör için farklı nem değerleri altında akım-gerilim grafikleri (o:Kuru durumda; +:%60 nem durumunda; *: %85 nem durumunda)



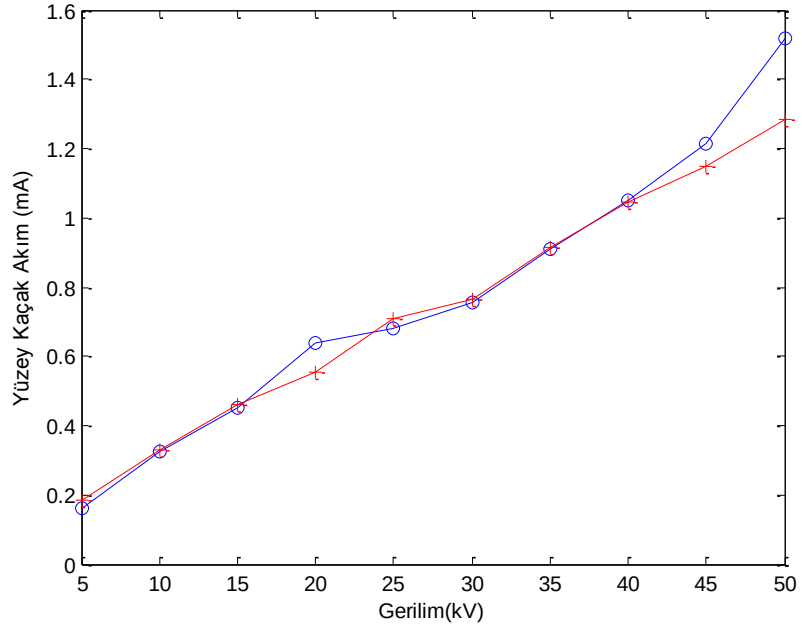
Şekil 6.18. 1,6 gr NaCl ile kirlenilen izolator için farklı nem değerleri altında akım-gerilim grafikleri (o:Kuru durumda; +:%60 nem durumunda; *: %85 nem durumunda)

1,0 gr NaCl ile kirlenilmiş (10,98 μ S iletkenlik değerine sahip) izolator için ölçülen yüzey kaçak akım değerleri ile bilgisayar programına aynı iletkenlik değeri girilerek hesaplanan akım değerleri Tablo 6.8’de verilmiştir. Şekil 6.19’da ise, her iki durum için elde edilen kaçak akım değerlerinin grafikleri çizdirilmiştir.

Tablo 6.8. 10,98 μ S iletkenliğe sahip izolator için ölçülen ve hesaplanan akım değerleri

Uygulanan Gerilim(kV)	Ölçülen I(eff) mA	Hesaplanan I(eff) mA
5	0,16	0,185
10	0,324	0,330
15	0,452	0,461
20	0,64	0,556
25	0,68	0,709
30	0,756	0,765
35	0,91	0,914
40	1,052	1,044
45	1,216	1,148
50	1,52	1,285

1.0 gr/100 ml çözelti ile kirletilmiş izolatör için deneysel ve program sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.19. 10,98 μ S iletkenliğe sahip izolatör için ölçülen ve hesaplanan akım eğrileri (o:Ölçülen değerler; +:Hesaplanan değerler)

7. SONUÇLAR

Bu tezde, yüksek gerilimli enerji iletim hatlarında, arızaların önemli bir nedeni olan izolatörlerdeki kirlenme atlaması (yüzeysel atlama) probleminin çözümüne yönelik olarak yüzey kaçak akımlarının belirlenmesi için teorik ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

İzolatör yüzeyinden akan kaçak akımlar, izolatör yüzeyinde biriken kir maddesinin türüne ve miktarına bağlıdır. Çalışmada, izolatör yüzeyinde akan kaçak akımlar karınca hareketine benzetilmiş ve izolatör yüzeyinde biriken iletken kir tabakası da feromon maddesi olarak kabul edilmiştir. Bu yaklaşım ışığında izolatör yüzeyi üzerindeki her bir düğümün gerilimine göre belirlenen karıncaların hareketi düğümler arasındaki kir miktarına ve mesafeye bağlı olarak sağlanmıştır. Karınca koloni algoritmasında feromon maddesi karıncaların geçtiği yola rastgele olarak dağıtılmakta ve zamanla buharlaşmayı dikkate almak için bir buharlaşma katsayısı ile çarpılarak feromon miktarı sürekli güncellenmektedir. Benzer şekilde bilgisayar programında izolatör yüzeyindeki kir tabakası düzensiz dağıtılmış olup, ayrıca kaçak akımların akmasıyla ortaya çıkan ısı etkisiyle kuru bantların oluşması sonucu kir miktarındaki azalmayı ifade etmek için buharlaşma katsayısı sabit alınmıştır. Feromon değerinden iletkenlik değeri, düğümler arasındaki iletkenlik ve potansiyel farkı değerlerinden de kaçak akım değeri hesaplanmıştır.

Teorik çalışmalar sonucu oluşturulan bilgisayar programı yardımıyla hesaplanan değerlerin doğruluğunu karşılaştırmak amacıyla bir deneysel sistem oluşturulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar ile teorik çalışmalar sonucu elde edilen program çıktıları karşılaştırılarak irdelenmiştir.

İzolatörlerde kirlenme atlaması konusunda yapılan çalışmalarda, genel olarak izolatör yüzeyindeki kir tabakası sabit kabul edilmekte ve hesaplamalar bu kabule göre yapılmaktadır. Gerçekte izolatör yüzeyindeki kirin tüm yüzey boyunca sabit olması mümkün değildir. Bu nedenle modellemenin doğruluğunu artırmak üzere Karınca Koloni Algoritması yardımıyla gerçekleştirilen hesaplama yönteminde izolatör yüzeyindeki kir miktarı rastgele dağıtılır.

Bundan sonraki çalışmalarda; izolatör yüzeyindeki kir direnci değişimini ifade etmek için kullanılan buharlaşma katsayısının sabit bir değer alınmayıp, kaçak akımların akması sonucu ortaya çıkan ısı enerjisine bağlı bir fonksiyon olarak ifade edilmesi, izolatör yüzeyindeki kaçak akım hareketlerinin ve atlama safhalarının daha doğru bir şekilde açıklanmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. **Hirose, Y., Seta, T., Anjo, K., Ichihara, Y. and Okada, T.,** 1972, Switching Surge Insulation Characteristics of Insulators under Polluted Conditions, CIGRE, 33-02.
2. **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.
3. **Kimoto, I., Fujimura, T. and Naito, K.,** 1973, Performance of Insulators for Direct Current Transmission Line under Polluted Condition, IEEE, PAS 92, 943-949.
4. **Looms, J.S.T.,** 1988, Insulators for High Voltages, Peregrinus, P., 276, London.
5. **Nasser, E.,** 1963, Behaviour of Insulators with an unevenly Distributed Pollution Layer, E.T.Z.A., 84, 353.
6. **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.
7. **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.
8. **Nasser, E.,** 1963, Behaviour of Insulators with an unevenly Distributed Pollution Layer, E.T.Z.A., 84, 353.
9. **Magriche, N.D. Beroual, A. and Krahenbühl, L.,** 1996, A New Proposal Model for Flashover of Polluted Insulators, IOP Publishing Ltd., 889-894.
10. **IEC 60071-2,** 1996, Insulation Coordination Application Guide
11. **IEEE Std. 1313.2-1999,** IEEE Guide for the Application of Insulation Coordination
12. **IEEE Std. 1243-1997,** IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines
13. **CIGRE Technical Bulletin 63,** Oct. 1991, Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines.
14. **Sundararajan, R. and Gorur, R. S.,** 1993, Dynamic Arc Modeling of Pollution Flashover of Insulators Under DC Voltage, IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol.28 No.2, pp. 209-218.
15. **Haznadar, Z., Sokolija, K., Sadovic, S.,** 1989, Dynamic Model of Pollution Flashover, Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans, LA,USA, 12.09.

16. **Rizk, F.**,1981, Mathematical Models for Pollution Flashover, *Electra* 78:71-103.
17. **Rumeli, A., Hizal, M. and Demir, Y.**, 1981, Analytical Estimation of Flashover Performances of Polluted Insulators”, ISPPISD, Madras.
18. **Claverie, P. and Porcheron, Y.**, 1973, How to choose insulators for polluted areas, *IEEE Transactions on Power Apparatus Systems*, Vol. 92, pp. 1121-1131.
19. **D. L. Williams, A. Haddad, A. R. Rowlands, H. M. Young and R. T. Waters**, 1999, Formation and Characterization of Dry Bands in Clean Fog on Polluted Insulators, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* Vol. 6 No. 5. October.
20. **Jolly, D.C. and Poole, C.D.**, 1979, Flashover of Contaminated Insulators with Cylindrical Symmetry under DC Conditions, *IEEE Trans. EI*, 14 (2): 77-84.
21. **Lambeth, P.J.**, 1974, Effect of Pollution on HV Outdoor Insulators, *Proc. IEE, IEE Reviews*, 118 (9R), 1107-1130.
22. **Astorga, O.A.M. and Do Prado, A.J.**, 1994, The flashover phenomenon: An analysis with influence of the thickness of the layer pollution of the high voltage polluted insulators, *Conference Record of the 1994 IEEE Int. Symposium on Electrical Insulation*, Pittsburgh, PA USA, pp. 546-549.
23. **Rumeli, A.**, 1973, Kirli İzole Yüzeylerde Deşarjların Yayılımı ve Atlama, *Elektrik Mühendisliği*, 199: 419-427.
24. **V.T. Kontargyri, A.A. Gialketsi, G.J. Tsekouras, I.F. Gonos, I.A. Stathopoulos**, 2007, Design of an artificial neural network for the estimation of the flashover voltage on insulators, *Electric Power Systems Research* 77 (2007) 1532–1540.
25. **P.T. Tsarabaris, C.G. Karagiannopoulos, N.J. Theodorou**, 2005, A model for high voltage polluted insulators suffering arcs and partial discharges, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 13, 157–167.
26. **Vinay Jaiswal**, 2011, Finite element analysis of electric field around an ice-covered semi-conducting glazed insulator using a form of Kelvin transformation, *Journal of Electrostatics*, 69, 15e22.
27. **V.T. Kontargyri, L.N. Plati, I.F. Gonos, I.A. Stathopoulos**, 2008, Measurement and simulation of the voltage distribution and the electric field on a glass insulator string, *Measurement* 41 (2008) 471–480.
28. **Dhahbi-Megrache, N., Beroual, A. and Krahenbuhl, L.**, 1997, A New Proposal Model for Flashover of Polluted Insulators, *J. Phys. D:Appl. Phys.* Vol. 30, No. 5, UK, pp. 889-894.
29. **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*, Paper no. 24.07.

30. **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, LA,USA, Paper No. 30.09.
31. **Aydogmus Z.,** 2009, A neural network-based estimation of electric fields along high voltage insulators, Expert Systems with Applications, 36, 8705–8710.
32. **Gençoğlu, M.T., Cebeci, M.,** 2009, Investigation of Pollution Flashover on High Voltage Insulators Using Artificial Neural Network, Expert Systems with Applications, 36 (4), 7338-7345.
33. **G.E. Asimakopoulou, V.T. Kontargyri, G.J. Tsekouras, Ch. N. Elias, F.E. Asimakopoulou, I.A. Stathopoulos,** 2010, A fuzzy logic optimization methodology for the estimation of the critical flashover voltage on insulators, Electric Power Systems Research 81 (2011) 580–588.
34. **Rodriguez, A., Wang, F. and Cheng T.C.,** 1989, Time-Dependent Stochastic Modeling of Surface Flashovers on Contaminated Insulators, Sixth International Symposium on HV Engineering, Paper no. 12.04.
35. **Jolly, D.C., Cheng, T.C. and Otten, T.M.,** 1974, Dynamic Theory of Discharge Growth Over Contaminated Insulator Surfaces, Conf. Paper no.74-068-3, IEEE PES Winter Power Meeting.
36. **Alston L. L. and Zoledziowski, S.,** 1963, Growth of Discharges on Polluted Insulation, Proc. IEE, Vol. 110, pp. 1260-1266
37. **Wilkins, R.,** 1969, Flashover Voltage of HV Insulators with Uniform Surface pollution Films, Proc. IEE, Vol. 116, No. 3, pp. 457-465.
38. **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.
39. **Nasser, E.,** 1972, Contamination Flashover of Contaminated Insulators, Electrotech., Z.A., 93, 321-325.
40. **Hampton, B.F.,** 1964, Flashover Mechanism of Polluted Insulation, Proc. IEEE, 111, 985, 990.
41. **Bendapudi, S. Ram.,** 1988, Flashover Voltage of Contaminated Insulators, Conference Record of The 1988 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston.
42. **Rumeli, A.,** 1979, Homojen Kirle Kaplı Yüksek Gerilim İzolatörlerinin Dayanım Gerilimlerinin Hesaplanması. Profesörlük Tezi, 53 Sayfa, ODTÜ, Ankara.
43. **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.

44. **Bendapudi, S.R.**, 1988, Flashover Voltage of Contaminated Insulators, Conference Record of the 1988 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston.
45. **Boheme, H. and Obenaus, F.**, 1966, Pollution flashover tests on insulators in the laboratory and in systems and the model concept of creepage path flashover, Cigre, paper 407.
46. **Obenaus, F.**, 1958, „Fremdschichtüberschlag und Kriechweglänge“, Deutsche Electrotechnik, Vol. 4, pp. 135-136.
47. **Neumarker, G.**, 1959, Verschmutzungszustand und Kriechweg, Monatsber. D. Deut. Akad. Wiss., Berlin, Vol.1, 352-359.
48. **Amin M., Amin S. and Ali M.**, 2009, Monitoring of Leakage Current for Composite Insulators and Electrical Devices, Reviews on Advanced Materials Science, 21-89
49. **Kobayashi, S., Matsuzaki, Y., Masuya, H., Arashitani, Y., and Kimata, R.**, 2000, Development of Composite Insulators for Overhead Lines. Furukawa Review, No:19, pp:129-135.
50. **Kobayashi, S., Matsuzaki, Y., Arashitani, Y., and Kimata, R.**, 2002, Development of Composite Insulators for Overhead Lines (Part 2), Furukawa Review, No. 21, pp:56-61.
51. **Schütz, A. and Besold, P.**, 1995, Reliability and economic advantages of silicon rubber insulators, Ceramtec AG, Germany.
52. **Hackam, R.**, 1999, Outdoor HV composite polymeric insulators, IEEE Trans. on Dielectric and Electrical Insulation. Volume:6, No:5, pp:557–585.
53. **Gorur, R.S., Cherney, E.A., and Burnham, J.T.**, 1999, Outdoor Insulators. Ravi S. Gorur Inc.
54. **Gubanski, S.M.**, 2005, Modern Outdoor Insulation—Concerns and Challenges. IEEE Electrical Insulation Magazine, Volume:21, No:6, pp:5-11.
55. **CIGRE Working Group 22. 03**, 1990, Worldwide Service Experience with HV Composite Insulators. Electra, Volume:130, pp:67-77.
56. **Karady, G.G.**, 1989, Outdoor Insulation. Proceedings of the 6th ISH, Paper 30.01.
57. **Xidong, L., Shaowu, W., Ju, F., and Zhicheng, G.**, 1999. Development of Composite Insulators in China. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Volume:6, No:5, pp:586-594.
58. **Amin M., Amin S.**, 2006, Aging of Polymeric Insulators, Reviews on Advanced Materials Science, 13-93
59. **James, F.H.**, 1993, History and Bibliography of Polymeric Insulators for Outdoor Applications. IEEE Transactions on Power Delivery, Volume:8, No:1, pp:376-385.

60. **Kim, S.H., Chemey, E.A., Hackam, R., and Rutheriord, K.G.,** 1994. Chemical Changes at the Surface of RTV Silicone Rubber Coatings on Insulators During Dry Band Arcing. IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, Volume:1, No:1, pp:106-123.
61. **Gorur, R.S., Cherney, E.A., Hackam, R., and Orbeck, T.,** 1988, The Electrical Performance of Polymeric Insulating Materials Under Accelerated Aging in Fog Chamber. IEEE Trans. on Power Delivery, Volume:3, No:3, pp:1157-1164.
62. **Mackevich, J. and Shah, M.,** 1997, Polymer outdoor insulating materials. Part I: Comparison of porcelain and polymer electrical insulation. IEEE Elect. Insul. Mag., Volume:13, No:3, pp:5-12.
63. **Papiliou, K.O.,** 1999, Composite insulators are gaining ground-25 years of Swiss experience. in 1999 IEEE T&D Conference, New Orleans LA, pp:827-833.
64. **Innovative compact line design at Energie Oest Suisse. INMR,** 1999, Volume:7, No:2, pp:20-28,.
65. **Dumora, D.,** 2001, New compact composite insulation for environmental, economic and safety considerations,. World Insulator Congress and Exhibition, Shanghai, China, pp:168-81
66. **Kindersberger, J. and Kuhl, M.,** 1989, Effect of Hydrophobicity on Insulator Performance. Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, Paper 12.01.
67. **Gorur, R.S., Chang, J., and Amburgey, O.G.,** 1990, Surface Hydrophobicity of Polymeric Materials Used for Outdoor Insulation. IEEE Transactions on Power Delivery, Volume:5, No:4, pp:1923-1933.
68. **Gubanski, S.M. and Vlastos, A.E.,** 1990, Wettability of Naturally Aged Silicone Rubber and EPDM Insulators. IEEE Transactions on Power Delivery, Volume:5, No:3, pp:1527-1535.
69. **Kim, S.H., Cherney, E.A., and Hackam, R.,** 1990, The Loss and Recovery of Hydrophobicity of RTV Silicone Rubber Insulator Coatings, IEEE Transactions on Power Delivery, Volume:5, No:3, pp:1491-1499.
70. **De Decker, D. and Wright, S.,** 1993, Recovery and Hydrophobicity Transfer in Silicone, SEE Symposium on Composite Polymer Insulators.
71. **Chang, J.W. and Gorur, R.S.,** 1994, Surface Recovery of Silicone Rubber Used for HV Outdoor Insulation. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Volume:1, No:6, pp:1039-1046.
72. **Amrah, F., Karady, G.G., and Sundarajan, R.,** 2002, Linear stochastic analysis of polluted insulator leakage current. IEEE Trans. Power Del., Volume:17, No:4, pp:1063-1069.

73. **El-Hag, A.H., Jayaram, S., and Cherney, E.A.,** 2003, Fundamental and low frequency harmonic components of leakage current as a diagnostic tool to study aging of RTV and HTV silicone rubber in salt-fog. IEEE Trans. on Dielect. Elect. Insul., Volume:10, No:1, pp:128–136.
74. **Fernando, M.A.R.M. and Gubanski, S.M.,** 1999, Leakage current patterns on contaminated polymeric surfaces. IEEE Trans.on Dielect. Elect. Insul., Volume:69, No:5, pp:688–694.
75. **Jahromi, A.N., El-Hag, A.H., Jayaram, S.H., Cherney, E.A., Sanaye-Pasand, M., and Mohseni, H.,** 2006, A Neural Network Based Method for Leakage Current Prediction of Polymeric Insulators. IEEE Trans. on Power Delivery, Volume:21, No:1, pp:506–507.
76. **Sörqvist, T. and Vlastos, A.E.,** 1997, Outdoor Polymeric Insulators Long Term Exposed to HVDC. IEEE Trans. on Power Delivery, Volume:12, No:2, pp:1041-1048.
77. **Amrah, F., Karady, G.G., and Sundarajan, R.,** 2002, Linear stochastic analysis of polluted insulator leakage current. IEEE Trans. Power Del., Volume:17, No:4, pp:1063–1069.
78. **Karady, G.G.,** 1999, Flashover Mechanism of Non-ceramic Insulators, IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, Volume:6, No:5, pp:718-723.
79. **Yağdıran Z.O.,**1997, Yüksek Gerilim İzolatörlerinin Performansını Belirlemede Bir Deneysel Yöntem, Y. Lisans Tezi, 65 Sayfa, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
80. **Holtzhausen, J. P.,** 1997, A Critical Evaluation of AC Pollution Flashover Models for HV Insulators Having Hydrophilic Surfaces, PhD Thesis, University of Stellenbosch, South Africa.
81. **Verma, M. P.,** “Highest Leakage Current Impulse As Criterion For The Performance Of Polluted Insulators” , CIGRE 33-73 (WG 04) (6) IWD.
82. **Holtzhausen, J. P., Du Toit, L. P.,** 1987, Insulator Pollution: Interrelationship of Highest Leakage Current, Specific Creepage Distance and Salinity, Proc. SAIEE, Vol. 78, No. 1.
83. **Holtzhausen, J. P., Vosloo, W. L.,** 2001, The Pollution Flashover of AC Energised Post Type Insulators: The Role of Shortening of the Arc, IEEE Trans. For Dielectrics and Insulation.
84. **Wilhelm H. Schwardt, Jacobus P. Holtzhausen and Wallace L. Vosloo,** A Comparison Between Measured Leakage Current And Surface Conductivity During Salt Fog Tests, PhD Thesis, University of Stellenbosch, South Africa.
85. **Suda T.,** 2001, Frequency Characteristics of Leakage Current Waveforms of an Artificially Polluted Suspension Insulator, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 8 No. 4.

86. **Zhicheng G., Yinke M., Liming W., Ruihai L., Hua W. and Yi M.,** 2009, Leakage Current and Discharge Phenomenon of Outdoor Insulators, International Journal on Electrical Engineering and Informatics, Vol. 1, No. 1.
87. **Waluyo, Parouli M. Pakpahan, Suwarno, and Maman A. Djauhari,** 2007, Study on Leakage Current Waveforms of Porcelain Insulator due to Various Artificial Pollutants, World Academy of Science, Engineering and Technology 32 2007
88. **H.I.S. Jayasundara, W.P.S.Sudarshani, and M.A.R.M. Fernando,** 2002, Leakage Current Patterns on High Voltage Insulators: Analysis on Frequency and Time-frequency Domain
89. **Nabiyev V.V.,** 2005, Yapay Zeka: Problemler, Yöntemler, Algoritmalar, 764 sayfa, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
90. **Dorigo M., V. Maniezzo & A. Colorni,**1991, The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process,. Technical Report No. 91-016 Revised, Politecnico di Milano, Italy
91. **Dorigo M.; Di Caro G.; Gambardella LM.,** 1999, Ant algorithms for discrete optimization, Artificial Life;5, ss.137–172.
92. **Karaboğa, D,** 2004, Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Atlas Yayınevi, Yayın No:38, S.198.
93. **Aydoğmuş, Z.,** 2000, Yüksek Gerilim İzolatörlerinde Kirlenme Atlamasının Dinamik Ark Modeli, Doktora Tezi, 70 Sayfa, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
94. http://www.kaleizolator.com/brosur/urunler/04_zincir.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Dursun ÖZTÜRK

Fırat Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Elazığ

Tel: 530 – 4676573

E.posta: dozturk@firat.edu.tr

- | | |
|--------------------------|--|
| 1977 | Elazığ’da doğdu. |
| 1991 - 1994 | Elazığ Mehmet Akif Ersoy Lisesini tamamladı. |
| 1995 – 2000 | Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. |
| 2000 – 2003 | Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ElektrikElektronik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tez çalışmasını tamamladı. |
| 2004 – | Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ElektrikElektronik Mühendisliği Anabilim Dalında doktora tez çalışmasınabaşladı. |
| 2001-2009 | Erzincan Üniversitesi Kemaliye H. Ali Akın Meslek Yüksekokulunda öğretim görevlisi olarak çalıştı. |
| <u>2009-</u> | Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulunda öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı |