



**YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNDE
YÜZEYSEL KAÇAK AKIMLARIN
ANFİS İLE HESAPLANMASI**

Ersin TURAN

**Yüksek Lisans Tezi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Muhsin Tunay GENÇOĞLU
TEMMUZ-2018**

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

**YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNDE YÜZEYSEL KAÇAK AKIMLARIN ANFİS İLE
HESAPLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ersin TURAN

(101113109)

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Programı: Elektrik Tesisleri

Danışman: Prof. Dr. Muhsin Tunay GENÇOĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 10 Temmuz 2018

TEMMUZ-2018

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

**YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNDE YÜZEYSEL KAÇAK AKIMLARIN ANFİS İLE
HESAPLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ersin TURAN

(101113109)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Temmuz 2018
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Temmuz 2018**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Muhsin Tunay GENÇOĞLU (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi M.Temel ÖZDEMİR (F.Ü.)

Dr. Öğr. Üyesi Abdulkarim KARABİBER (B.Ü.)

TEMMUZ-2018

ÖNSÖZ

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

Bu çalışmada; yüksek gerilim izolatörlerinin kaçak akımlarının, temiz ve kirli durumlar için nasıl değiştiği gözlenmiş ve kaçak akımları bulma hususunda farklı yöntemler ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışması sürecinde yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Muhsin Tunay GENÇOĞLU'na ve çok değerli yardım ve destekleri nedeniyle Dr. Öğr. Üyesi Abdulkerim KARABİBER ve Dr. Öğr. Üyesi Dursun ÖZTÜRK'e teşekkür ederim.

Ersin TURAN
ELAZIĞ - 2018

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
SİMGELER LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Özeti	1
1.2. Tezin Amacı	6
1.3. Tezin Yapısı	7
2. KİRLENME ATLAMASI VE KAÇAK AKIMLAR	8
2.1. İzolatör Yüzeyinin Kirlenmesi	8
2.2. Kir Oluşumunu Etkileyen Faktörler	9
2.3. Kir Tabakasının İletkenliği.....	11
2.3.1. Çimento Tozu Kirliliği	12
2.3.2. Çöl Tozları Kirliliği.....	12
2.4. Yüzeysel Atlamanın Oluşumu.....	13
2.5. İzolatör Yüzeyindeki kaçak akımlar.....	15
2.5.1. Porselen İzolatörler İçin Kaçak Akımlar	15
2.5.2. Polimer İzolatörler İçin Kaçak Akımlar	16
2.6. İzolatör Kaçak Akımlarının Genliği	18
2.7. İzolatör Kaçak Akımlarının Sınıflandırılması	19
3. İZOLATÖR MODELLERİ.....	22
3.1. Statik Modeller	22
3.1.1. Wilkins Modeli.....	22
3.1.2. Rumeli Modeli.....	24
3.1.3. Dairesel Şerit Model.....	25
3.1.4. Obenaus Modeli	27
3.2. Dinamik Modeller	28
3.2.1. Sundararajan – Gorur Modeli.....	28
3.2.2. Megriche-Beroual Modeli	31
3.2.3. Eşdeğer Silindirik İzolatör Modeli	33
3.2.4. Tekrar Tutuşma Modeli.....	35

4. AKILLI YÖNTEMLER	36
4.1. Yapay Sinir Ağları.....	36
4.2. Bulanık Mantık.....	38
4.3. Adaptif Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi.....	40
4.4. Karınca Koloni Algoritması	42
4.4.1. Gerçek Karıncalar.....	43
4.4.2. Yapay Karıncalar.....	45
4.4.3. Gerçek Karıncalar ve Yapay Karıncaların Benzer ve Farklı Yönleri.....	46
4.4.4. Mevcut Karınca Koloni Algoritması	46
4.4.5. Karınca Koloni Algoritmasının Gezgin Satıcı Problemine Uygulanması.....	48
4.5. Karıncadan Esinlenen Diğer Algoritmalar	49
5. UYGULAMA	51
5.1. İzolatör Yüzeyindeki Kaçak Akım Deney Ölçüm Sonuçları	51
6. SONUÇ	67
KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ	74

ÖZET

İşletme gerilimi altında çalışan yüksek gerilim izolatörleri çevre şartlarından olumsuz etkilenirler. Bu etkilenme neticesinde izolatör yüzeyindeki kir tabakası iletken hale gelerek kaçak akımların oluşmasına sebep olur. Bu kaçak akımlar yağmur, nem vb. durumlarda artarak yüzeysel atlamaları oluştururlar. Bu durum, istenmeyen enerji kesintileri ve ekonomik kayıplar meydana getirmektedir.

Yüksek gerilim izolatörlerinin izolasyon vazifesini yeterli bir şekilde yapabilmeleri için izolatör yüzeyindeki kaçak akımları azaltıcı tedbirler almak önem arz etmektedir. Bunun için izolatör yüzeyindeki farklı kir durumlarına göre kaçak akımları tespit etmek gerekir. Laboratuvar ortamında izolatör yüzeyindeki kaçak akımları tespit etmek her zaman mümkün olmadığından farklı yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur.

Yüzeysel atlama mekanizmasının kompleks oluşu atlama olayının matematiksel izahını zorlaştırmaktadır. Bu sebeple kirli izolatörlerin matematiksel modellenmesinde bazı kabullere ihtiyaç duyulmuştur.

Bu çalışmada yüzeysel atlama probleminin çözüm yolları üzerinde durulmuştur. Yüksek gerilim izolatörlerinin kaçak akımlarının, temiz ve kirli durumlar için nasıl değiştiği gözlenmiş, kirlenme atlaması probleminde akıllı yöntemlerin kullanılabilirliği araştırılmış ve yüzeysel kaçak akımlar Karınca Koloni Algoritması ve ANFIS yöntemiyle hesaplanmıştır. Öztürk' ün doktora çalışmasındaki deneysel sonuçlar, Karınca Koloni Algoritması ve ANFIS sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Gerilim İzolatörü, Kirlenme Atlaması, Dinamik Ark Modeli, Karınca Koloni Algoritması, Adaptif Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi.

SUMMARY

Calculation of Surface Leakage Current by ANFIS in High Voltage Insulator

High voltage insulators operating under operating voltage are adversely affected by environmental conditions. This effect also makes the dirt layer on an insulator surface conductive, which causes leakage currents. Rain and humidity etc. increase these leakage currents, which, in turn, cause surface flashovers. This leads to power failures and economic losses.

It is important to take measures to reduce the leakage currents on an insulator surface in order to ensure that high voltage insulators perform effectively. To achieve this, it is necessary to determine the leakage currents on the insulator surface depending on different dirt conditions. Different methods are needed to determine leakage currents on an insulator surface as it is not always possible to do it in the laboratory environment.

The complexity of the surface flashover mechanism is what makes its mathematical solution difficult. Some assumptions are therefore needed for the mathematical modeling of dirty insulators.

This study addresses the solutions of the surface flashover problem. This study examines how leakage currents of high voltage isolators change depending on clean and dirty conditions, investigates the usability of intelligent methods in the pollution flashover problem, and calculates the surface leakage currents using the Ant Colony Algorithm and the ANFIS method. Experimental results in Öztürk's doctoral thesis were compared with Ant Colony Algorithm and ANFIS results.

Key Words: High Voltage Insulator, Pollution Flashover, Dynamic Arc Model, Ant Colony Algorithm, Adaptive Fuzzy Inference Systems.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Sisi tipi bir izolator için kirlenme deneyi.....	10
Şekil 2.2. Kir tutulmasının izolator şekliyle değişimi.....	10
Şekil 2.3. Kir yoğunluğunun eğim açısıyla değişimi	11
Şekil 2.4. Yüzey tabaka yoğunluğu ve iletkenliği.....	12
Şekil 2.5. Kirlenme atlamasının safhaları	14
Şekil 2.6. Ark büyümesinin değişik safhalarında ark hızı.....	15
Şekil 2.7. Porselen izolator kaçak akım yolu	15
Şekil 2.8. Polimer İzolatörler	16
Şekil 2.9. Farklı yüzey iletkenlikleri için gerilim-yüzey kaçak akım eğrileri.....	18
Şekil 2.10. Kritik atlama geriliminin tuzluluk oranı ile değişimi.....	18
Şekil 2.11. Kapasitif tip kaçak akım dalga şekli	19
Şekil 2.12. Rezistif tip kaçak akım dalga şekli	20
Şekil 2.13. Nonliner tip kaçak akım dalga şekli.....	20
Şekil 2.14. Deşarj tip kaçak akım dalga şekli	20
Şekil 2.15. Kuvvetli Deşarj tip kaçak akım dalga şekli	21
Şekil 3.1. İzolatör RW vw AR yarı modelleri.....	24
Şekil 3.2. Dairesel şerit model	25
Şekil 3.3. Dönüştürülmüş dairesele şerit.....	25
Şekil 3.4. Obenaus modeli.....	27
Şekil 3.5. Eşdeğer Devre	27
Şekil 3.6. Kuru band oluşmuş kirli izolator	28
Şekil 3.7. Kirli izolatorün Obenaus modeli.....	29
Şekil 3.8. Deşarj büyümesinin analizi için kullanılan model	31
Şekil 3.9. Eşdeğer elektrikse devre	31
Şekil 3.10. Tüm deşarj yayılımını tanımlayan elektriksel devre modeli.....	31
Şekil 3.11. Kirli bir izolatorün yüzeyinde ark oluşumu ve kaçak akım akışı	34
Şekil 3.12. İzolatörü temsil eden eşdeğer silindirik izolator modeli.....	34
Şekil 3.13. Silindirik izolator için eşdeğer devre	34
Şekil 3.14. Test devresi	35
Şekil 4.1. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi	41
Şekil 4.2. Yuva ile besin kaynağı arasındaki en kısa yol	43
Şekil 4.3. Bir cisim konulması suretiyle en kısa yolun bozulması.....	43

Şekil 4.4. Bir cisim konulmasından hemen sonraki durum.....	44
Şekil 4.5. Cismin konulmasından belirli bir sonraki durum	44
Şekil 4.6. Karıncanın şehri gezme mekanizması.....	49
Şekil 5.1. Deney sistemi.....	51
Şekil 5.2. Sistemin eğitimi ve hata gösterimi.....	54
Şekil 5.3. Yapay sinir ağı yapısı.....	55
Şekil 5.4. Yapay sinir ağı özellikleri	55
Şekil 5.5. Sigma üyelik fonksiyonları	56
Şekil 5.6. Uygulanan gerilim üyelik fonksiyonları	56
Şekil 5.7. Kaçak akım çıkış üyelik fonksiyonları.....	57
Şekil 5.8. Ölçüm sonuçlarının eğitim kural yapısı	57
Şekil 5.9. Ölçüm sonuçlarının yüzey şeklinde gösterimi	58
Şekil 5.10. Kaçak akım için spesifik değer çıktısı gösterimi	58
Şekil 5.11. $\sigma=2,03 \mu\text{s/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları .	59
Şekil 5.12. $\sigma=3,32 \mu\text{s/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları .	60
Şekil 5.13. $\sigma=10,98 \mu\text{s/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları	60
Şekil 5.14. $\sigma=13,45 \mu\text{s/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları	61
Şekil 5.15. $\sigma=17,8 \mu\text{s/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları .	61
Şekil 5.16. $\sigma=22,6 \mu\text{s/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları .	62
Şekil 5.17. %60 nem ve $\sigma=3,32 \mu\text{s/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları	63
Şekil 5.18. %60 nem ve $\sigma=10,98 \mu\text{s/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları	63
Şekil 5.19. %60 nem ve $\sigma=17,8 \mu\text{s/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları	64
Şekil 5.20. %85 nem ve $\sigma=3,32 \mu\text{s/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları	65
Şekil 5.21. %85 nem ve $\sigma=10,98 \mu\text{s/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları	65
Şekil 5.22. %85 nem ve $\sigma=17,8 \mu\text{s/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları	66

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Kır tipleri ve parçacık çapları	8
Tablo 2.2. Çimento tozunun kimyasal analizi.....	12
Tablo 5.1. Kuru durum için yüzey kaçak akımlarının efektif değerleri	52
Tablo 5.2. Kuru durum için yüzey kaçak akımlarının efektif değerleri	52
Tablo 5.3. Karınca koloni optimizasyonu için yüzey kaçak akımlarının efektif değerleri	53
Tablo 5.4. Karınca koloni Optimizasyonu için yüzey kaçak akımlarının efektif değerleri	53



SİMGELER LİSTESİ

F	: Kuvvet
k	: Sabit
v	: Hacim
ϵ	: Permittivite
E	: Elektrik alan şiddeti
R_{iz}	: İzolatörün terminalleri arasındaki kir direnci
σ_s	: İzolatör yüzeyi
dl	: Sızma boyunca uzunluk elemanı
$D(l)$	: Uzunluk elemanına karşılık gelen izolatör çapı
R_{mo}	: Kir direnci
L	: Sızma uzunluğu
a	: İzolatör modelin eni
d_{eff}	: Efektif izolatör çapı
r_d	: Deşarj ucu
$1/r_1$	: Form faktörü
V_c	: Kritik gerilim
I_c	: Kritik akım
V_{arc}	: Ark gerilimi
R_p	: Kirlenmiş tabakanın direnci
U	: Kararlı gerilim besleme kaynağı
D_m	: İzolatör diskinin maksimum çapı
A, n	: Ark sabitleri
C	: Mevcut tuz yoğunluğu
K	: Kirli tabaka direncinin katsayısı
R	: Ark ayağının yarıçapı
V_s	: Uygulama gerilimi
L_{ark}	: Ark tabakasından akan akım
I	: Kir tabakasından akan akım
R_{kir}	: Kir tabakası direnci
R_s	: Kaynağın iç direnci
σ	: Yüzey iletkenliği
E_{ark}	: Ark gerilim gradyenti

R_k	: Birim uzunluk başına düşen kir direnci
λ	: Ark zaman sabiti
V_{ap}	: i. gerilim,
R_i	: i. direnç,
L_i	: i. indüktans
C_i	: i. kapasite
N	: Ark atlamaların sayısı
R_{pi}	: Kısalmamış bir bandın direnci
R_0	: Deşarjın direnci
L_0	: Deşarja seri bir indüktans
X_0	: Başlangıç uzunluğu
C_0	: Paralel kapasite
V_i	: i. indisine karşılık gelen gerilim
I_i	: i. indisine karşılık gelen akım
$U(t)$	: Giriş vektörleri
$Y(t)$	: Çıkış vektörleri
$Q(t)$	: Elektrot aralığına enjekte edilen toplam şarj
e_p	: Kir kalınlığı
L_i	: Per-unit indüktansı
X_a	: Ark uzunluğu
$U_{da}(x)$	: Kırılcım bozulma gerilimi
$T(t)$	: Zamana bağlı olarak değişen ark çekirdeği ısısı
$U_{da}(x)$	: İzolatör geometrisi
p_1, p_2, q_1, q_2, r_1 ve r_2	: Doğrusal sonuç parametreleri
T^{bs}	: O ana kadar bulunan en iyi tur
C^{bs}	: Global en iyi çözüm
C^{ib}	: İterasyondaki en iyi çözüm
$\Delta\tau_{ij}^{bs}$	: Feromon katkısı
α	: Öğrenme katsayısı
γ	: Azaltma katsayısı

KISALTMALAR LİSTESİ

AC	:	Alternatif akım
DC	:	Doğru akım
ANFIS	:	Adaptif bulanık mantık çıkarım sistemi
ANN	:	Yapay sinir ağı (Artificial neural network)
YSA	:	Yapay sinir ağı
IEC	:	Uluslararası Elektrik/Elektronik Komisyonu (International Electric/Electrical Commission)
IEEE	:	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
CIGRE	:	Büyük Elektrik Sistemleri Uluslararası Konseyi (International Council on Large Electric Systems)
CE	:	Cycloaliphatic Epoxy
RW	:	Wilkins modeli
AR	:	Rumeli modeli
MMAS	:	Max-Min Ant System
YG	:	Yüksek Gerilim
mA	:	Mili amper
kV	:	Kilovolt
kHz	:	Kilo Hertz
μs	:	Mikro saniye
μS	:	Mikro siemens

1. GİRİŞ

İzolatörlerin mekanik yükleri taşımak ve yüksek gerilim altında kalan kısımları izole etmek gibi iki önemli vazifesi vardır. Mekanik yükleri taşımada genellikle bir sorun çıkmasa da izolasyon görevinde bazı sorunlar meydana gelmektedir. Bu durum izolatörde enerji ile toprak arasında kısa devre arızalarına yol açar.

İzolatörde kısa devre arızalarına yol açan başlıca sebepler şunlardır:

1) Kirlenme atlaması: Kirlenme atlamaları endüstri ve sahil bölgelerindeki yüksek gerilim izolatörlerinde çok sık görülmektedir. İzolatörlerde kirlenme atlamasının santral ve enerji iletim sistemlerinin çoğalmasa, sanayi ve endüstrileşme sonucunda endüstriyel kirlerin artması nedeniyle ciddi bir sorun olarak önemini korumaktadır.

2) İzolatörün delinmesi: İzolatörlerin ısınması ve mekanik zorlanmalara maruz kalması, izolasyon görevini yapamamasına sebep olur. Bu durum daha çok imalat hatalarından kaynaklanır. Çok sık rastlanılan bir durum değildir.

3) Aşırı gerilim atlamaları: Yıldırım ve diğer nedenlerle oluşan aşırı gerilimler izolatörlerde atlamalara sebep olurlar. Yüksek gerilim hatları aşırı gerilim atlamalarına daha mukavemetlidirler. Fakat aşırı gerilim atlamaları, alçak ve orta gerilim hatları için sıkıntı oluşturlar.

İzolatörlerin yüzeyinde biriken kir tabakası, izolatörlerden beklenen görevleri olumsuz yönde etkilemektedir. Kirlenme sonucunda izolatör yüzeyinde oluşan kir tabakası, belli bir iletkenliğe sahip olur. Bu kir tabakasının iletkenliği çevre şartlarına bağlı olarak yağmur, nem vb. durumlarda artar. İletkenliğin artmasıyla kir tabakasının direnci düşer. Dolayısıyla izolatör yüzeyindeki kaçak akımlarda artar. Kaçak akımların artmasıyla izolatör yüzeyinde kısmi arklar meydana gelir ve bu arkların sonucunda kuru bandlar oluşur. Zamanla bu kuru bandlar üzerinde ön deşarjlar oluşur. Ön deşarjların sürekliliği halinde kısmi deşarjlar meydana gelir. Kısmi deşarjların artmasıyla da yüzeysel atlamalar oluşur. Bu da izolatörün tahrip olmasına ve güç sisteminin olumsuz yönde etkilenmesine neden olur.

1.1. Literatür Özeti

İzolatörlerde kirlenme atlaması ve kaçak akımlar üzerine yapılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Alış vd. tarafından yapılan bir çalışmada, izolatör kaçak akımlarının ve yüzeysel atlama gerilimlerinin çevresel faktörlere bağımlılığını incelemek üzere, bazı termik santrallerin meydana getirdiği değişik özellikteki kir numuneleri, laboratuvar ortamında izolatör yüzeyine püskürtülerek, yüzeysel atlamalar incelenmiş ve elde edilen sonuçlar ile çevresel şartlar (sıcaklık, nem, kir) arasındaki ilişki belirlenmiştir [1].

Rumeli tarafından yapılan bir çalışmada [2], izolatörlerde kirlenmelerin sebep olduğu atlamaları önleme çareleri aranmış olup, izolatörlerin elle temizlenmesi, yıkanması ve greslenmesi ile yağlı tip izolatörlerin kullanılması gibi izolatör yüzeyinde sürekli ve iletken bir kir filmi teşekkülünü, dolayısıyla atlamaları önleyici tedbirler gözden geçirilmiştir. İzolatörlerin gerilim altında, özel olarak imal edilmiş bir helikopter ile yıkanabileceği görüşü ileri sürülmüştür. Helikopter yıkama yapılmadığı zaman diğer maksatlar için de kullanılabileceğinden, uzun süreli olarak bu metod daha ekonomik olacaktır.

Rumeli ve Koraşlı'nın diğer bir çalışmasında [3] kirlenmiş izolatörlerin atlama davranışlarının analitik olarak incelenmesi için bir model geliştirilmiştir. Yüksek gerilim izolatörlerinin kirli şartlar altındaki davranışlarının teorik ve deneysel olarak incelenmesi, yeni geliştirilen eşdeğer modeller üzerinde yapılmış ve gerilim kir iletkenlik eğrileri sayısal yöntemlerle bilgisayar kullanılarak, üç tip yüksek gerilim izolatörü için çizdirilmiştir. Hesaplanan değerler diğer araştırmacıların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Hesap ve deney sonuçları arasında oldukça iyi bir uygunluk elde edilmiştir.

Öztürk ve Cebeci'nin yapmış olduğu bir çalışmada, kirlenmiş yüksek gerilim izolatörlerindeki yüzeysel kaçak akımların karınca koloni algoritması kullanılarak hesaplanmıştır [4]. Bu çalışmada zorunlu olarak düzgün dağılımlı kabul edilen kirlenmiş yüksek gerilim izolatörlerinde, düzensiz kir dağılımını ve deşarj parametrelerindeki değişimleri, karınca koloni algoritması yardımıyla bulan ve atlama gerilimi hesabında kullanmak üzere yüzey kaçak akımını hesaplayan bir model geliştirilmiştir. Bunun için kirli izolatör yüzeyinde meydana gelen kısmi arkların yayılımı ile karınca koloni algoritması arasındaki benzerliklerden yararlanılmıştır.

Gençoğlu, kirlenmiş yüksek gerilim izolatörlerinin doğru akım atlama gerilimlerinin hesaplanması üzerine bir çalışma yapmıştır [5]. Bu çalışmada kirlenme atlamasının tanımı, fiziksel mekanizması ve önemi açıklanarak, atlama denklemi ve Rumeli modeli incelenmiştir. Ayrıca geliştirilen yeni bir dinamik ark modeli sunulmuştur. İncelenen izolatörlerin ölçekli şekilleri üçgen elemanlara bölünerek, Sonlu Elemanlar Yöntemi uygulanmış ve izolatör yüzeyindeki potansiyel dağılımı, kir direncinin değişimi ve atlama gerilimleri hesaplanmıştır.

Seçilen zincir tipi izolatörlerin atlama gerilimi karakteristikleri diğeri bir araştırmacının elde etmiş olduğu sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Gençoğlu vd. yüksek gerilim izolatörlerinde kir tabakası direncinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile hesaplanması üzerine bir çalışma yapmıştır [6]. Bu çalışmada, kirlenmiş izolatördeki atlama olayını önlemek için ilk adım atlama mekanizmasını belirlemektir. Bu amaçla atlama denklemi dikkate alınarak deşarj sırasındaki kir tabakasının direncindeki değişiklikler belirlenmiştir. Bununla birlikte izolatör yüzeyindeki atlama performansını belirleyen deşarja seri kir tabakasının direnci, modeller üzerinde bilgisayar yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Zegnini vd. yapay sinir ağları kullanarak kirlenmiş izolatörlerin atlama gerilimlerinin modellenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır [7]. Bu çalışmada yapay zeka teknikleri kullanılmıştır. Özellikle bir izolatör test istasyonunda IEC normuna göre gerçekleştirilen deneysel ölçümler kullanılarak kirli izolatörler için kritik atlama gerilimi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada geliştirilen model, izolatörün çapı, yüksekliği, yıpranma mesafesi, form faktörü ve eşdeğer tuz yoğunluğuna dayalı matematiksel bir modeldir. İzolatörün belirtilen özellikleri ile kritik atlama gerilimi arasında doğrusal olmayan bir model oluşturmak üzere iki tür yapay sinir ağı (ANN) tasarlanmıştır. ANN modelleri, algoritmaları ve araçları Matlab yazılım paketi kullanılarak geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçların ümit verici olduğu ve yapay zeka teknikleri ile farklı çalışma koşullarına sahip yeni tasarlanmış izolatörler için kritik atlama geriliminin tahmin edilebileceği ifade edilmiştir.

Waters vd. hafif kirli izolatörlerin kısmi ark ve spark atlama modelleri üzerine bir çalışma yapmıştır [8]. Bu çalışmada yüzeyi nemli iletken kir tabakasıyla kaplanmış bir izolatörün atlama gerilimini hesaplamaya yönelik bir model geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu modelin kuru bir bandın oluşması ve köprülenmesinden kısmi ark ön deşarjı ile oluştuğu öngörülmektedir. Bu ön deşarjın arkın özelliklerine sahip olduğu, böylece kısmi ark akımı arttıkça kuru band boyunca elektrik alanının azaldığı kabul edilmiştir. Fakat yalnızca hafif kirli izolatörler göz önüne alındığında, ön boşalmaların düşük parlaklık ve ultraviyole açısından zengin olduğu ve hava boşluklarındaki kıvılcım başlangıcı ve uzatma dizilişine benzediği gösterilmiştir. Bunun nedeni, yüzey katmanı iletkenliğinin düşük değerlerine göre mevcut sınırlamanın, ön boşalma aşamasındaki bir ark geçişini engelleyebilmesidir. Basitleştirilmiş gerilim-akım denklemlerini kullanan alternatif bir model, bir ark karakteriştiği yerine bu kıvılcım özelliklerini temsil etmek üzere geliştirilmiştir. Kısmi ark modelinin tahminleri ve bu yeni yaklaşım laboratuvarlarda kir testlerinden elde edilen deneysel veriler kullanılarak bulunmuştur. Bu amaçla, atlama öncesi uygulanan gerilim ile ön deşarj

uzunluğunun arttırılması için kabul edilen tahmini ortaya çıkarmak için kısmi ark teorisi geliştirilmiştir. Yeni model kullanılarak ark uzunluğunun artırılması sağlanmıştır. Sonuç olarak anormal yalıtım hatalarını hesaplayabilen bu model, kirlenme şiddeti ile birlikte atlama geriliminin değişimini hesaplayabilmek amacıyla geliştirilmiştir.

Dixit vd. kirlenmiş porselen izolatörlerin atlama gerilimleri için yeni bir matematiksel model üzerine bir çalışma yapmıştır [9]. Bu çalışmada kirlenmiş porselen izolatörlerin atlama davranışı deneysel testler ve matematiksel model aracılığıyla araştırılmıştır. İlk adım olarak, deneyler iki aşamada yürütülmüş olup, ilk faz ark gerilimi ve ark akım davranışı farklı eşdeğer tuz yoğunlukları ve ark akımları için kirlenmiş izolatörlerin alt tarafındaki parıldamalar için çalışılmıştır. Bu deneysel sonuçlar Ayrton'un ark gerilim denklemindeki ark sabitleri A ve n' yi belirlemek için kullanılmıştır. İkinci aşamada, kritik akım ve atlama gerilimleri disk izolatörlerin üç farklı türü için deneysel olarak elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre genelleştirilmiş yeni bir matematiksel model, kirli izolatörlerin atlama gerilimleri için geliştirilmiştir. Matematiksel model izolatör kirlilik şiddeti, kritik ark uzunluğu, basınç, nem ve ark sabitlerinin geometrik sabitlerini içerir.

Bessedik ve Hadi, kirli izolatörlerin atlama denkleminin dinamik ark modeli üzerine bir çalışma yapmıştır [10]. Bu çalışmada teorik ve deneysel açık model sunumundan sonra, atlamayı hesaplamak için dinamik bir ark modeli geliştirilmiştir. Modelin geçerliliği karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Önceki araştırmacıların deney sonuçları ve bu çalışma ile hesaplanan sonuçların uygunluğu gösterilmiştir.

Bencherif ve arkadaşları düzenli ve düzensiz kir altındaki bir yüksek gerilim izolatörünün modellenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır [11]. Bu model kirli koşullar altında atlama geriliminin hesaplanması için kullanılmış olup bu çalışmada önerilen iki metot vardır. İzolatörün açık model kullanılarak modellendiği birinci metotta, kirlenmiş yüzey üzerindeki kaçak akımın tahmini yayılması dinamik bir modelle incelenmiş olup, Hampton'un eşdeğer elektrik devresi ve yayılım kriterleri kullanılmıştır. İkinci metotta ise izolatör profilinin dönüşümü işlemi yapılmıştır. Hesaplama sonuçlarının onaylanması deneysel çalışmalar ile sağlanmıştır. İzolatörün regresyon modelinin en küçük kareler destek vektör makine metodu ile çıkarılması önerilmiştir. Hibrit optimizasyon tekniği, öğrenilen istatistiksel yöntemin tahmini performanslarını iyileştirmek için kullanılmıştır. Önerilen modelin uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla çeşitli testler yapılmıştır. Bu çalışmada sunulan iki modelin tahmin yeteneği test edilmiş ve ikinci modelin daha iyi bir performans sunduğu gösterilmiştir.

Dixit vd. yapmış oldukları bir çalışmada doğru akım için tasarlanmış kirli polimerik izolatörün atlama geriliminin tahmini için matematiksel bir model tasarlamıştır. Bu model

deneysel sonuçlar ile doğrulanmıştır [12]. Dhahbi ve Arfaoui farklı kir koşullarında yüksek gerilim izolatörlerini seçmek için bir paket bilgisayar programı üzerine çalışmıştır [13]. Farklı karakteristik parametreler içeren bu program, kirliliği oluşturan sebepleri ve kirliliğin zamanla nasıl meydana geldiğini göstermektedir. Farklı kir çeşitlerine ek olarak AC, DC ve darbe gerilimlerini de içermektedir. Bu çalışma atlamada önem arz eden kritik kir seviyesini belirleyerek uygun izolatör seçimine yardımcı olmaktadır.

Slama vd. laboratuvar ortamında izolatör yüzeyindeki düzensiz kir dağılımının atlamaya olan etkisini araştırmak ve modellemek amacıyla bir çalışma yapmıştır [14]. Bu çalışmada, deneysel sonuçların neticesinde kuru bandlara uygulanan gerilimin değeri ne olursa olsun deşarjların neredeyse aynı anda meydana geldiği görülmüştür. Deşarj uzunluğu ve kritik atlama gerilimi kir kalınlık seviyesine ve gerilim değerine bağlıdır. Böylece, her deşarjdan önce lokal eşdeğer empedansın değişimi deşarjların yayılma koşullarını belirler. Öte yandan, deşarj sıcaklıkları, kir çeşidine ve gerilim değerine bağlıdır. Önerilen model kullanılarak hesaplanan atlama geriliminin, deneysel atlama gerilimleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Moula vd. yüksek gerilimde izolatör yüzeyindeki kirin etkisiyle kaybedilen enerji seviyesini belirlemeye yönelik bir çalışma yapmıştır [15]. Deneysel testler, standart izolatörü temsil eden düzlemsel bir model üzerinde yürütülmüştür. Bu testlerden biri Cezayir’de bir elektrik ve gaz şirketi tarafından kullanılmaktadır. Bu laboratuvar testleri değişik kirli izolatörlerin izolatör yüzeyinde biriken yükün ölçülmesi işlemini yapmaktadır. Çözeltiler damıtılmış su, NaCl ve kaolinden oluşur. Kir seviyesi, bir litre damıtılmış suda NaCl ve kaolin konsantrasyonlarının değiştirilmesiyle elde edilip, enerji seviyesi biriken yükün ölçümüyle bulunur. Elde edilen sonuçlar izolatör modeli üzerindeki enerji tüketiminin kir şiddeti ile orantılı olduğunu göstermektedir.

Asimakopouloua vd. kirli izolatörlerin kritik atlama gerilimlerini tahmin için bulanık mantık temelli yeni bir model üzerine çalışmıştır [16]. Bu çalışma, sadece tahmini değer değil, aynı zamanda güvenilir örnekleme metodu üzerine yapılmıştır. Bulanık metot işlemi için kullanılan üçgen üyelik fonksiyonlarının sayısı ve taban genişliği gibi çeşitli parametrelere, kritik atlama gerilimi tahminini optimize etmek için farklı değerler atanmaktadır. Buna ek olarak, bulanık sistemi eğitmek için farklı yöntemler uygulanmış ve kritik atlama gerilimi için doğru tahminlerin uygunluğu açısından karşılaştırılmıştır.

Kontargyri vd. kirli izolatörler üzerinde kritik atlama gerilimini tahmin etmek için bir yapay sinir ağı uygulaması üzerinde çalışmıştır [17]. Bu çalışmada çap, yükseklik, yıpranma mesafesi, form faktörü ve eşdeğer tuz depolanma yoğunluğu yapay sinir ağı için giriş

değişkenleri olarak kullanılmış ve kritik atlama gerilimi tahmin edilmiştir. Ağın eğitimini ve performansını test etmek için kullanılan veriler, deneysel ölçümlerden ve matematiksel bir modelden elde edilmiştir.

Panagiotis vd. 20 kV'luk gerilim altında porselen izolatorlerde kaçak akım ölçümlerinin sonuçlarını ele alan bir çalışma yapmıştır [18]. Ölçümler frekansı 50 Hz olan bir gerilim altında yapılmış olup izolatorler tuz ve kaolin bileşiğiyle kirletilmiştir. Bu çalışmada belli aşamalarda gerilim uygulanıp akım-gerilim eğrileri çizdirilmiştir. Uygulanan gerilime verilen cevabın ilk önce doğrusal olduğu ve devamında darbe akımları şeklinde olduğu görülmüştür. Deney süresince kısmi boşalmalar, kısa ve uzun süreli arklar gözlemlenmiştir. Değişen akımın ortalama değerinin farklı çalışmalarda elde edilen sonuçlara yakın olduğu tespit edilmiştir.

Schwardt vd. yüksek gerilim altında kir değerlerini ölçen ve kir değişimini izleyen bir model üzerinde çalışmıştır [19]. Bu çalışma izolator yüzeyindeki iletkenliği ölçerek kir değerini belirlemektedir. İzolator yüzey iletkenliği kaçak akımların ölçümüyle elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile kritik kir değerinin erken tespiti yapılarak, izolator yüzey iletkenliği ile kaçak akımlar arasındaki ilişkiden atlama gerilimini tahmin etmek amaçlanmıştır.

Piah, izolator yüzeyindeki kaçak akımın ve elektrik alanının çevre şartlarıyla ilişkisini gözlemlemek amacıyla matematiksel bir model geliştirmiştir. Bu modelde deneysel sonuçların analitik sonuçlara yakınlığı gözlenmiştir [20].

Salam vd. bir izolatöre yüksek değerli DC uygulayarak izolatorün atlama gerilimi ve izolator yüzeyindeki kir yoğunluğu arasındaki ilişkiyi bulmaya yönelik matematiksel bir model üzerinde çalışmıştır [21]. Bu ilişki boyutlu analiz tekniği kullanılarak yapılmıştır. Analitik ifadelerden elde edilen sonuçlar, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine benzer olduğu tespit edilmiştir.

1.2. Tezin Amacı

Şimdiye kadar yüksek gerilim izolatorlerinin yüzeysel kaçak akımlarını hesaplayabilmek için farklı yöntemler denenmiştir. Bu çalışmada sezgisel bir yöntem olarak tanımlanan ANFİS yöntemiyle YG izolatorlerinin yüzeysel kaçak akımlarının hesaplanması ve hesaplanan değerler izolator yüzeyindeki kaçak akım ölçüm sonuçları ve Karınca Koloni Algoritması optimizasyon yöntemi ile bulunan değerler ile karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

1.3. Tezin Yapısı

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde izolatörlerde kirlenme atlaması ve izolatör modelleri ile ilgili genel bilgiler verilmiş, literatür araştırması yapılmış ve tezin yapısı belirlenmiştir. İkinci bölümde, izolatör yüzeyinde kirlenme atlaması ve kaçak akımlar hakkında bilgiler verilmiş, izolatör yüzeyinde kir oluşumunu etkileyen faktörler ve kir çeşitleri izah edilmiştir. Porselen ve polimer izolatörler için kaçak akımlar izah edilip, izolatör kaçak akımlarının sınıflandırılması yapılmıştır. Üçüncü bölümde izolatör modelleri statik ve dinamik olmak üzere iki bölümde incelenmiş ve modeller hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde, akıllı yöntemler adı altında yapay sinir ağları, bulanık mantık, adaptif bulanık mantık çıkarım sistemi ve karınca koloni algoritması incelenmiştir. Tez çalışmasının beşinci bölümünde Öztürk'ün doktora tez çalışmasından alınan izolatör yüzeyindeki kaçak akım deney ölçüm sonuçları, karınca koloni optimizasyon algoritması sonuçları ve adaptif bulanık mantık çıkarım sistemi ile elde edilen sonuçlar grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Sonuç bölümünde ise elde edilen veriler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar belirtilmiştir.

2. KİRLENME ATLAMASI VE KAÇAK AKIMLAR

2.1. İzolatör Yüzeyinin Kirlenmesi

İzolatör yüzeyinin kirlenmesi, atlamanın oluşmasında temel unsurdur. Kirlenme atlamasına neden olduğu bilinen çok sayıda kir çeşitleri bulunmaktadır. Bunlar kara bölgelerindeki kirler, tuz veya deniz kirleri olmak üzere iki kategoride incelenebilir. Tuz veya deniz kirliliği sahil kısımlarında yaygındır. Atlamaya neden olması yönüyle ciddi bir problemdir. Özellikle fırtına durumlarında, deniz suyu çiseleme tarzında izolatörlere ulaşır ve izolatör yüzeyinde tuz birikimleri oluşturur [22].

Kara bölgelerindeki kirler; çöl tozları, kül, is, katran, kömür tozu, çimento, alkali tuz, metal oksitler, kimyasal gazlar olarak bilinir. Metal oksitler veya metal içeren tozlar, kuru durumda da iletken hale gelebilirler. Endüstriyel bölgelerdeki kirler, nemli şartlar altında tehlikeli durumlar oluşturulabilir. Kimyasal gaz atıkları yüksek nemli ortamlarda iletkenliği yüksek bir film tabakası oluşturabilir. Bu film tabakası bütün izolatör yüzeyini kaplayabilir.

Kirler özellik bakımından iki grupta incelenir.

- Yapışkan ve su emici vasıflı, kimyasal olarak aktif olmayan esas kısım.
- Az bir yüzde oranında suda çözünerek, iyonlarına ayrılan ve elektriksel iletkenliği sağlayan maddeler.

Kirler izolatöre ulaşmadan önce havada parçacık halinde bulunurlar. Bu parçacıkların çapları 0,001 – 400 mikron civarındadır. Çimento tozu parçacıklarının çapları 1–20 mikron ve kül parçacıklarının çapları 30–180 mikron civarındadır. Tablo 2.1’de bazı kir tipleri ve parçacık çapları verilmiştir. Yağmur, rüzgar ve çevre kirliliği gibi dış etkiler ve izolatör yüzeyinin bazı özellikleri, izolatör yüzeyindeki kirlenmenin homojen olmamasına sebep olur. Parçacıklar izolatör yüzeyine temas ettiğinde, izolatör yüzeyine bağlı olarak kirlenme farklılık gösterir. Özellikle akışın ikiye ayrıldığı noktalarda hafif, girintili bölgelerde ise ağır kirler birikir.

Tablo 2. 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

2.2. Kir Oluşumunu Etkileyen Faktörler

İzolatör yüzeyinin kirlenmesi birçok parametreye bağlıdır. İzolatörün şekli ve bölgenin meteorolojik durumu yüzey kirlenmesinde önemli faktörlerdir. Yağmur ve rüzgarın temizleme etkisi, kir birikiminde oldukça önemlidir. Kirin izolatöre yapışmasını azaltmak ve düzgün bir yüzey sağlamak için porselen izolatörler, normal veya stabilize edilmiş bir sır tabakasıyla kaplanırlar. Küçük bir değere sahip olan stabilize akımı, izolatör yüzeyi boyunca akar. İzolatör yüzeyini sıcak tutarak yüzeye kir yapışma ihtimalini azaltır. Stabilize edilmiş kir tabakasının esas amacı alternatif akımdaki kapasitif akımın kir tabakasının kuru kalmasına yardımcı olmasıdır.

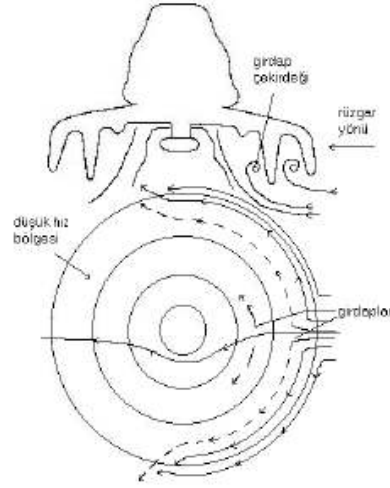
İzolatörler gerilim altındayken kir toplama özellikleri daha fazladır. Uygulanan gerilimin tipi, polaritesi ve genliği kir toplamada belirleyici unsurdur. Ayrıca doğru akım kir toplamada alternatif akıma göre daha etkilidir. Kir birikimini azaltmak için izolatör yüzeyi, sürtünme katsayısı çok küçük olan poli tetra flor etilen tabakasıyla kaplanır. Fakat bu sentetik maddenin bazı dezavantajları da vardır. Ayrıca izolatör yüzeyindeki kir birikim oranı farklı kir şekillerine de bağlıdır. Sisli ortam izolatör yüzeyinde yoğun kir birikimine sebep olur.

Yüksek permitiviteli parçalar, elektrik alan şiddetinin yoğun olduğu bölgelerde kir tutmayı artırıcı etki yaparlar. Bu etki elektrik alan şiddetinin karesiyle orantılıdır.

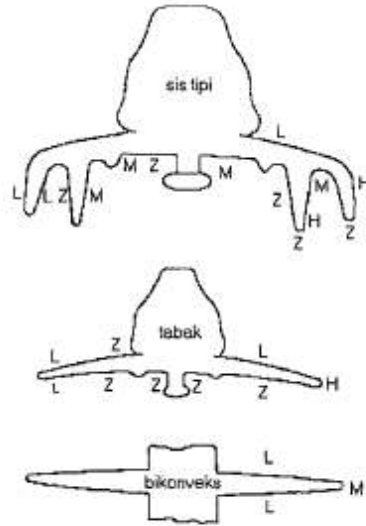
$$F = k. v. \left(\frac{\epsilon-1}{\epsilon+2} \right) grad E^2 \quad (2.1)$$

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

Yerçekimi kuvveti, yüklü parçacıkların elektrik çekim kuvveti ve çözelti veya süspansiyonların buharlaşıp aerodinamik olarak tutulmaları, kirleri izolatör yüzeyine taşıyan temel etkilerdir. Walsh Şekil 2.1’de görülen kirlenme deneylerini yapmıştır. Kirletilen izolatörlerin kir dağılımları Şekil 2.2’de verilmiştir [23]. Şekiller üzerindeki harfler kir yoğunluklarını göstermektedir. (H:Ağır, M:Orta, L:Hafif, Z:Sıfır)



Şekil 2.1. Sis tipi bir izolatör için kirlenme deneyi



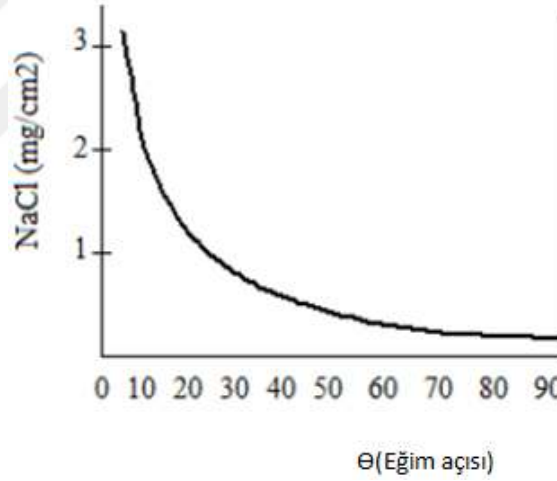
Şekil 2.2. Kir tutulmasının izolatör şekliyle değişimi

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi rüzgarın doğrudan çarptığı yüzeylerde ve girintilerde kir daha fazla görülür. Rüzgarın doğrudan çarpmadığı dip kısımlarda ise kir çok az olmaktadır. İzolatör yüzeyinde biriken kir miktarı, izolatörün kullanım şekliyle çok yakından ilgilidir. Gergi ve askı izolatörleri farklı kir toplama performansı gösterebilir. İzolatör yatay pozisyonunda iken kire daha orantılı bir şekilde maruz kalır. Daha homojen bir kirlenme meydana gelir. Askı izolatör zincirlerinde üst ünite en fazla kirlenen kısımdır. Alt üniteler kire direk muhatap olmadıklarından kısmen daha az kirlenirler. Yağmurun izolatör temizlenmesinde önemli bir yeri vardır. Uzun zaman yağmurdan uzak kalan zincir izolatör kapağının alt kısmı temiz kalırken, üst kısmı daha fazla kirlenir. Sistemin güvenliği için

tehlike arz eder. Eğer izolatör kısa zamanda yıkanıp temizlenmezse büyük arızalara neden olabilir. Çok sık yağmur yağan bölgelerde ise kapağın alt kısmı kirli kalırken üst kısmı yağmurun miktarı ve şiddeti oranında temizlenir [24].

İzolatör yüzeyindeki kirler belli bir seviyeye ulaşınca hava akışında ve aerodinamik yapıda bir farklılık görülür. Biriken kirler etkin geçiş yolunu azaltır. İzolatörün performansı bozulur. İzolatörün yüzeyine parçacıkların çarpması hem kirlenme hem de temizlenme sebebi olarak görülebilir. Yağmur damlaları, 0,1 mm çapa kadar olan ağır kum zerrecikleri ve diğer parçacıklar izolatöre çarptığı zaman izolatör yüzeyi temizlenir. Fakat izolatörün eğik alt yüzeyi direk temas halinde olmadığında kirli kalır. Temizlenmeyen bu kısmın kir yapısı önemlidir.

İzolatör yüzeyindeki kir yoğunluğu, farklı noktadaki yoğunlukların ortalaması ya da farklı izolatörlerin aynı eğime sahip noktalarındaki yoğunlukların ortalamasıyla bulunur. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi eğim açısının artması kir yoğunluğunun azalmasına sebep olur. Rüzgar ve yer çekimi etkisi de kir yoğunluğunu etkiler [25].



Şekil 2.3. Kir yoğunluğunun eğim açısıyla değişimi

İzolatör yüzeyindeki kir tabakası yukarıdaki sebeplerden dolayı düzenli değildir. Bu düzensizlik izolatörlerde kirlenme atlamasını doğrudan etkiler. Kirlenme atlamasının teorik hesabında ve yapay testlerdeki kir tabakasının benzetiminde zorluklara neden olur.

2.3. Kir Tabakasının İletkenliği

İzolatör yüzeyinde oluşan kir tabakasının iletkenliği, birkaç μS ile 50 μS arasında değişir. Aşağıda çöl tozlarıyla çimento tozlarının kirlilik durumları incelenmiştir.

2.3.1. Çimento Tozu Kirliliği

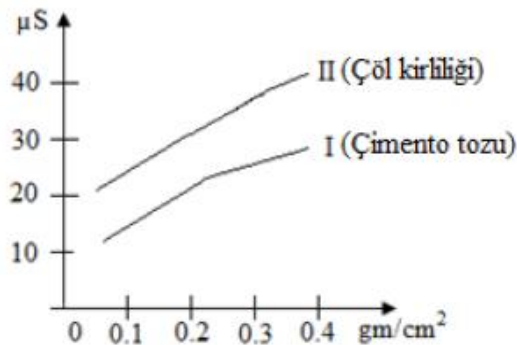
Bir izolatör çimento tozu karışımına batırılarak izolatör yüzeyi kir tabakası oluşturulmuştur. Çimento tozunun kimyasal analizi Tablo 2.2’ de verilmiştir [24]. Yüzey tabaka iletkenliği, IEC metodu kullanılarak ölçülmüştür. Test edilen izolatörlerin kirlilik yüzey yoğunluğu, 0.0625 gr/cm²’den 0.31 gr/cm²’ye kadar değişmiştir. Şekil 2.4 kir tabakası yüzey yoğunluğu ile yüzey tabakası iletkenliği arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Tablo 2.2. Çimento tozunun kimyasal analizi

Kimyasal Element	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ma ₂ O ₃	K ₂ O
Yüzde (%)	9,2-10,2	2,6-2,7	1,6-1,4	18,8-30,3	1,4-2,1	12,6-7,2	6,1-4,6	2,1-1,8

2.3.2. Çöl Tozları Kirliliği

Çöldeki izolatör yüzeylerinden %10 CaSO₄, %3 NaCl ve %0.5 KCl toplanmıştır. Kum yoğunluğu 0.3 gm/cm²’den 0.31 gm/cm²’ye kadar değişmiştir. Yüzey tabaka iletkenliği ile kirlilik tabakası yoğunluğu arasındaki ilişki Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Bu şekilden çöl kirliliği simülasyonu durumundaki iletkenliğin çimento tozuyla kirlenen izolatörlerin iletkenliğinden daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum çöl kirliliğinin, NaCl içermesi ve su buharını emme yeteneğine sahip olması ile açıklanabilir.



Şekil 2.4. Yüzey tabaka yoğunluğu ve iletkenliği

2.4. Yüzeysel Atlamanın Oluşumu

İzolatör yüzeyinde kirlenme atlaması olabilmesi için bazı aşamaların oluşması gerekir. Bu aşamalar sırasıyla şunlardır:

1. Yüzey tabakasının ısınmasıyla iletkenlik ve akım artar.
2. Isının devam etmesiyle yüzey tabakasında kısmi kurumalar oluşur.
3. Isınmanın artmasıyla kuru bandlar oluşur.

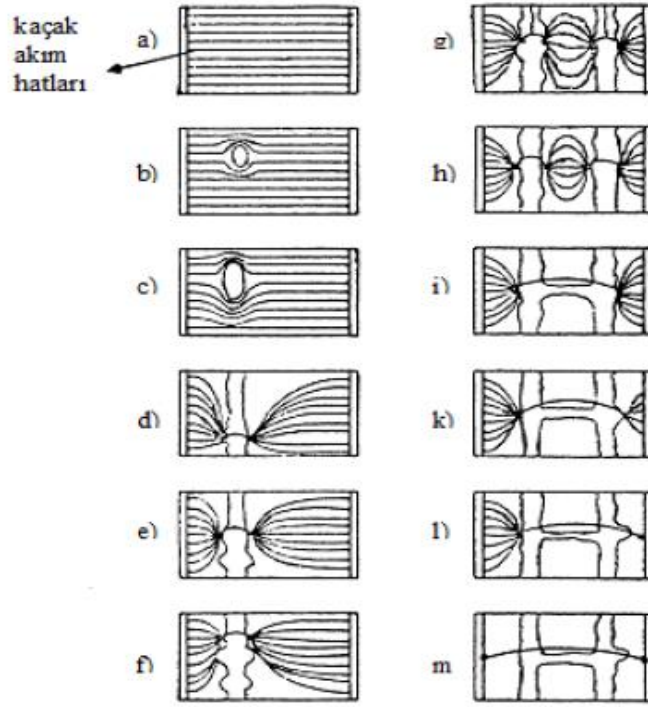
4. Kuru bandlar üzerinde düzensiz alan şiddetleri oluşur. Bu oluşum kısmi arkların başlamasına vesile olur. Oluşan kısmi arklar, yerel ısı yoğunluğunun da etkisiyle kuru bandlar boyunca yan yana büyür. En yüksek gerilim değişimleri hareketli deşarjların başladığı yerlerdir. Bu yerler ark sönümü, parıltı başlangıcı ve kuru bölgelerdir.

5. Birden fazla kısmi ark birleşerek izolatörü kaplayan tek ve büyük ark oluşur. Bu ark ısıya bağlı değişik yönlerde yayılır. (Şekil 2.5.i). Bu arada ark sönümüyle ikinci safhaya da dönülebilir. Ark uçlarının ıslak iletken tabaka boyunca hızlı süpürme hareketi, arkın tamamlanmasına ve atlamaya götürebilir (Şekil 2.5.m). Sızma aralığının köprülenen son kısmı kuru bir yol izlemez.

İlk safha dakikalar ya da saatler sürebildiği için gözlenmesi daha kolaydır. Beşinci safhanın gözlenmesi ise nisbeten daha zordur. Gerilimlerde sızma aralığı boyunca istenmeyen atlamalar olabilir [26]. Son safhanın ilk kısmı ısı hareketleriyle değerlendirilebilir. İkinci kısım için, son teorik açıklamalar deneysel sonuçlarla şaşırtıcı bir benzerlik sağlar. Beşinci safhadaki ark uçlarının hızlı süpürme hareketi sızma aralığı boyunca izolasyon dayanımını 200-400 V/cm ye düşürür.

İzolatör yüzeyinde iletken elektrolit film meydana gelirse, yüzeyden akan kaçak akım enerji kaybına sebep 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 bandların oluşumunu sağlayan kararsız bir durum ortaya çıkarır.

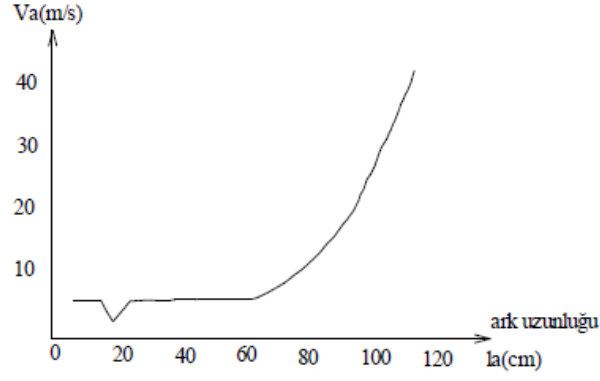
Kuru bölgelerin oluşumu, ıslak film tabakası üzerinde ısı depolanması nedeniyle. Bu yüzden, yağmur altında kuru bölgelerin oluşumu; yağmur suyunun yüzey üzerindeki ısı depolanmasını engellemesi ve yüksek yoğunluklu bölgelerde film tabakasını yeniden meydana getirmesi nedeniyle zordur [27]. Yağmur altında atlamanın oluşması, durgun iletken bir filmde atlama oluşumundan farklıdır ve daha yüksek bir gerilim gerektirir.



Şekil 2.5. Kirlenme atlamasının safhaları

Kuru band üzerinde oluşan gerilim, eğer havanın delinme geriliminden büyük ise band üzerinde kıvılcım oluşur. İki kuru band arasında köprü deşarj oluşursa, kuru band üzerindeki gerilim düşümü artar. Deşarj zinciri başlamış olur. Böylece, kısa sürede izolatör yüzeyinde birçok kısmi deşarj meydana gelir. Köprü arkların oluşmasıyla birkaç ark birbiriyle birleşerek daha uzun ark oluşturabilir. Bu birleşme yavaş olduğundan göz ve kamerayla izlenebilir. Hem birleşme ve hem de uzama, akımın ısı etkilerinden dolayı oluşur.

Ark büyümesinin ilk safhası uç kurumalarıyla ilgilidir (Şekil 2.5.k). Isıl etkilerle ark büyüdüktan sonra, sızma aralığının kalan kısmı da köprülenir (5.b safhası) ve ark, kuru bandlar oluşturmaksızın yüzey boyunca büyür (Şekil 2.5.l-m). Bu hızlı süpürme, gerilimin yarı periyodunda olur ve gözle takibi mümkün değildir. Ark uzunluğunun 60 cm den sonra, ark hız artışının fazlalığı Şekil 2.6' da görülmektedir.



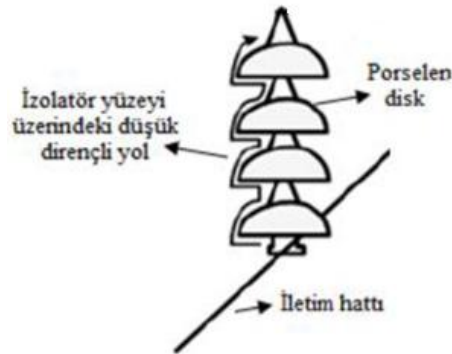
Şekil 2.6. Ark büyümesinin değişik safhalarında ark hızı

2.5. İzolatör Yüzeyindeki kaçak akımlar

İzolatör yüzeyindeki kaçak akımlar porselen ve polimer izolatörler için ayrı ayrı incelenebilir.

2.5.1. Porselen İzolatörler İçin Kaçak Akımlar

İletim hatlarının kurulumu ve tasarımında izolatör yüzeyindeki kaçak akımlar güvenlik açısından tehlikeli bir durum oluşturmaya bile hesaplara dahil edilmesi önem arz eder. İzolatör yüzeyi ile hava arasındaki ara yüz denilen kısımda düşük dirençli bir akım yolu mevcuttur [28]. Kaçak akım yolu denilen bu yolun direnci, izolatör ve hava direncinden daha düşüktür. Tamamen ortadan kaldırılamayan kaçak akımlar küçük miktarlarda bu yol üzerinden akarlar. Kaçak akımların seviyesi modern izolatör tasarımıyla düşük değerlere indirilebilir. Aşağıdaki Şekil 2.7’de yüzey kaçak akım yolu gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Porselen izolatör kaçak akım yolu

İzolatör yüzeyindeki kaçak yolu direncini yükseltmek için kaçak yolu mesafesini artırmak gerekir. İzolatörler farklı çap ve boyutlarda diskler şeklinde yapıp zincir şeklinde bağlanarak kaçak yolu mesafesi yükseltilmiş olur. İzolatörün toprak ile enerji arasındaki mesafesi kaçak yolu direnci ile orantılıdır. Kaçak akım miktarını azaltmak için kaçak yolu miktarını artırmak faydalı olacaktır. İzolatörlerin zincir şeklinde bağlanması her ne kadar kaçak akım yolunu uzatsa da bazı mahsurlu yönleri de vardır. Maliyet açısından uygun bir yöntem olmamakla birlikte izolatör dizisine bağlanan iletkenlerin sallanmasına da sebep olur. Bu da iletkenlerin titreşmesine ve kopmasına yol açar. Kaçak akım yolu uzunluğunu artırmak için izolatör üzerinde oluklar açılması daha tercih edilen bir yoldur.

İzolatör üzerinde tasarlanan olukların izolatörün üst kısmında değil de alt kısmında olması tercih edilir. Bunun sebebi olukların içinde biriken kirin alt kısımlarda daha kolay temizlenmesidir. İzolatörlerde kaçak akım yağmur, nem ve sıcaklık gibi çevresel faktörlerden etkilenir. Bu faktörler, kir birikimi çok fazla yükselmedikçe dikkate alınmaz. Fakat izolatörlere belli zamanlarda bakım yapmayı lüzumlu kılarlar.

2.5.2. Polimer İzolatörler İçin Kaçak Akımlar

Bu izolatörlere tek parça olması sebebiyle kompozit izolatörler de denilmektedir. Yüzey kaçak direnci çok büyük olan polimer izolatörler ana destek elemanı ile sağlamlaştırılmış, dışı polimerik kauçukla kaplanmış bir çubuktan oluşur. Polimer izolatörler ekonomik ve bakım gerektirmeyen özellikleri yanında, ağır çevre şartları için seramik ve cam izolatörlere nispeten daha iyi performansa sahiptirler. Bu vesileyle her geçen gün kullanım alanları artmaktadır.



Şekil 2.8. Polimer izolatörler

Polimer izolatörler bağlantı elemanı, kauçuk ve esas maddeden oluşmaktadır. Esas malzeme, çekme gücünü dağıtmak için fiberglas ile kuvvetlendirilmiş plastiktir. Dövülmüş çelik, dövülebilir dökme demir veya alüminyum gibi malzemelerden yapılan bağlantı elemanı kablolar ve direklere gerilmeyi iletir. Kauçuk esas maddeyi doğa şartlarından korur ve elektriksel yalıtımı sağlar [29]. Her ne kadar ilk zamanlar epoksiler gövde malzemesi olarak kullanılmışsa da daha sonraları hidrokarbonlar ve silikonlar yaygın hale gelmiştir [30].

Polimer izolatörler organik polimerik materyallerden yapılırlar. İzolatörlerin yaşlanması olarak tabir edilen polimer izolatör çürümeleri belli bir kullanımdan sonra görülebilir. İzolatördeki kir birikiminin artmasıyla kaçak akım her zaman artmasa da izolatör çürümelerinden dolayı farklı olaylar kendini gösterir [31].

İzolatör yüzeyindeki suyun damlalar halinde tutunabilme özelliği yüzey direncini ve dolayısıyla kaçak akımı etkiler. İzolatör yüzeyi kaçak akımları belli bir süre sonra döngüsel olarak azalmaya başlarlar. Mesela birinci yılında 5 *mA* olan kaçak akım, ikinci yılında 2 *mA* olabilir.

Polimer izolatörlerin porselen izolatörlere göre olumlu yönleri şunlardır.

- Kirlenme performansı daha iyidir.
- Dayanım oranı yüksektir.
- Dirençleri yüksektir.
- Daha hafiftir ve nakliye masrafları düşüktür.
- Geliştirilmiş iletim hattı estetiğine sahiptir. [32].

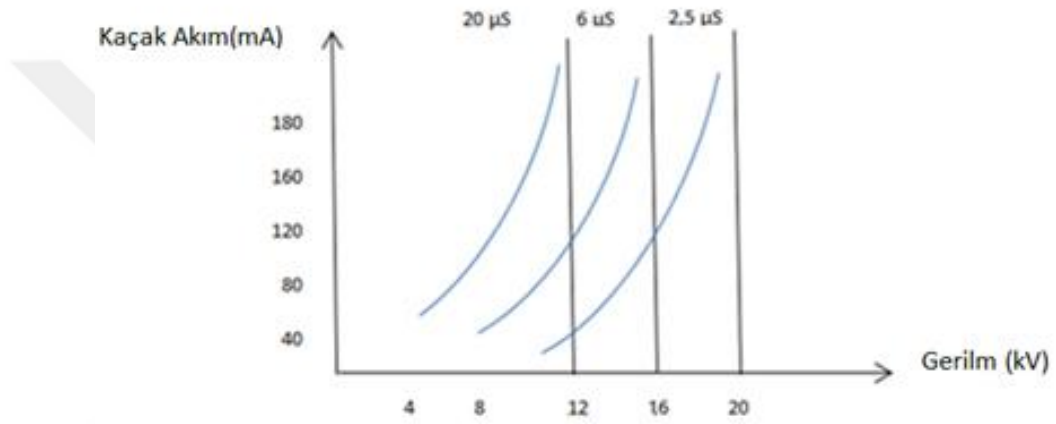
Polimer izolatörlerin başlıca olumsuz yönleri şunlardır.

- Arıza tespiti zor yapılır.
- Güvenilir olup olmadığını uzun zaman içinde anlamak zordur.
- Ortalama ömrü zor hesaplanır.
- Üzerinde izlerin oluşmasına ve neticesinde kullanılamaz hale gelmesine sebep olan erozyona maruz kalırlar [33].
- Zamanla üzerinde kimyasal değişimler meydana gelir [34].

Polimer izolatörlerin ağırlığının eşdeğer porselen izolatörün yaklaşık % 10'u kadar olması yaygınlaşmasının önemli sebeplerinden biri olarak görülebilir [35-36].

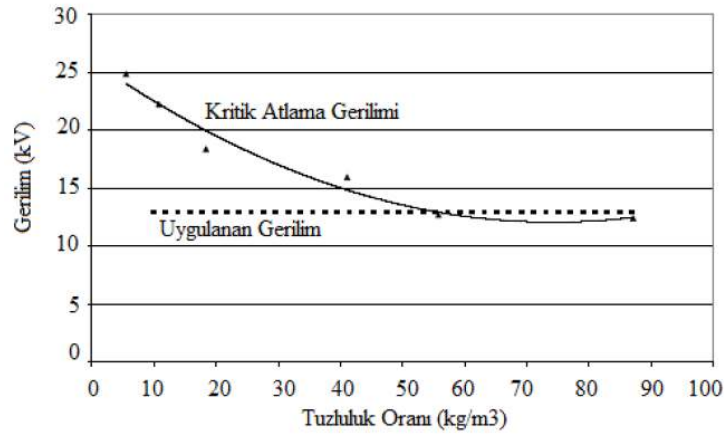
2.6. İzolatör Kaçak Akımlarının Genliği

İzolatör yüzeyindeki kir tabakasının iletkenliği havanın nemini emdiği zaman oluşur. İzolatöre uygulanan yüksek gerilimden dolayı yüzeyden akan kaçak akımlar onlarca miliamper seviyesine ulaşırlar. Yüzeyden geçen kaçak akımlar yüzeyi ısıtıp, nemi buharlaştırıp, yüzey üzerinde kuru bandlar oluşmasına sebep olurlar. Bilindiği gibi deşarjlar, kaçak akımın bu kuru bandlar içinde meydana getirdiği kısmi arklardan ve bu kısmi arkaların yayılmasından oluşur. Şekil 2.9. 'da farklı yüzey tabaka iletkenliği ile kirlenen izolatörler için uygulanan gerilimler ve ilk kaçak akımların büyüklükleri arasındaki ilişki gösterilmiştir [37].



Şekil 2.9. Farklı yüzey iletkenlikleri için gerilim-yüzey kaçak akım eğrileri

Atlama olayında müsaade edilen tepe kaçak akım değerinin aşılması halinde atlamalar oluşmaktadır. Atlamaların, 50 kg/m^3 ile 60 kg/m^3 arası tuzluluk oranına karşılık geldiği belirlenmiştir [38].



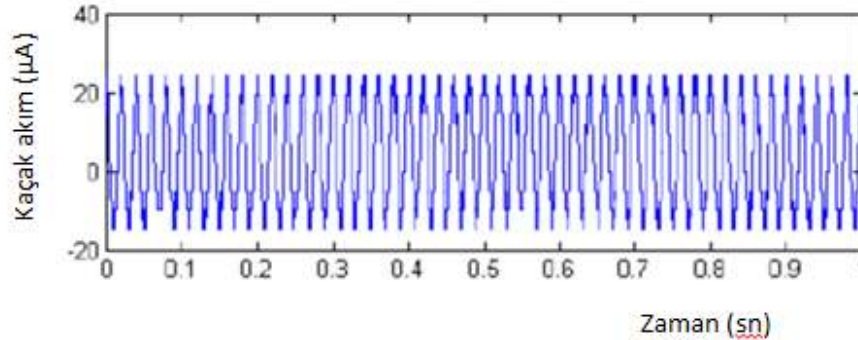
Şekil 2.10. Kritik atlama geriliminin tuzluluk oranı ile değişimi

Yüksek gerilim izolatörü üzerinde biriken kirlenme miktarını belirlemek amacıyla Schward tarafından izolatör kir izleme algılayıcısı geliştirilmiştir. Sis odasında test edilmek amacıyla algılayıcı 146-280 mm (yükseklik-akım yolu) kirlenme miktarına sahip izolatöre yaklaştırılmıştır. Akım miktarı üzerinden direnç değeri hesaplanan kirin iletkenliği de belirlenmiştir. Şekil 2.10’ da tuzluluk miktarına bağlı olarak meydana gelen atlama gerilimin değişimi gösterilmiştir. Tuzluluk oranı arttıkça kritik gerilim değeri azalarak uygulanan gerilim değerine yaklaşmaktadır. Bu uygulamada kritik gerilim aralığının 50-60 kg/m³ oranına karşılık geldiği görülmektedir.

2.7. İzolatör Kaçak Akımlarının Sınıflandırılması

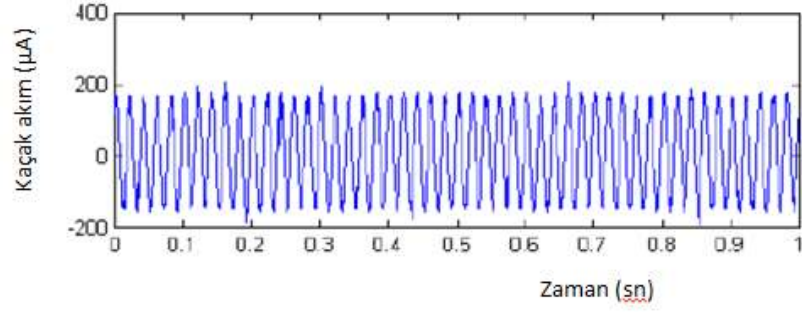
İzolatör yüzey kaçak akımlarını Jayasundara 5 ayrı kategoride ele almıştır. Bunlardeşarj, kuvvetlideşarj, nonliner, rezistif ve kapasitif olarak sınıflandırılır. Kaçak akım dalga şekilleri ve frekansa ilişkin analizler aşağıda verilmiştir [38].

a) Kapasitif Tip : Kaçak akım değeri yaklaşık 20 µA olup dalga şekilleri sinüzoidaldir. Frekans domeninde, temel frekans bileşeni (50 Hz) önemlidir. Ek olarak, diğer harmoniklerin bazı bileşenleri de görünebilir. Şekil 2.11’de zaman domeninde kapasitif tip kaçak akım dalga şekli görülmektedir.



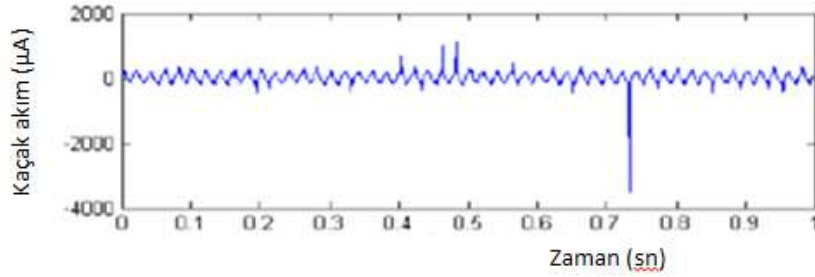
Şekil 2.11. Kapasitif tip kaçak akım dalga şekli

b) Rezistif Tip : Kaçak akım değeri yaklaşık 100 µA ile 200µA aralığında olup dalga şekilleri sinüzoidaldir. Kapasitif tip dalga şekillerine benzemeyen harmonikler ihmal edilebildiği gibi frekans domeninde temel frekans bileşeni açıkça görülebilir. Kaçak akımların rezistif veya kapasitif ayrımı kolayca yapılabilir. Şekil 2.12’de zaman domeninde kapasitif tip kaçak akım dalga şekli görülmektedir.



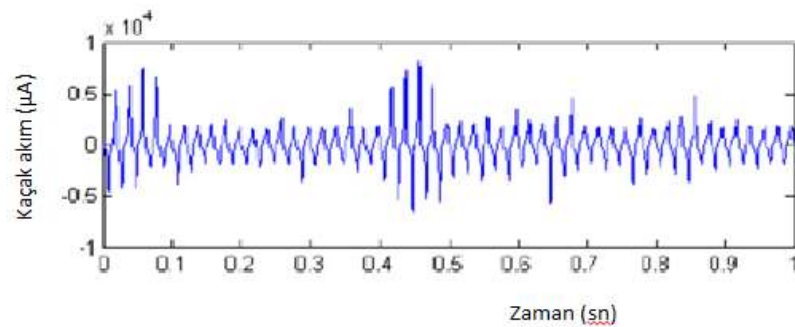
Şekil 2.12. Rezistif tip kaçak akım dalga şekli

c) **Nonliner Tip** : Kaçak akım değeri yaklaşık 200 μA seviyesinde olup dalga şekilleri sinüzoidalın deforme olmuş görünümündedir. Frekans domeninde 3. ve 5. harmoniklerin içeriğinin daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Nonliner dalga şekillerinin dalga tepelerinde birden fazla kaçak akım artışları görülebilir. Şekil 2.13’de zaman domeninde nonliner tip kaçak akım dalga şekli görülmektedir.



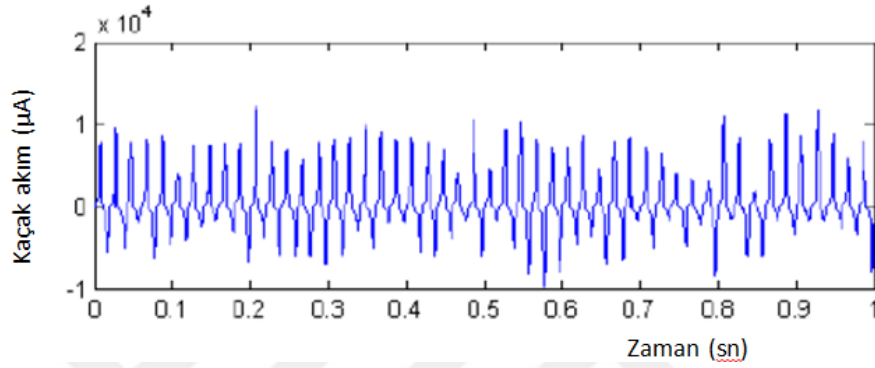
Şekil 2.13. Nonliner tip kaçak akım dalga şekli

d) **Deşarj Tip** : Kaçak akım değeri yaklaşık 200 μA seviyesinde olup nonliner dalga şekline benzer görünümündedir. Deşarjlar 600 μA seviyesine kadar çıkabilir. Şekil 2.14’de kaçak akım dalga şekli ve birkaç periyot için deşarj dayanımı verilmiştir.



Şekil 2.14. Deşarj tip kaçak akım dalga şekli

e) **Kuvvetli Deşarj Tip** : Kaçak akım değeri yaklaşık 0,5 mA ile 2 mA arasında değişir. Deşarj akımı ise 10 mA seviyesine kadar ulaşır. Harmonikler temel bileşenleri etkilemektedir. Kirlilik ölçüm testlerinde kaçak akım miktarı artar ve akımın sinüzoidal şekli bozulur. Yüksek harmonik oranı nedeniyle bozulan dalga şekli kaçak akımları gruplandırmada kullanılabilir. Özellikle harmonik derecesine bağlı sınıflandırmalar akımı tanımlamada önemli rol oynar. Şekil 2.15’de zaman domeninde kuvvetli deşarj tip kaçak akım dalga şekli görülmektedir.



Şekil 2.15. Kuvvetli Deşarj tip kaçak akım dalga şekli

3. İZOLATÖR MODELLERİ

Kirli izolatorün atlama süreçlerini tanımlayan pek çok model üzerinde çalışmalar yapılmıştır. İzolator yüzeyindeki deşarj olayının karmaşıklığı farklı model arayışlarına sebep olmuştur. İzolator yüzeyi kir tabakasının köprülenmeyen kısmının direncine seri kısmi arkta oluşan ark yayılımının basitleştirilmiş hali tüm modellerin ortak özelliğidir.

Kirli izolator yüzeyindeki atlama sonucunda oluşan fiziksel değişikliklerin daha iyi anlaşılması ve atlama geriliminin önceden belirlenmesi amacıyla yapılan matematiksel modellemeler, servis şartlarındaki atlama mekanizmasının karmaşıklığı sebebiyle zorlaşmıştır. Bu modellemenin temel amacı ise atlama olayını engellemeye yönelik çalışmalara yardımcı olmaktır. Bu sebeple bir izolatorün kirlilik derecesi için en iyi izolatorü seçmek, seçilen izolatorün farklı kirlilik şartlarında dielektrik dayanımını tayin etmek önem arz eder [39].

Atlama olayının teorik modelleri statik ve dinamik modeller olmak üzere iki kategoride incelenmiştir. Dinamik modellerin statik modellere nispeten üstün yönleri vardır. Statik modellerde kuru band oluşumundan sonra meydana gelen kısmi ark statik kabul edilir [40]. Buna karşın dinamik modeller deşarj parametrelerindeki ani değişiklikleri göz önüne alırlar. Dinamik modellerin bu özelliği atlama olayını daha iyi anlama imkanı sağlar.

Matematiksel modellemeyi kirli izolatorün yüzeyine uyumlu hale getirebilmek için bazı kabuller kaçınılmaz olmuştur. İzolator yüzey öz direncinin değişkenliği, izolator yüzeyinde çok yönlü ark oluşumu, izolator şeklinin ve kir oluşumunun düzensizliği gibi karmaşık durumlar bu kabullere sebep olmuştur.

3.1. Statik Modeller

3.1.1. Wilkins Modeli

Wilkins verilen bir izolatorü eşdeğer dikdörtgen bir modelle temsil etmiştir. Wilkins modelinin (RW) elde edilmesinde; izolator ve model sızma uzunluklarının (elektrotlar arası en kısa uzunluk) ve yüzeyleri aynı iletkenliğe sahip kirle homojen olarak kaplanan izolator ve model terminalleri arasında ölçülen dirençlerin eşit olduğu kabulleri yapılmıştır. Sızma uzunluğu L olan ve yüzeyi σ_s yüzeysel iletkenliğe sahip kirle homojen kaplı bir izolatorün terminalleri arasındaki kir direnci

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

dir. Burada $d(l)$, sızma boyunca uzunluk elemanı ve $D(l)$, $d(l)$ uzunluk elemanına karşılık gelen izolator çapıdır. Sızma uzunluğu L , eni a olan ve yüzeyi σ_s yüzeysel iletkenliğe sahip kirle homojen kaplı bir modelin terminalleri arasındaki kir direnci ise

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

olur. Her iki direncin eşitliğinden, eşdeğer dikdörtgen modelin eni

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

bulunur. Burada d_{eff} , efektif izolator çapıdır. Verilen bir izolator için kompleks şekil nedeniyle a 'nın hesabı ancak nümerik yollarla yapılabilmektedir.

Dar model ($a/L < 1$) için

$$R = \frac{1}{2\pi\sigma_s} \left(\frac{\pi(L-x)}{a} + \log \frac{a}{2\pi r_d} \right) \quad (3.4)$$

Geniş model ($a/L < 3$) için

$$R = \frac{1}{2\pi\sigma_s} \left(\log \frac{2L}{\pi r_d} - \log \tan \frac{\pi x}{2L} \right) \quad (3.5)$$

elde edilir.

Burada r_d ; deşarj ucunun yarıçapıdır. Yapılan ölçümlerde deşarj ucunda akım yoğunluğunun sabit kaldığı tespit edilmiştir.

$$J = \frac{i}{\pi r_d^2} = 1.45 \text{ A/cm}^2 \quad (3.6)$$

r_d yerine akım cinsinden değeri konur. Dar model için

$$R = \frac{1}{2\pi\sigma_s} \left(\frac{\pi(L-x)}{a} + \frac{1}{2} \log \frac{Ja^2}{4\pi i} \right) \quad (3.7)$$

ve geniş model için

$$R = \frac{1}{2\pi\sigma_s} \left(\frac{1}{2} \log \frac{4L^2 J}{\pi i} - \log \tan \frac{\pi x}{2L} \right) \quad (3.8)$$

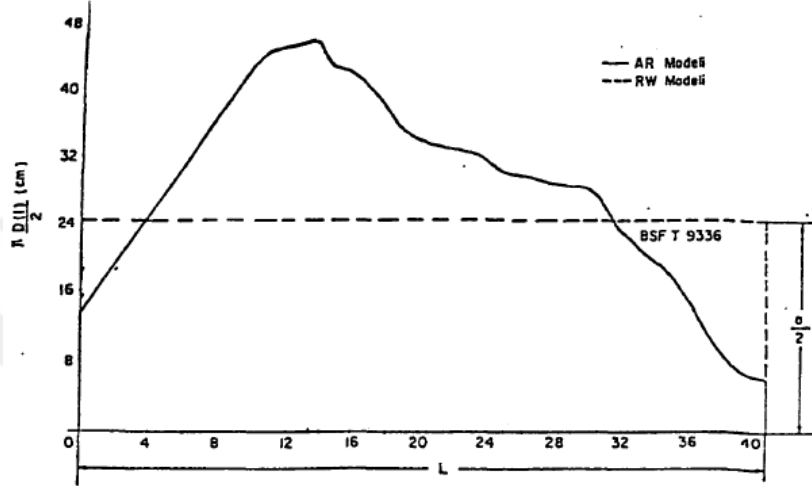
şeklinde hesaplanır [21].

3.1.2. Rumeli Modeli

Rumeli tarafından modelin (AR), boyu izolatörün sızma boyuna eşit ve eni

$$a(l) = \pi \cdot D(l) \quad (3.9)$$

bağıntısına göre değişen eşdeğer düzlemsel bir model ile temsil edilmesi halinde, atlama olayında izolatörün fiziksel şeklinin gerçeğe daha uygun olacağı ortaya konulmuştur.



Şekil 3.1. İzolatör RW ve AR yarı modelleri

RW ve AR model boyları, izolatörün sızma boyuna eşittir. Verilen bir izolatöre karşılık gelen AR modeli tek ve belirli olup, fiziksel benzerlik esasına dayanır. Denk.(3.9) ve Şekil 3.1'den görüldüğü gibi RW modelinin genişliği, L sızma boyunun $a'(l) = l/\pi \cdot D(l)$ eğrisi altındaki S alanına bölünmesiyle bulunur. Bu durumda aynı sızma boyuna sahip sonsuz sayıda izolatör için aynı model kullanılmaktadır. Halbuki bunların her biri değişik atlama karakteristikleri gösterir. Bu nedenle RW modelinin geçerliliği tartışma konusudur [41].

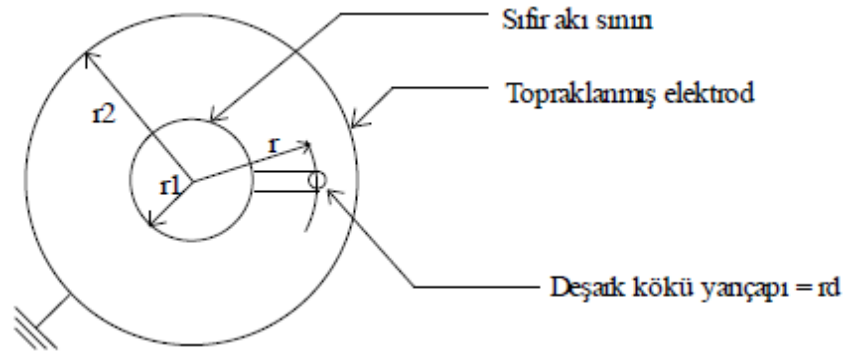
RW modeli, izolatör ve model terminalleri arasındaki kir direncinin eşitliğini esas alırken AR modeli, izolatör yüzeyindeki kir tabakasını sıyrıp açarak düzlemsel hale getirir. Atlama olayında terminaller arası direnç eşitliği önemli olmayıp, izolatör ve modelde aynı deşarjın yayılması sırasında, seri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

3.1.3. Dairesel Şerit Model

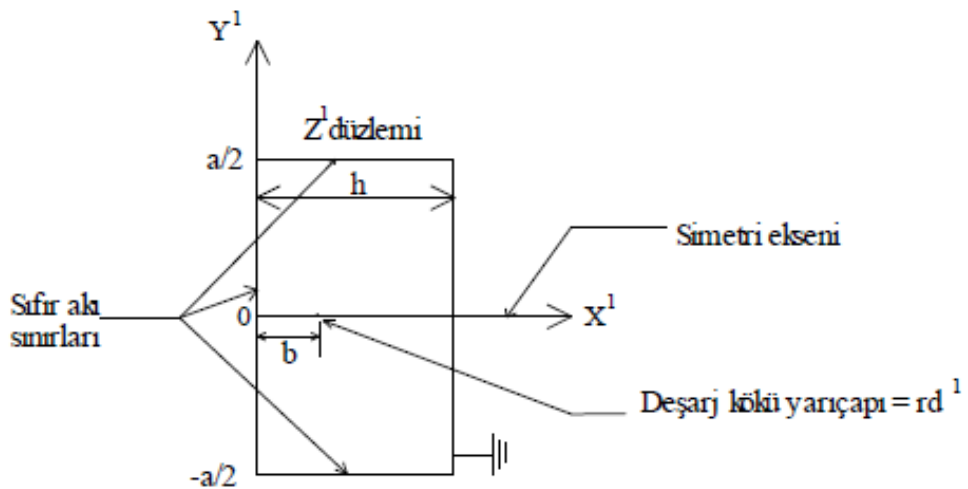
Bu modelde, bir gerilim uygulanan kir tabakası ile bir çubuk elektrod arasındaki ve topraklanmış bir elektrod ile çubuk elektrod arasındaki hava aralığından geçerek oluşmuş bir deşarj ile σ_s yüzeysel iletkenliğinin düzenli kirlenmesinin dairesel bir şeridi dikkate alınmıştır.

Dairesel şerit $1/r_1$ faktörü ile küçültülmüştür. İç daire birim çemberdir ve deşarj kökü yarıçapı r_d/r_1 'dir. Z düzlemindeki bu bölünmüş dairesel şerit $Z' = \ln Z$ dönüşümü kullanılarak düz dikdörtgen bir levha haline dönüştürülmüştür. Orijinal şerit ile dikdörtgen levhanın boyutları arasındaki ilişkiler Denklem 3.10 ile verilmektedir

$$\begin{aligned} h &= \ln(r_2/r_1) & b &= \ln(r/r_1) \\ a &= 2 \cdot \pi & r_{d1} &= \ln(1 + r_d/r) \end{aligned} \quad (3.10)$$



Şekil 3.2. Dairesel şerit model



Şekil 3.3. Dönüştürülmüş dairesel şerit

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

$$R = \frac{1}{2\pi\sigma_s} \left[\ln \frac{4h}{\pi r_{d1}} - \ln \tan \frac{\pi b}{2h} \right] \quad (3.11)$$

şeklinde bulunur. h, b, a ve r_{d1} i denklem (3.10) ve (3.11)' de yerine konursa aranan direnç değeri bulunur. Uygulama gerilimi

$$V = V_c + A(r - r_1)I^{-n} + I.R \quad (3.12)$$

Deşarj uzaması için,

$$\frac{di}{dr} = -\frac{\partial V / \partial r}{\partial V / \partial i} > 0 \quad (3.13)$$

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

$$\ln \left(1 + \frac{r_d}{r} \right) \approx \frac{r_d}{r} \quad (3.14)$$

olduğundan

$$\frac{\partial V}{\partial r} = A.I^{-n} + \frac{I}{2\pi\sigma_s} \left[\frac{1}{r} - \frac{\pi}{rh} \operatorname{Cosec} \frac{\pi b}{h} \right] \quad (3.15)$$

olarak bulunur. Kritik durum için $\partial V / \partial r = 0'$ dır. Buradan deşarj uzaması için kritik akımı veren I'_c elde edilir.

$$I'_c = \left[\frac{2A\pi\sigma_s}{\frac{\pi}{h} \operatorname{Cosec} \frac{\pi b}{h} - 1} \right]^{\frac{1}{1+n}} \quad (3.16)$$

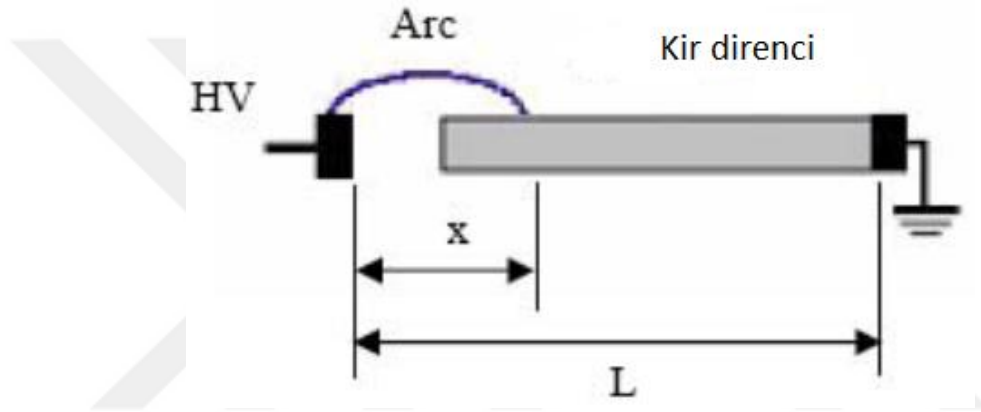
Eğer $\partial V / \partial i \geq 0$ sağlanmamışsa, I'_c için doğru değer $\partial V / \partial i$ sıfıra eşit veya sıfırın hemen hemen üstünde oluncaya kadar denklem (3.16) ile verilen akımın artışı ile bulunur. Burada deşarj kökü yarıçapı Denklem 3.17'de verilmektedir.

$$r'_c = \left[\frac{I'_c}{1,25\pi} \right]^{0.5} \quad (3.17)$$

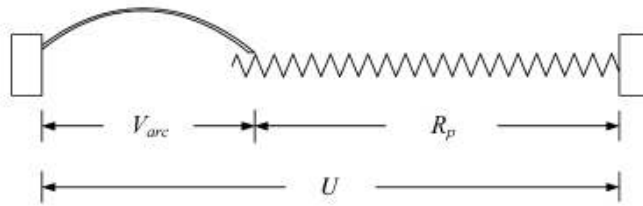
R direnci denklem (3.11)' dan ve I'_c akımına karşı gelen V'_c gerilimi, denklem (3.12)' den bulunabilir. Genellikle I'_c ve V'_c , r deşarj kökü merkezinin yarıçapa ait durumunun fonksiyonlarıdır. Maksimum V'_c eğrisine karşı gelen gerilim, kritik gerilim (V_c) ve bu gerilime karşılık gelen kritik akım (I_c)' dır [42].

3.1.4. Obenaus Modeli

Seri olarak kirlenmiş ıslak bölgenin direnci ve köprülenmiş kuru bölgedeki kısmi arkın oluşması için oluşturulan basit model Obenaus tarafından geliştirilmiştir.



Şekil 3.4. Obenaus modeli



Şekil 3.5. Eşdeğer Devre

Şekil 3.4'de gösterildiği gibi kirlenmiş yüzey oluşumu ve kısmi arkın atlama süresinin değerlendirilmesi için oluşturulan matematiksel model, seri kir tabakasını ve kuru band üzerini kapsar. Şekil 3.5'deki eşdeğer devrede; V_{arc} ark gerilimi, R_p kirlenmiş tabakanın direnci, U kararlı bir gerilim besleme kaynağı, U_c kritik gerilimdir. İzolatör geneline gerilim uygulandığında oluşan kısmi ark' ın tam bir atlamaya dönüşmesi denklem (3.8) ile verilmiştir.

$$u_c = \frac{a}{n+1} (L + \pi n D_m F K) \cdot (\pi A D_m \sigma_s)^{\frac{-n}{n+1}} \quad (3.18)$$

L İzolatör kaçak mesafesi, D_m İzolatör diskinin maximum çapı, F form faktörü, A ve n ise ark sabitleridir. Yüzey kirliliği (σ_s) denklem (3.19) ile verilmektedir.

$$\sigma_s = (369,05 \cdot C + 0,42) \cdot 10^{-6} \quad (3.19)$$

Burada C mevcut tuz yoğunluğudur. Zincir izolatör elemanlarının kirli tabaka direncinin katsayısı K , denklem)3.20) ile verilmiştir.

$$K = 1 + \frac{n+1}{2\pi \cdot F \cdot n} \ln \left(\frac{L}{2\pi \cdot R \cdot F} \right) \quad (3.20)$$

Burada R ark ayağının yarıçapıdır.

$$R = 0,46(\pi \cdot A \cdot D_m \cdot \sigma_s)^{\frac{1}{2 \cdot (n+1)}} \quad (3.21)$$

Literatürde ark sabitleri A ve n için birçok değer vardır. Obenaus modeli, belirli bir izolatör türleri ve kirleticilerde yeterli doğrulukta kabul edilebilir.

3.2. Dinamik Modeller

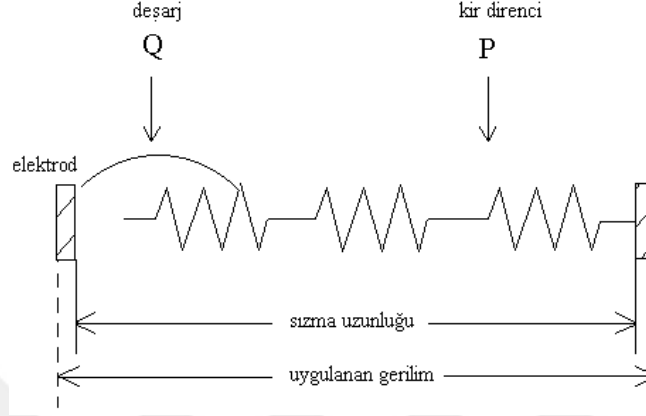
3.2.1. Sundararajan – Gorur Modeli

Bu model, Obenaus' un ortaya koyduğu kirli izolatör yüzeyindeki atlama olayının ilk teorik çalışması üzerine kurulmuştur. Kirli izolatör yüzeyinde oluşan olayları açıklayabilmek amacıyla dinamik bir model tasarlamıştır. Kirli izolatör yüzeyinde oluşan kuru band1, deşarjı seri yüksek bir direnç şeklinde modellenmiştir [43].



Şekil 3.6. Kuru band oluşmuş kirli izolatör

İzolatör yüzeyindeki kir dağılımı düzensiz bir yapıya sahip olup düzensiz olarak ıslanması ve kuruması, çok safhalı kuru bandların oluşmasına yol açar. Fakat bu düzensiz durum, modellemede farklı zorlukları içinde barındıracağı için kir tabakasının her birim boyunun düzenli bir kir direncine sahip olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3.7. Kirli izolatörün Obenaus modeli

Bu modelde ark esnasında kir tabakasında oluşan sıcaklık değişimleri dikkate alınmaz. Modelin basitleştirilmesi için yapılan kabuller içinde basit özellikli ark, düzenli kir dağılımı ve düzenli ıslatma da vardır. Başlangıçta arkın çok sayıda olup sadece bir arkın büyüyerek atlamaya sebep olması ve arkın tekrarlanabilip yeniden oluşabilmesi durumları kir dağılımını düzenli kabul etmede önemli sebeplerdir.

Aşağıdaki adımlarda atlama gerilimleri kademeli olarak hesaplanmıştır.

1. Adım: Gerilim hesabı aşağıdaki gibidir.

$$V_s = V_c + V_a + R_{ark} \cdot L_{ark} \cdot I + I(R_{kir} + R_s) \quad (3.22)$$

V_s : Uygulana gerilim (V), V_a : Anot gerilim düşümü (V), R_{ark} : Birim uzunluğun ark direnci(Ω/cm), L_{ark} : Ark uzunluğu (cm), I : Kir tabakasından akan akım(A), R_{kir} : Kir tabakası direnci (Ω), R_s : Kaynağın iç direnci (Ω) olarak kabul edilir.

2. Adım: R_s ihmal edilerek güç kaynağından herhangi bir anda çekilen akım hesaplanır.

$$I = \frac{V_s - (V_c - V_a)}{R_{ark} \cdot L_{ark} + R_{kir}} \quad (3.23)$$

ile hesaplanır. Bu akım değeri aşağıdaki kabuller dikkate alınarak hesaplanmıştır. $t = 0$ anında σ ; yüzey iletkenliği, L_{ark} ; Sızma uzunluğunun $1/100'$ ü, $R_{ark} = 100 \Omega/cm$, $V_c = 700 V(Sabit)$, $V_a = 200 V (Sabit)$ kabul edilerek hesaplamalar yapılır.

3. Adım: Ark gerilim gradyenti

$$E_{ark} = A.I^{-n} \quad (3.24)$$

ile hesaplanır. $A = 63$ ve $n = 0.5$ değerleri sabit sayılar olarak kabul edilir.

4. Adım: Kir gradyenti

$$E_k = A^{\frac{1}{1+n}}.R_k^{\frac{1}{1+n}} \quad (3.25)$$

ile hesaplanır. Burada R_k Birim uzunluk başına düşen kir direncidir.

$$R_k = \frac{R_{kir}}{L-l_{ark}} \quad (3.26)$$

5. Adım: Kir tabakasının gerilim gradyenti ark gerilim gradyentinden daha büyüktür.

Ark'ın sönmemesi için akımdaki artış ile sağlanan ark yolunun iyonize olması gereklidir. Bu nedenle ark yayılım kriteri $E_k > E_{ark}$ için kullanılır. Ark direncindeki dinamik değişiklik denklem(3.28) ile hesaplanabilir.

$$\frac{dR_{ark}}{dt} = \frac{R_{ark}}{\lambda} - \frac{R_{ark}^2.1^{n+1}}{\lambda.N} \quad (3.28)$$

$\lambda = 100 \mu S$ (ark zaman sabiti), $N = 60 VA^{0.8}$ (statik ark denklemi) olarak verilmiştir.

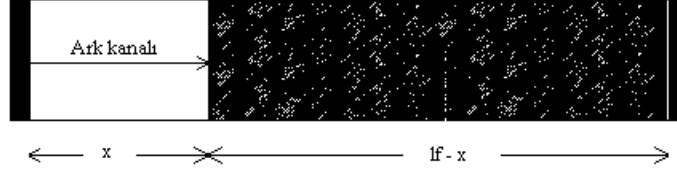
Yeni ark direnci

$$R_{ark}(yeni) = R_{ark}(eski) + dR_{ark} \quad (3.29)$$

formülü ile hesaplanır.

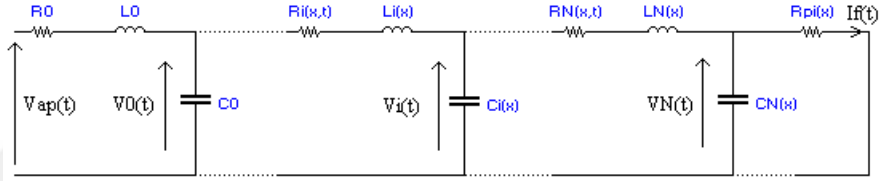
3.2.2. Megriche-Beroual Modeli

Bu model verilen gerilim, izolatör geometrisi ve kir şiddetini dikkate alır. Deşarj parametrelerinin anlık parametrelerini inceler. Atlama zamanını, ark direncini, yayılım hızını ve akımın zamana bağlı değişimini hesaplar [44].



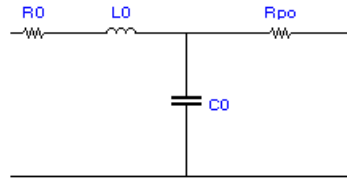
Şekil 3.8. Deşarj büyümesinin analizi için kullanılan model

Şekil 3.8’ de deşarj analizi için kullanılan model verilmiş olup bu modelde baskın ark, düzenli kir dağılımı ve düzenli ıslanma kabulleri yapılmıştır.



Şekil 3.9. Eşdeğer elektrikse devre

Şekil 3.9’ da kirlenmiş izolatör ve yüzeyindeki ark yayılımı eşdeğer devre ile temsil edilmiştir. Ark R_i , L_i ve C_i ile ifade edilir. V_{ap} ; i. gerilim, R_i ; i. direnç, L_i ; i. indüktans ve C_i ; kapasite ve N ; ark atlamaların sayısı ve R_{pi} ; kısaltmamış bir bandın direnci kabul edilir.



Şekil 3.10. Tüm deşarj yayılımını tanımlayan elektriksel devre modeli

Şekil 3.10’da R_0 ; deşarjın direnci, L_0 ; deşarja seri bir indüktans, X_0 ; başlangıç uzunluğu ve C_0 ; paralel kapasite kabul edilmiştir.

Gerilim ve akım eşitlikleri aşağıdaki formüller ile bulunabilir [45].

$$V_{i-1}(t) - V_i(t) = R_i I_i(t) + L_i \frac{dI_i(t)}{dt} \quad (3.30)$$

$$I_i(t) = I_{i-1}(t) - C_{i-1} \frac{dV_{i-1}(t)}{dt} \quad (3.31)$$

V_i ; i indisine karşılık gelen gerilim, I_i ; i indisine karşılık gelen akımdır. Aşağıda matris formunda yazılan durum denklemleri ise bu denklem sistemini çözmek için kullanılır.

$$\frac{dX(t)}{dt} = AX(t) + BU(t) \quad (3.32)$$

$$Y(t) = CX(t) + DU(t) \quad (3.33)$$

Burada $U(t)$; giriş vektörleri, $Y(t)$ çıkış vektörleri olup A, B, C, D sırasıyla sistemin dinamiği, kontrol, inceleme ve direk iletimi karşılayan durum matrisleridir. Durum denklemleri ile V_0 ve V_i gerilimleri elde edilir. Her düğümdeki gerilimler bu eşitliklerin çözümüyle bulunur. N adet atlamadan sonra meydana gelen ark akımı

$$L_{ark}(t) = I_N(t) \quad (3.34)$$

formülü ile bulunur. Basit şarjların toplamı, elektrot aralığına enjekte edilen toplam şarjı verir.

$$Q(t) = \sum_{i=1}^N q_i = \sum_{i=0}^N C_i V_i(t) \quad (3.35)$$

Ark gerilimi

$$V_{ark}(t) = V_{ap}(t) - V_N(t) \quad (3.36)$$

ile hesaplanır. P_i gücü ve W_i enerjisi hesaplanmıştır [44].

$$P_i(t) = V_i(t)I_i(t) \quad (3.37)$$

$$W_i(t) = V_i(t)I_i dt \quad (3.38)$$

Mevcut izolatörün geometrik yapısı ve kir iletkenliği göz önüne alınarak, önce farklı devre parametreleri hesaplanır. Yayılım test edilip tatmin edici sonuç alınmaması durumunda uygulanan gerilim artırılır. Aksi durumda deşarj yayılır. Yayılım kriteri uygun seviyeye gelmişse ve ark uzunluğu sızma uzunluğundan daha kısa ise yukarıdaki adımlar tekrarlanır. Eğer sızma uzunluğu ile ark uzunluğu birbirine eşit ise, atlama oluşur. Oluşan bu gerilime atlama gerilimi denir.

Bu modelde kir genişliğini bulmak için kirin düzenli olarak biriktiği kabul edilir. D ; izolatör çapı, e_p ; kir kalınlığı olmak üzere kir genişliği aşağıdaki formülle bulunur.

$$a = \pi \left[\frac{1}{2} D + e_p \right] \quad (3.39)$$

Deşarj kanalında iki farklı indüktans söz konusudur. Bunlardan birincisi iç indüktans adı verilen ve kanalda depolanan elektromanyetik enerji sayesinde oluşan indüktanstır [46]. Diğeri ise kanaldan geçen akımın oluşturduğu elektromanyetik alan kaynaklı indüktanstır. Bu iki indüktansın toplamı kanal uzunluğunun L_i per ünit indüktansını verir. Bu indüktansın formülize edilmiş hali aşağıdadır.

$$L_1 = \frac{1}{4} \frac{\mu_0}{2\pi} \quad (3.40)$$

$$L_2 = \frac{\mu_0}{2\Omega [\ln(D_f/r_i)]} \quad (3.41)$$

$$L_i = \frac{\mu_0}{2\Omega [0.25 + \ln(D_f/r_i)]} \quad (3.42)$$

3.2.3. Eşdeğer Silindirik İzolatör Modeli

Bu modelde izolatörün belirli bölgelerinde kuru bandlar oluşumu kabul edilir. Kuru bandın dışında kalan yüzey iletken bir kir tabakası ile kaplanmıştır. Kuru band genişliği X ve sızma yolu uzunluğu L olarak kabul edilirse, iletken yolunun uzunluğu $L - X$ olur. Her ne kadar ark uçlarında ve ark köklerinde akım yoğunluğu fazla olsa da bu bölge izolatörün uzunluğuna göre kısa olduğu için ihmal edilir. Şekil 3.11’de kirli bir izolatörün yüzeyinde ark oluşumu ve kaçak akım akışı, Şekil 3.12’de ise izolatörü temsil eden eşdeğer silindirik izolatör modeli gösterilmiştir.

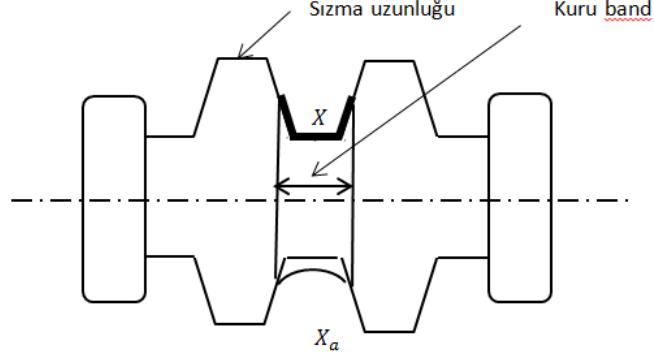
İzolatör yüzeyi boyunca ölçülen yarıçap aşağıda verilmiştir. Burada F ; form faktörü ve L ; sızma uzunluğudur.

$$R_C = \frac{L}{2\pi F} \quad (3.43)$$

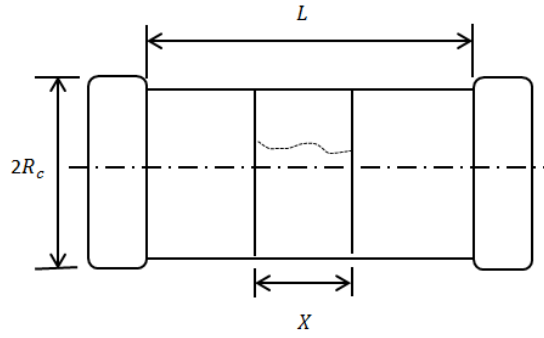
Form faktörü ise

$$F = \int_0^L \frac{dl}{\pi D(l)} \quad (3.44)$$

şeklindedir.

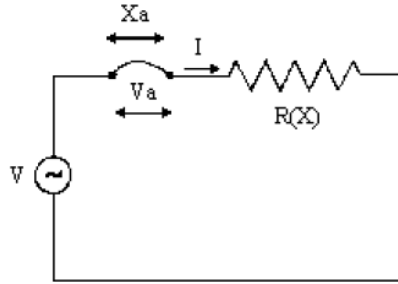


Şekil 3.11. Kirli bir izolatörün yüzeyinde ark oluşumu ve kaçak akım akışı



Şekil 3.12. İzolatörü temsil eden eşdeğer silindirik izolator modeli

Kuru band üzerinde oluşan ark iletken tabakayı temsil eden $R(x)$ direncine seridir. Şekil 3.13’de enerji altındaki silindirik izolator için eşdeğer devre verilmiştir.



Şekil 3.13. Silindirik izolator için eşdeğer devre

Toplam gerilim

$$V = V_a + R(X)I \quad (3.45)$$

$$V_a = AX_a I^{-a} \quad (3.46)$$

$$X_a = k_a X \quad (3.47)$$

$$X_a = k_a X \quad (3.48)$$

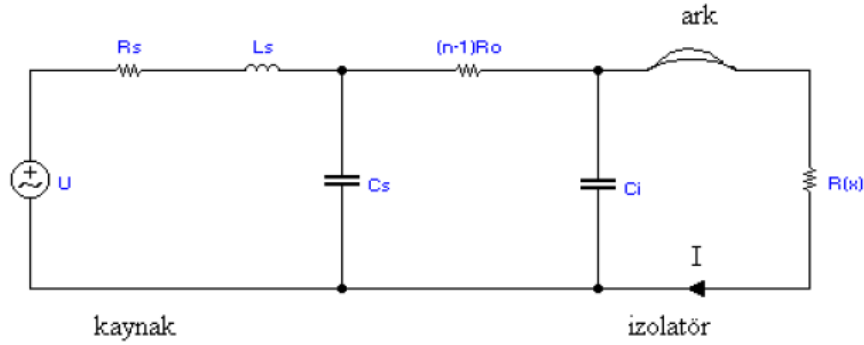
$$R(X) = \frac{L-X}{2\pi R_c \sigma_s} = \frac{(L-X)F}{L \sigma_s} \quad (3.49)$$

$$V = Ak_a X I^{-a} + \frac{(L-X)IF}{L\sigma_s} \quad (3.50)$$

denklemleri ile elde edilir. Burada V_a ; ark gerilimi, A ; ark sabiti, X_a ; ark uzunluğu, I ; ark akımı ve σ_s ; ortalama yüzey iletkenliğidir [47].

3.2.4. Tekrar Tutuşma Modeli

Haznadar, Sokolija ve Sadovic tarafından geliştirilen bu modelde izolatör yüzeyinde ısı ve düzensiz ıslanma nedeniyle oluşan elektriksel değişiklikler dikkate alınmıştır [48]. Bu modeli diğer modellerden farklı kılan özellik, sayısal hesaplamalarda izolatörün gerçek şeklini dikkate almaya imkan vermesidir. İzolatör yüzeyi boyunca arkı sürdürmek için gerekli en düşük atlama gerilimi, ark uzunlukları için dielektrik iyileştirme gerilimi ve geçici iyileştirme şartından elde edilmiştir. Bu modelin test devresi Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.14. Test devresi

Dielektrik iyileştirme gerilimi aşağıda verilmiştir.

$$U_d = \frac{U_{da}(x)}{T(t)} \quad (3.51)$$

$$T(t) = \frac{1}{2} [300 + (e^{-0.8t} + e^{-0.04t})(T_0 - 300)] \quad (3.52)$$

Burada $U_{da}(x)$; ark uzunluğunun değişimine bağlı olarak kıvılcım bozulma gerilimi ve $T(t)$; zamana bağlı olarak değişen ark çekirdeği ısısıdır. $U_{da}(x)$ izolatör geometrisi kullanılarak bulunur.

4. AKILLI YÖNTEMLER

4.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), biyolojik sinir sistemlerinden esinlenerek oluşturulan algoritma veya programlardır. İnsanın yaşayarak veya deneyerek öğrenme yeteneği, düşünme ve gözlemlleme yeteneklerini gerektiren problemlere çözüm bulan önemli bir unsurdur. Nöronlar arasındaki sinaptik bağlantıları ayarlamak öğrenmenin temel unsurudur. İnsanın hayatı devam ettiği müddetçe öğrenme süreci devam eder. Bu öğrenme süreci içerisinde beyin devamlı olarak kendini geliştirir. Her bir tecrübesinde sinaptik bağlantılar güncellendiği gibi yeni sinaptik bağlantılar da oluşur. Sinaptik bağlantıların güncellenmesi ve artması öğrenme kabiliyeti ile orantılıdır [49].

YSA, insan beyninin işleyişine benzer bir biçimde, bir girdi seti ile bir çıktı setini doğrusal olmayan bir şekilde eşleştirebilen sistemlerdir. YSA ile ilgili çalışmaların temel amacı biyolojik sinir sistemlerinin anlaşılması ve matematiksel olarak modellenmesidir. Öncelikle YSA'ların tarihi gelişiminin incelenmesi ve biyolojik sinir ağlarının fizyolojik yapılarının anlaşılması gerekmektedir. Teknolojik sahada önemli avantajlar sağlayan YSA farklı özelliklere sahiptir. Bu özellikler aşağıda sıralanmıştır.

Doğrusal olmama özelliği: YSA pek çok kullanım alanına sahiptirler. Bunun sebebi ise günlük hayatta karşılaşılabilecek doğrusal olmayan problemlere çözüm getirebilme kabiliyetlerine sahip olmalarıdır. Doğrusal olmama hali ise birbiri ile ilişkili elemanların birbirinden bağımsız çalışabilme özelliğidir. Bu doğrusal olmama özelliği tüm ağa yayılmış vaziyettedir [50].

Öğrenme: Öğrenme iki şekilde yapılmaktadır.

a) Danışmanlı öğrenme: Bu öğrenmede girişe bir değer girilir. Daha sonra çıkışında ne olması gerektiği verilir. Burada hedeflenen amaç ağın bağımsız parametrelerini ayarlamak suretiyle ağın gerçek çıkışını beklenen çıkışa yaklaştırmaktır. Yaklaşık çıkış hemen elde edilemeyebilir. Bunun için sisteme bazı örnekleri tekrar göstererek her seferinde bu bağımsız parametreler ayarlanır. Bu işlem gerçek çıkış ile beklenen çıkış arasındaki fark minimize edilene kadar devam eder. Bu sürece öğrenme süreci adı verilir. Öğrenme sürecinde bir danışman vardır. Bu danışman bir girişe karşı çıkışın ne olması gerektiğini ifade eder. Giriş ile çıkış arasında fark olduğu takdirde danışman bunun düzeltilmesini ister. Böylece farklı

zamanda, aynı girişler sisteme verildiği zaman beklenene daha yakın bir çıkış elde edilir. Bu öğrenme kabiliyeti, YSA'yı geleneksel hesaplama birimlerinden üstün kılar. Farklı bir ifadeyle giriş çıkış haritalaması danışmanlı öğrenme sürecini temsil eder. Bu da YSA'nın öğrenebilir olduğunu ifade eder [51].

b) Danışmansız öğrenme: Öğrenme sürecinde her zaman bir danışman bulunamayabilir. Bazı durumlarda danışmansız öğrenmeye ihtiyaç duyulabilir. Mesela bir çocuk büyüme sürecinde bir öğrenme süreci yaşar. Bu öğrenme süreci, etrafında çok farklı şeyler görmek suretiyle gerçekleşir. Kendi kendine çok fazla şey keşfeder. Yanında bulunan ateşe elini sokar. Ateşin elini yakmasıyla ateşin yanıcı olduğunu anlar. Farklı bir ifadeyle bir çocuk etrafında gördüğü ağaçların hepsini aynı zanneder. Yaz mevsiminde her bir ağacın farklı meyveler verdiğini görünce ağaçların aslında farklı ağaçlar olduğunu anlar. Her bir meyvenin tat ve kokusunu da öğrenince meyveler arasındaki farklılıkları daha fazla öğrenmiş olur. Bu öğrenme şekli danışmansız öğrenme olarak kabul edilir.

Paralel dağılımlılık: YSA önemli derecede esnek bir yapıya sahiptir. Bunun sebebi ise çok sayıda işlem elemanının eşzamanlı olarak çalışabilmeleri ve bağlantı ağırlıklarının ayarlanabilmesidir. Karmaşık problemlere uygulanabilirliği ve doğru sonuçlar elde edilebilir olması bunun sonucudur. Yapay sinir ağının bir bölümünde hasar olması durumunda ağın tamamı bundan etkilenmez. Sadece performans kaybına sebep olabilir. Buna küçük bozulma adı verilir. Hata ne kadar fazla ise bozulma derecesi de o kadar fazla olur.

Adaptasyon: Sinir ağları kendi bağımsız parametrelerini değişen ortama göre adapte edebilirler. Bu adapte olayı işlemci eleman arasındaki bağlantı kuvvetlerini değiştirmek suretiyle gerçekleşir. Bağımsız parametrelerin kuvvetine sinaptik bağlantı adı verilir. Sinaptik bağlantı ise iki işlemci eleman arasındaki bağlantıya verilen addır. Sinaptik bağlantıların bazıları kuvvetli bazıları zayıf bağlantılardır.

Genelleme: YSA genelleme yaparak çözüm üretebilir. Hiç karşılaşmadıkları durumları, bilinen örnekler üzerinden çözme yoluna gidebilirler. Görüntü tanıma ve fonksiyon uyarlamada başarılı olmalarının sebebi giriş verileri hakkında karar verebilme özelliğinden kaynaklanır [52].

Geniş veri seti ile çalışabilme: YSA bir gözlem vektörünün sahip olduğu değişken sayısı sınırlı olsa da, sınırsız sayıda gözlem vektörüne sahiptir. YSA'nın başarısı ve çözüm üretebilme süresinin hızı değişken sayısındaki artış ile orantılıdır. YSA'daki veri seti, ağın test edilebilme ve eğitilmesine yetecek düzeyde olmalıdır. Gözlem vektörleri veri setinin genişliğini belirler[50].

Çok katmanlı yapay sinir ağı mimarisi; giriş katmanı, alt katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç bölümden oluşur [53]. Mimarinin şekillenmesi katmanlardaki nöron sayısının belirlenmesiyle mümkündür.

Giriş Katmanı: Bu katmandaki elemanlar dışarıdan bilgileri alarak, bu bilgileri herhangi bir işleme tabi tutmadan alt katmana aktarırlar

Alt Katman: Bilgiler giriş katmanından gelip işlenerek çıkış katmanına gönderilir. Alt katman bilgilerin işleme yeridir. Bir ağ içinde bir veya birkaç alt katman olabilir. Değişkenler arasında etkileşim var ise alt katmanlar kullanılır. Etkileşimin karmaşıklığıyla orantılı olarak alt katmana ihtiyaç duyulur. Eğer gereğinden daha az sayıda alt katman kullanılırsa, ağ öğrenme işlemini tamamlayamaz.

Gereğinden daha fazla alt katman kullanılırsa ağ ezberler. Ezberleyen ağın farklı örnekler için genelleme kabiliyeti azalır. En az sayıda katman kullanmak ağın genelleme kabiliyetinin uygun değerde olmasını sağlar. Alt katman sayısını belirlemek için, benzer veri seti kullanılmış çalışmalardan yararlanılabilir.

Çıkış Katmanı: Bu katmandan gelen işlem elemanları, alt katmandan gelen bilgileri işleyerek çıktıyı üretirler. Üretilen çıkış hedeflenen sonuca ulaşmışsa dış dünyaya gönderilir. Aksi durumda, hedef değerler ile çıkış değerler arasındaki farkın oranı kadar ağırlıklar güncellenerek elde edilen değerler, işlem tekrarlanmak üzere giriş katmanına yeniden gönderilir.

Basit işlemler için, tek katman veya tek eleman içeren bazı başarılı ağlar oluşturulabilir. Ancak çoğu uygulamada en az üç katmana ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar giriş katmanı, alt katman ve çıkış katmanıdır. Alt katmanın kaç katmandan ve her katmanda kaç nörondan oluşacağı, ağı tasarlayan kişi tarafından yapılacak denemeler sonucu belirlenebilir. Bunun için kalıplanmış bir tasarım yoktur. Her zaman, çok sayıda alt katman ve nöron kullanmak iyi bir tercih olmayabilir. Aynı şekilde katman ve nöron sayılarının az olması, ağın başarısı açısından yetersizlikle sonuçlanabilir.

4.2. Bulanık Mantık

İlk olarak Lofti A. Zadeh tarafından kabul edilen bulanık mantık küme mantığına dayanır. Zadeh uzun yıllar kontrol alanında çalışmış olup istediği kontrolü elde etmek için fazla sayıda doğrusal olmayan denklemler kullanmıştır. Dolayısıyla yöntem daha karmaşık ve daha zorlaşmıştır. Üyelik değeri ile tanımlanmış olan kümeye aitlik derecesi bulanık kümeyi

ifade eder. Klasik küme kavramında evet veya hayır, hep veya hiç türü kavramlar ön plana çıkarken bulanık mantıkta kesinlik ifade eden kavramlar pek kullanılmaz. Bir elemanın bir kümeye aitlik derecesi klasik mantıkta evet veya hayır iken, bu durum bulanık mantıkta 0 ile 1 arasında herhangi bir ondalıklı sayıya karşılık gelebilir. 0 kümeye ait olmamayı, 1 ise kümeye ait olmayı ifade eder. Bulanık küme mantığında kümeye aitlik derecesi çok farklı fonksiyonlarla ifade edilebilir. “Fuzzy Logic” kelimeleri bilimsel terminolojide bulanık mantığı ifade eder. Bilgisayar ortamına aktarımı da kolaylıkla yapılabilmektedir [54].

Bulanık mantıkta bir elemanın kümeye aitliği hakkında kesin bir bilgi yoksa alternatif durumlar değerlendirilerek olasılık derecesi en uygun olan kabul edilir. Alternatif durumların fazla olması karar verme işlemini zora sokacaktır. Bunun için gerçekleşme olasılığı en yüksek olanı seçmek zorunluluk halini alır.

Bulanık mantık, problemlerin çözümünde sözel bilgilerin sayısal olarak ifade edilmesine imkan verir. Yani herhangi bir sözel ifadenin sayısaldaki karşılığı 0 ile 1 arasındaki sayı değeri ile ifade edilebilir. Bu özelliğinden dolayı son yıllarda bulanık mantık üzerine çok farklı çalışmalar yapılmıştır. İnsan düşüncesine daha uygun olan ve kümeler arasındaki geçişe esneklik kazandıran bulanık mantık, statik mantığa göre çok daha fazla kullanım alanı bulmuştur [55].

Günümüzde bulanık mantık, özellikle sanayi alanında olmak üzere hemen hemen her alanda uygulama imkanı bulmaktadır. Ev eşyalarından fabrika otomasyonlarına kadar birçok cihazın kontrolünde kullanılan bulanık mantık, ürün ve enerji verimliliğine doğrudan katkı sağlamaktadır. Vardiyalı çalışma sisteminde birçok sayıda işçi ve operatör bulunmaktadır. İşçilerin kendi bilgi ve tecrübeleriyle yaptıkları ürünler farklılık gösterebilmektedir. Sezgisel kontrol yöntemleri sayesinde ürünlere standart kazandırılabilir. Örneğin, Danimarka’da bulunan bir firma işçilerin davranışları üzerinden bulanık mantık kontrol yöntemini eğiterek üretim tesislerinde kullanmıştır. Sonuçta sabit ürün kalitesi ve yakıtta tasarruf sağlanmıştır. Önemli bulanık kontrol uygulamalarından birisi de Japonya’da taşımacılık alanında yapılmıştır. Japonya’nın Sendai kentinde, insan sürücüler ve otomatik kontrolörlerden daha iyi çalışan bulanık mantığa dayalı metro freni kontrolü kullanılmıştır. Bu kullanımdan sonra bulanık mantık çalışmaları hız kazanmıştır [56].

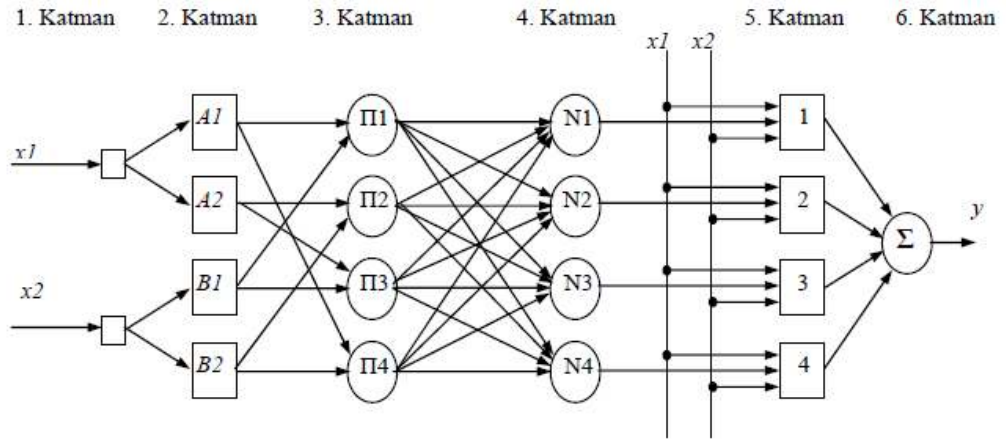
Bu örnekler altında bulanık mantığın önemli uygulama alanları; çimento sanayi, buhar türbini, nükleer reaktör, asansör ve vinç denetimleri, su arıtma sistemleri, otomobillerin hız kontrolü, otomatik fren çalışmaları, gemiler için rota seçimi ve çok çeşitli ev aletleri vb. olarak sıralanabilir.

Yapılan çalışmalar ve edinilen bilgiler doğrultusunda bulanık mantık yönteminin birçok avantaj ve dezavantajı gözlemlenmiştir. Lineer olmayan karmaşık sistemlere basit çözümler getirmesi en önemli avantajlarından biridir. Bu sayede sistemlerin kontrolü kolaylaşmakta ve maliyetler düşmektedir. Eğitilebilir olması ve tecrübeye dayalı sistemlerde programlama kolaylığı diğer önemli avantajlarıdır. Bu sayede cihaz kontrolünde kullanılan yazılımlarda işlem yükü azalmakta ve kontrol ünitesinin hızı artmaktadır. Bulanık mantık yönteminin en önemli dezavantajı iyi eğitilmediğinde beklenen sonuçları vermemesidir. Bu sorun ölçüme dayalı eğitim verilerinde pek görülme de hesaplamalara dayalı eğitim verilerinde görülebilmektedir. Bu sorunu aşmak için bulanık mantık yöntemi deneme yanılma yöntemiyle de eğitilebilmektedir [57].

4.3. Adaptif Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi

Adaptif bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), YSA'nın öğrenme yeteneği ile bulanık mantığın karar verme ve veri derecelendirme gibi üstünlüklerinin birleştirilmesinden meydana gelmektedir. ANFIS, ele alınan problemin yapısına bağlı olarak ölçülen veya istenen değerler üzerinden tüm kuralları belirleyebilmektedir. Bu sayede ANFIS uzman görüşleri ve tecrübeleriyle kural oluşturulmasına imkan sağlamaktadır. ANFIS algoritması, geri yayımlı öğrenme algoritması ile en küçük kareler yönteminin birleşiminden oluşan melez bir algoritmadır [58].

ANFIS sisteminin kurallarını ve değişkenlerini ayarlamak ve bulmak için YSA kullanılır. YSA sistemlerinde değişken ve yapısal ayarlama olmak üzere iki önemli ayarlama aşaması vardır. Yapısal ayarlama; kuralların ve değişkenlerin sayısını her bir giriş çıkış değişkeninin bulanıklaştırılmasını ve kuralların oluşturulmasını içerir. Değişken ayarlama aşamasında ise üyelik fonksiyonlarının ağırlıkları, şekilleri ve kural fonksiyonlarının hesaplanmasını içermektedir. İki girişli (x_1 ve x_2), tek çıkışlı (y) ve 4 kuraldan oluşan bir ANFIS mimarisi Şekil 4.1'de verilmiştir [59].



Şekil 4.1. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi

ANFIS, hem bulanık mantık sistemlerinin, hem de YSA'nın üstünlüklerini birlikte bulunduran bir yöntemdir [60]. ANFIS'in temeli Takagi-Sugeno bulanık çıkarım sistemine dayanmaktadır. Temel ANFIS mimarisi Şekil 4.1'de görüldüğü gibi iki giriş ve bir çıkıştan oluşmaktadır. Temelde Takagi-Sugeno en az bir kural içerir. ANFIS'de öğrenme çıkış değeri f aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$f = \frac{w_1}{w_1 + w_2} f_1 + \frac{w_2}{w_1 + w_2} f_2 \quad (4.1)$$

$$f = w_1(p_1x + q_1y + r_1) + w_2(p_{12}x + q_2y + r_2) \quad (4.2)$$

Burada p_1, p_2, q_1, q_2, r_1 ve r_2 doğrusal sonuç parametreleridir. Bu parametreleri güncelleştirme metotları aşağıdaki gibidir:

a) Geriye Yayılma: Tüm parametreler gradient decent denilen geriye yayılma öğrenme algoritması ile güncelleştirilir.

b) En Küçük Kareler Yöntemi: Birbirine bağlı olarak değişen iki fiziksel büyüklük arasındaki matematiksel bağlantıyı, mümkün olduğunca gerçeğe uygun bir denklem olarak yazmak için kullanılan, standart bir yöntemdir. Bir başka deyişle bu yöntem, ölçüm sonucu elde edilmiş veri noktalarına mümkün olduğu kadar yakın geçecek bir fonksiyon eğrisi bulmaya yarar. Sonuç parametresinin ilk değerini alması için en küçük kareler yöntemi başlangıçta bir kere uygulanır ve daha sonra geriye yayılma yöntemi ile tüm parametreler güncelleştirilir [61].

Kuralların sonuç kısımları girişlerin doğrusal bir işlevi olarak tanımlanmaktadır. Bu sistem; kontrol, zaman serisi tahmini, gürültü giderme, sınıflama, tanıma ve eğri uydurma gibi birçok alanda başarı ile uygulanmaktadır.

ANFIS 6 katmandan oluşmaktadır. Bu sistem Şekil 4. 'da gösterilmiştir. Her katmana ait düğüm işlevleri ve katmanların işleyişi sırasıyla şöyledir [62].

Katman 1: Giriş katmanıdır. Giriş değişkenleri alınarak diğer katmanlara aktarılır.

Katman 2: Bulanıklaştırma katmanıdır. Giriş değişkenleri aktivasyon kodu kullanılarak bulanık kümelerle ayrılır. Düğüm çıkışlarına, giriş değişkenlerine ve üyelik fonksiyonlarına bağlı olarak üyelik dereceleri atanır.

Katman 3: Kural katmanıdır. Her bir düğüm çıkarım sistemine bağlı olarak kuralları içermektedir. Düğüm çıkışları 2. katmandan gelen üyelik derecelerinin çarpımı olmaktadır.

Katman 4: Normalizasyon katmanıdır. Kural katmanından gelen düğüm çıkışları giriş değişkenleri olarak kabul edilmektedir. Kuralların normalleştirilmiş ateşleme seviyesi bu katmanda hesaplanmaktadır.

Katman 5: Arındırma katmanıdır. Düğümlerde verilen her bir kuralın ağırlık derecesi hesaplanmaktadır.

Katman 6: Toplam katmanıdır. Sadece bir düğüm vardır ve Σ ile etiketlenmiştir. Burada, 5. katmandaki düğümlerin çıkış değerleri toplanır ve sistemin sonuç değeri elde edilir.

4.4. Karınca Koloni Algoritması

Karınca koloni algoritması hakkında ilk olarak Dorigo ve arkadaşları tarafından çalışmalar yapılmış olup elde ettikleri sisteme karınca sistemi adını vermişlerdir. Karınca algoritması ise sonuçta oluşan algoritmanın adıdır.

Karınca, evi ile ulaşmak istediği hedefi arasındaki yolu çevre şartlarına göre en iyi şekilde bulmayı hedeflemektedir. Bunun için belirlenen yollardan geçen karınca yola feromon adında bir madde bırakır. Yolun uzun ve kısalığına göre, uzun olan yola daha az, kısa olan yola daha fazla feromon maddesi bırakılır. Kısa yolda koku yoğunluğunun daha fazla olması karıncaların kısa yolu tercih sebebidir. Karıncaların kısa yolu tercih etmesi ise kısa yoldaki kokunun daha da artmasına ve karıncaların daha çok kısa yolu tercih etmesine sebep olur. Başlangıçta rastgele seçilen kısa yol artık karıncaların en çok kullandıkları yol haline

gelmiştir. Bu rastgele seçilen yolların sebebi ise karıncaların tek bir yoldan gitmeyip, farklı ve daha kısa yolları keşfetmesidir [63].

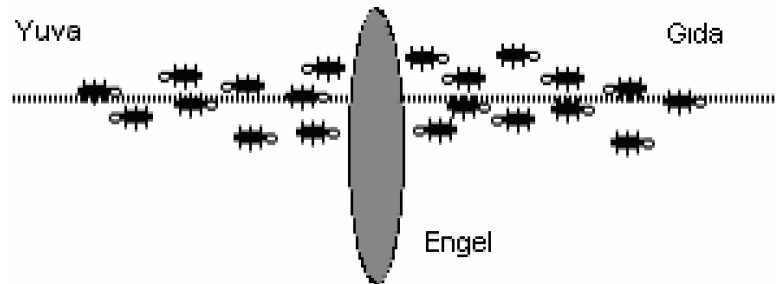
4.4.1. Gerçek Karıncalar

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, 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 [64].



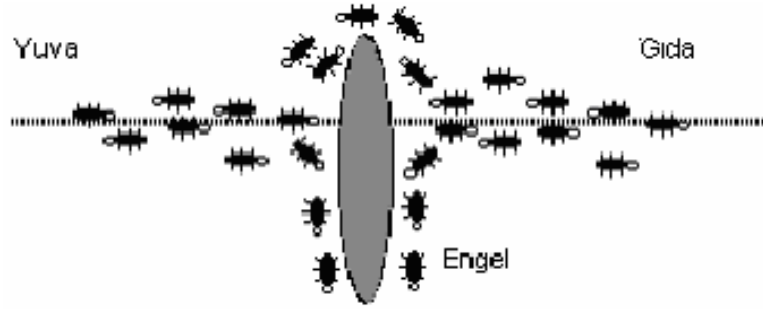
Şekil 4.2. Yuva ile besin kaynağı arasındaki en kısa yol

Kimyasal feromon maddesi, karıncanın yuvası ile ulaşmak istediği hedef arasındaki en kısa yolu keşfetmek için kullanılır. Karıncalar feromon maddesini hareket halinde bulundukları yola bırakırlar. Bir yoldaki feromon maddesinin miktarı, karıncaların o yolu tercih etmelerinde önemli bir faktördür [65]. Karıncaların feromon maddesi yoğun olan yönleri tercih etme ihtimali, az olan yönlerde daha yüksektir. Bu basit prensip, hareket eden karıncaların en uygun yolu çok kısa sürede bulabilmelerini sağlamaktadır. Şekil 4.3’de kısa yola bir engel konulması gösterilmiştir.



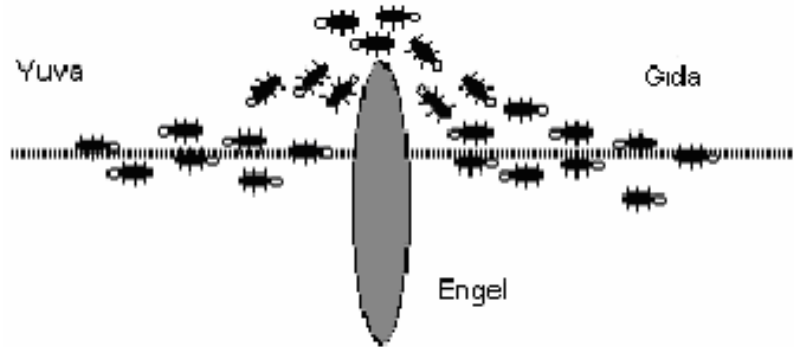
Şekil 4.3. Bir cisim konulması suretiyle en kısa yolun bozulması

Karıncalar tarafından önceden keşfedilen en kısa yola bir cisim konularak, bu yolun bozulduğunu varsayalım. Cismin konulmasından hemen sonra cismin her iki tarafındaki karıncalar, ortaya çıkan yeni feromonsuz yönleri tercih etme durumu ile karşılaşılır. 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. Diğer bir ifade ile sağa ve sola dönen karınca gruplarının sayıları yaklaşık olarak birbirine eşit olur. Şekil 4.4’de cismin konulmasından hemen sonraki durum görülmektedir.



Şekil 4.4. Bir cisim konulmasından hemen sonraki durum

Karıncaların hızlarının hemen hemen aynı olduğunu ve geçtikleri yola eşit miktarda feromon maddesi bıraktıkları kabul edilirse 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 4.5. Cismin konulmasından belirli bir sonraki durum

Bir yolu tercih eden karınca sayısının artma sebebi yolda oluşan koku miktarının artmasıdır. Yolda oluşan koku miktarının artması ise o yoldan geçen karınca sayısının artmasından kaynaklanmaktadır. Bu döngüden anlaşılacağı üzere bir geri besleme olayı vardır [66]. 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.

4.4.2. Yapay Karıncalar

Yapay karıncaların belli başlı ortak özellikleri vardır. Bu özellikler şöyle sıralanabilir.

- Bir problemin farklı çözümleri içerisinde en kısa ve kolay olan yolu araştırırlar [67].
- Her karıncanın bir hafızası vardır. Geçtiği yolları bu hafızaya kaydederler.
- Bir problemin başından sonuna kadar uygun değerler üretmeye çalışırlar. Üretilen bu sonuçlar yinelemeli olarak devam eder.
- Bir karıncanın bir konumdan başka bir konuma hareketi ederken bir kurala uymak zorundadır. Bu kural problemin çözümü esnasında bazı kısıtlamalara sebep olur.
- Problemin çözümünde kullanılan feromon güncelleme kuralı karıncanın sahip olduğu feromon miktarını belirleyici unsurdur.
- Problemin çözümünde durum ve durum geçişleri karıncalara ait feromon miktarı ile ilgilidir.
- Her durum geçişinde karıncalara feromon maddesi depo edilir. Adım adım feromon izi güncellemesi bu şekilde yapılır.
- Algoritmanın sonlandırılabilmesi için hedeflenen duruma ulaşılması gerekir.

Doğal karıncaların özellikleri içerisinde olmayıp, performans artırmak maksadıyla yapay karıncalara ek özellikler verilebilir. Aday listesi ve yerel arama bunlardan bazılarıdır [68].

Problemin çözümünde arka planda çalışan uygulamalar, algoritmaların çalışma zamanında yönlendirici bir unsurdur. Algoritmayı hızlandırma özelliğine sahiptir. Her iterasyon sonunda en iyi sonuca feromon eklenmesi buna en iyi bir örnektir.

4.4.3. Gerçek Karıncalar ve Yapay Karıncaların Benzer ve Farklı Yönleri

- Koloni elemanları birbirleriyle etkileşim halindedirler. İşbirliği yaparak verilmiş olan görevi çözüme ulaştırırlar
- Hem doğal hem yapay karıncalar feromon maddesine bağlı olarak çevrelerini değişikliğe uğratırlar.
- Hem doğal hem yapay karıncaların görevleri ortaktır. Tayin edilen hedefe ulaşmak buna örnek olarak kabul edilebilir.
- Hem doğal hem yapay karıncalar yerel aramalarla çözüme ulaşmaya çalışırlar.
- Yapay karıncalarda algoritmanın içerisine ek problem parametreleri dahil edilebilir.
- Yapay karıncaların hafızaları izledikleri yolu tutmaya daha elverişlidir.
- Doğal karıncalarda bırakılan feromon miktarı yapay karıncalardakine göre daha farklılıklar gösterir [69].
- Doğal karıncalarda feromon buharlaşması yapay karıncalara göre farklı parametrelere bağlıdır.

4.4.4. Mevcut Karınca Koloni Algoritması

Gerçek karınca kolonilerini örnek alan algoritma, ilk kez Dorigo (1992) tarafından doktora tezi olarak sunulmuş ve kısaca Karınca Sistemi denilmiştir. Algoritma, feromon bilgisi ve probleme özgü sezgisel bilgiyi kullanmaktadır. Bu özellikleri ile uygun çözümler üretilmiş ve sistem geliştirilmeye başlanmıştır [70].

Bu algoritma üç algoritma üzerinde yoğunlaşmıştır. Bunlar; karınca-çevrim (ant-cycle), karınca-yoğunluk (ant-quantity) ve karınca-miktar (ant-quantity) algoritmalarıdır. Karınca yoğunluk ve karınca-miktar algoritmalarında feromon güncellemesi karıncanın her bir yer değiştirmesi sonucunda yapılırken, karınca-çevrim algoritmasında karıncaların bir turu tamamlamaları beklenir ve feromon güncellemesi en iyi çözüme göre yapılır. Karınca-çevrim algoritması diğer ikisine göre daha iyi sonuç verdiği için daha sonraki çalışmalarda sadece bu algoritma üzerine yoğunlaşmış ve bu algoritma kısaca Karınca Sistemi olarak adlandırılmıştır.

Karınca sistemindeki ilk iyileştirme elitist (seçkinci) stratejinin oluşturulmasıdır. Strateji, o ana kadar bulunmuş en iyi çözümün feromon katkısının daha fazla olması ilkesine dayanır. T^{bs} , o ana kadar bulunan en iyi tur ve C^{bs} o turun uzunluğunu göstermek üzere feromon güncellenmesi kuralı şu şekilde değişir.

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k + e\Delta\tau_{ij}^{bs} \quad (4.3)$$

Buradaki e parametresi bulunan en iyi çözümün çözüme katkı ağırlığını belirleyen katsayıdır. $\Delta\tau_{ij}^{bs}$ ise T^{bs} turundaki (i,j) çiftlerine yapılacak feromon katkısını gösterir ve e/C^{bs} olarak hesaplanır. Uygun e parametresinin seçiminin önemli olduğu ve elitist karınca sisteminin karınca sistemine oranla daha az iterasyonda daha iyi sonuçlar elde ettiği görülür.

Ant-Q algoritması, destekleyici/takviyeli öğrenmenin özel bir türü olan Q öğrenme algoritması ile karınca sisteminin birleştirilmesinden oluşur [71]. Ant-Q algoritmasında, her (i,j) çifti için $AQ(i,j)$ Ant-Q-değeri belirlenir. Bu değer, i yerinden sonra j yerine gitmenin ne kadar yararlı olacağını gösteren bilgidir. Bir sonraki atanacak aday belirlenirken uygulanacak kural, karınca sistemindekine benzer şekilde, sezgisel bilgi ve AQ-öğrenme değerine bağlıdır. Bu bilgilerin çözüme katkısını belirleyen ağırlık katsayıları belirlendikten sonra AQ değerlerinin güncellenmesi şu şekilde yapılır:

$$AQ_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\alpha)AQ_{ij}(t) + \alpha[\Delta AQ_{ij} + \gamma \text{Max}AQ(j,k)] \quad (4.4)$$

Formülde, α ve γ sırası ile öğrenme ve azaltma katsayılarıdır. Algoritmanın birleşik optimizasyon problemlerinin çözümünde etkili olduğu görülür. Max-Min karınca sistemi, dört ana değişiklik sonucunda geliştirilmiştir. İlk çalışmada, sadece iterasyondaki en iyi çözümü ya da global en iyi çözümü üreten karıncanın feromon güncellemesi yapmasına izin verilir. Bu strateji, oluşturulan ilk çözümlerde fazla feromon birikimine yol açması ve bundan dolayı algoritmanın durağanlaşması sonucu iyi sonuçlar üretemez. Bu dezavantaj, ikinci bir değişiklik ile giderilmek istenir ve feromon değerlerinin $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ arasında kalmasını sağlayan MMAS algoritması geliştirilir. Sistemde, üçüncü olarak, ilk feromon değerlerinin, daha fazla araştırmaya olanak sağlayacak, τ_{max} üst feromon limitine eşitlenmesi önerilir. Buharlaşma oranının küçük bir değer alındığı stratejide, ilk turlardaki araştırma oranı arttırılır. Son olarak, algoritma durağanlaştığında veya belli sayıda iterasyonda gelişme olmadığında, feromon değerlerinin yeniden ataması yapılır. Her iterasyonda sadece bir karıncanın feromon güncellemesi yapmasına izin verilir. Güncelleme, iterasyondaki en iyi çözüme ya da global en iyi çözüme göre yapılabilir. Global en iyi çözüme göre güncelleme kuralı şu şekildedir:

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}^{bs} \quad (4.5)$$

C^{bs} global en iyi çözüm değeri olmak üzere, $\Delta\tau_{ij}^{bs} = 1/C^{bs}$ dir. İterasyondaki en iyi çözüme göre güncelleme kuralı da benzer şekilde belirtilir:

$$\tau_{ij}(t + 1) \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}^{ib} \quad (4.6)$$

C^{ib} iterasyondaki en iyi çözüm değeri olmak üzere, $\Delta\tau_{ij}^{ib} = 1/C^{ib}$ dir.

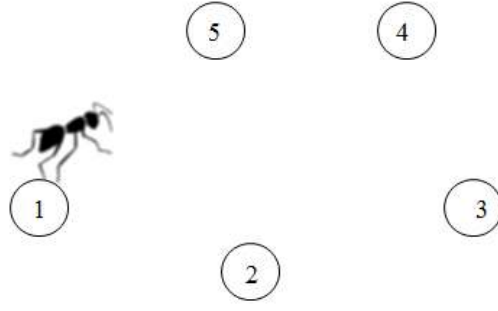
Feromon güncellemesi için iterasyondaki en iyi çözümün seçilmesi, ilk çözümlere ait feromon izlerinin aşırı artmasına ve böylece araştırma olasılığının azalmasına neden olur. Global en iyinin seçilmesi ise, araştırmanın T^{bs} çözümü etrafında yoğunlaşmasına ve algoritmanın daha erken durağanlaşmasına neden olur. Yeni çözümler oluşturulması ve araştırmanın sürdürülmesi arasındaki dengeyi sağlayan ise $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ feromon izi limitleridir.

4.4.5. Karınca Koloni Algoritmasının Gezgin Satıcı Problemine Uygulanması

Gezgin satıcı probleminde bir şehirler kümesi verilir. Şehirlerin arasında mesafeler belirlidir. Amaç her şehrin sadece ve sadece bir kere ziyaret edilmesine olanak sağlayan ve tekrar ilk noktaya dönmeyi mümkün kılan en kısa turu bulmaktır. Daha biçimsel terimlerle açıklamak gerekirse, amaç bütünüyle birleştirilmiş bir grafik üzerinde en kısa Hamiltonian turunu bulmaktır [72].

Karınca Kolonisi Optimizasyonunda problem, birkaç suni karıncayı problemin kendisini kapsayan bir grafik üzerinde hareket ettirerek çözülmeye çalışılır. Her uç bir şehri ve her kenar da iki şehir arasındaki bağlantıyı temsil eder. Feromon olarak adlandırılan değişken kenarlarla ilişkilidir ve karıncalar tarafından okunabilir ve değiştirilebilir.

Karınca Kolonisi Optimizasyonu iteratif bir algoritmadır. Her iterasyonda birkaç suni karınca dikkate alınır. Bu karıncalardan her biri grafik üzerinde, daha önce ziyaret ettiği noktalardan herhangi birine tekrar uğramamak kaydıyla, bir uçtan diğer uca ilerleyerek bir çözüm oluşturur. Bir karınca çözüm sürecinin her adımında, feromon tarafından yönlendirilen rastlantısal bir mekanizmaya göre, uğrayacağı bir sonraki noktayı seçer. i şehrindeki bir karıncanın bir sonraki adımda uğrayacağı şehri seçme mekanizması Şekil 4. 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Karıncanın şehri gezme mekanizması

İ noktasındayken, bir sonraki nokta daha önce ziyaret edilmemiş olanların arasından tahmini olarak seçilir. Özellikle eğer j daha önceden ziyaret edilmemişse, seçilme olasılığı (i, j) kenarıyla ilişkili olan feromonlarla orantılıdır. Yinelemenin bitiminde, feromon değerleri karıncalar tarafından üretilen çözümlerin kalitesine göre ve sonraki yinelemelerde, önceden oluşturulan en başarılı çözümlere benzer çözümler geliştirmeleri için karıncaları yönlendirmek amacıyla değiştirilir.

4.5. Karıncadan Esinlenen Diğer Algoritmalar

Karınca Kolonisi Optimizasyonunun ilham kaynağı, bazı karınca türlerinin yiyecek arama sırasında sergilediği patika oluşturma davranışıdır. Bununla birlikte söz konusu davranış bilgisayar bilimcilere ilham vermiş olan tek karınca davranışı değildir. Burada, çok kısaca karıncalardan esinlenen diğer bazı algoritma örnekleri üzerinde durulacaktır. Tüm bu tekniklerin ortak özelliği suni karıncaların paylaştığı ve kullandığı bilgiyi barındıran çevreyle alakalı olan, değişkenlerden faydalanmalarıdır.

Kuluçka Sınıflandırması pek çok karınca türünde (örn, *Pheidole pallidula* karıncalarında) gözlemlenebilen bir faaliyettir. Bu karıncalar yumurtalarını küçük larvalar yuvanın ortasına, daha büyük larvalar ise yuvanın dış kenarlarına gelecek şekilde toplu olarak kümelere ayırırlar. Deneubourg ve çalışma arkadaşları, karıncanın, parçaları çevredeki benzerlerinin sayısına bakarak seçip ayırdığı bu fenomenin bir örneğini sunmuşlardır. Lumer, Faieta, Kuntz ve çalışma arkadaşları da bu örneği belirli bir gruplama problemine uygulamışlar ve daha düşük bir hesap maliyeti olmakla birlikte, nitel olarak klasik tekniklerle elde edilenlere denk sonuçlar elde etmişlerdir. Kısa süre önce Handl ve çalışma arkadaşları Lumer ve Faieta'nın algoritmasının geliştirilmiş bir versiyonunu tarif etmişler ve performansını diğer standart gruplama teknikleriyle karşılaştırmışlardır. Karınca-tabanlı bu algoritmanın göze çarpan özelliklerinden birisi doğal sayıda bir grup kurma kabiliyetidir.

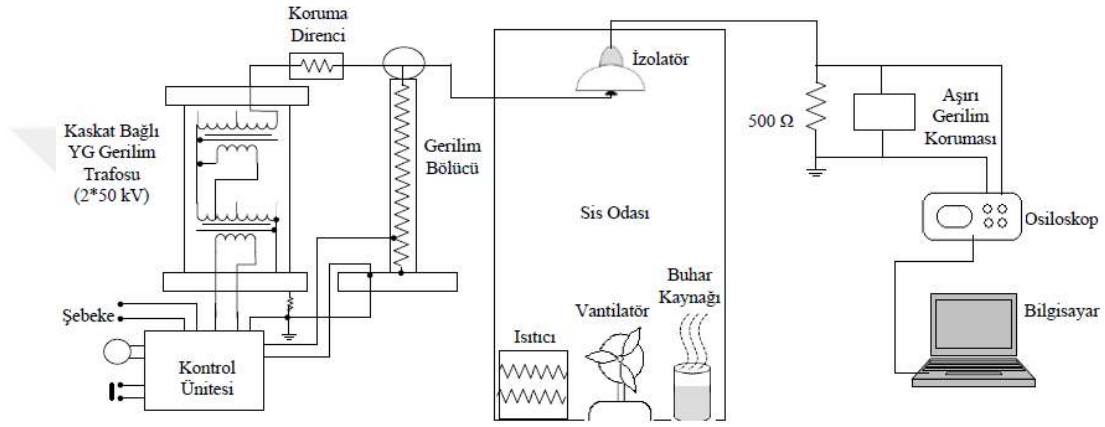
Karınca kolonilerinde, bireysel işçiler hayatları boyunca belirli bir görevde uzmanlaşma eğilimindedirler. Fakat karıncalar davranışlarını durumlara göre adapte edebilirler; bir asker karınca yiyecek arayıcısına, bir hemşire karınca nöbetçiye vb. dönüşebilir. Bu uzmanlık birleşimi ve esnekliği, özellikle değişen şartlara sürekli adaptasyon gerektiren görev ya da kaynak dağıtım problemlerinde, çok etmenli optimizasyon ve kontrol için arzu edilen bir özelliktir. Gerçek karınca kolonilerindeki iş bölümünden esinlenen birçok yaklaşım, Robinson tarafından geliştirilen ve düşük tepki eşikli işçilerin, yüksek tepki eşikli olanlarıkinden daha düşük seviyedeki uyarıcılara karşı tepki verdikleri eşik modeline dayanmaktadır.

Karınca kolonilerinin davranışları robot üretme ve işletme bilimi alanındaki araştırmalara, özellikle de robot grupları için dağıtılmış kontrol algoritmalarının tasarımlarına esin kaynağı olmuştur. Karınca algoritmaları uygulamalarına, bir nesneyi çekme problemiyle ilgili, karınca algoritmalarının otonom robotik uygulamalar için çalışmasına adanmış bir proje olan Swarm-bots projesi örnek gösterilebilir.

5. UYGULAMA

5.1. İzolatör Yüzeyindeki Kaçak Akım Deney Ölçüm Sonuçları

Öztürk'ün Doktora tez çalışmasından, farklı nem şartları altında yapılan deneysel çalışmalarda, her bir izolatör için ölçülen kaçak akımların efektif değerleri alınmıştır. Yapılan bu deneyin sistematik şeması aşağıda verilmiştir [48].



Şekil 5.1. Deney sistemi

Bu deneyde YG transformatörü ile 100 kV'luk gerilim oluşturulur. Transformatöre 875 k Ω 'luk koruma direnci bağlanarak sistem koruması sağlanır. İzolatör çıkışına 500 Ω 'luk direnç bağlanır. Dirence paralel bir aşırı gerilim koruyucu bağlıdır. İzolatör yüzeyinde atlama olursa koruma direnci zarar görür ve akım yüksek değerlere çıkar. 500 Ω 'luk direnç üzerinde yüksek gerilim oluşur. Aşırı gerilim koruyucu devreye girerek osiloskop ve veri toplama cihazını korur. Sistemde gerilim bölücü kullanılmıştır. Gerilim bölücü sayesinde transformatör çıkışındaki akım ve gerilim değerleri izlenmektedir.

Bu deneyde kir, öz iletkenliği farklı olan her bir YG izolatörü için, uygulanan farklı gerilimlere karşılık farklı kaçak akımlar oluşur. Başlangıçta 5 kV gerilim uygulanarak 500 ohm'luk direnç üzerinden gerilimin dalga şekli hem osiloskoba hem de veri toplama cihazı üzerinden bilgisayara kaydedilmiştir. Osiloskoptan yüzey kaçak akımının efektif değerleri alınmıştır.

Kuru şartlar altında yapılan deneysel çalışmalarda her bir izolatör için ölçülen kaçak akımların efektif değerleri Tablo 5.1 ve 5.2'de verilmiştir [48]. Uygulanan gerilim seviyesi 5

kV'tan başlanarak kademeli olarak 50 kV'a kadar artırılmıştır. Uygulanan gerilimin artmasıyla yüzey kaçak akımının orantılı bir şekilde arttığı gözlenmiştir. Buna karşın izolatör yüzeyindeki kir tabakasının öz iletkenliğinin değişmesine rağmen kaçak akımların pek fazla değişmediği gözlemlenmiştir. Bunun sebebi kuru durumda öz iletkenliğin değişmesinin kaçak akıma bir etkisi olmamasıdır.

Tablo 5.1. Kuru durum için yüzey kaçak akımlarının efektif değerleri

Uyg. Ger. (kV)	$\sigma=2,03$ ($\mu\text{S/cm}$)	$\sigma=3,32$ ($\mu\text{S/cm}$)	$\sigma=10,98$ ($\mu\text{S/cm}$)
	I _{eff} (mA)	I _{eff} (mA)	I _{eff} (mA)
5	0,0840	0,0780	0,1000
10	0,1742	0,1692	0,2495
15	0,2559	0,2515	0,3519
20	0,3191	0,3146	0,3676
25	0,3864	0,3821	0,4199
30	0,4640	3,4600	0,5180
35	0,5504	0,5466	0,6206
40	0,6534	0,6494	0,7138
45	0,7625	0,7583	0,8123
50	0,8600	0,8560	0,9260

Tablo 5.2. Kuru durum için yüzey kaçak akımlarının efektif değerleri

Uyg. Ger. (kV)	$\sigma=13,45$ ($\mu\text{S/cm}$)	$\sigma=17,8$ ($\mu\text{S/cm}$)	$\sigma=22,6$ ($\mu\text{S/cm}$)
	I _{eff} (mA)	I _{eff} (mA)	I _{eff} (mA)
5	0,0920	0,0980	0,0900
10	0,2478	0,3052	0,3566
15	0,3479	0,4206	0,4845
20	0,3480	0,3714	0,3659
25	0,3934	0,3972	0,3629
30	0,4920	0,5100	0,4900
35	0,5931	0,6231	0,6118
40	0,6774	0,6999	0,6667
45	0,7672	0,7842	0,7315
50	0,8800	0,9140	0,8760

Tablo 5.3’de Karınca Koloni Algoritması yöntemiyle hesaplanan, YG izolatör yüzeyindeki kaçak akım değerleri verilmiştir. Deneylerde kullanılan izolatörlerin iletkenlik değerleri, Karınca Koloni Algoritması yardımıyla geliştirilen bilgisayar program ile izolatörlerin yüzey kaçak akım değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.3. Karınca koloni optimizasyonu için yüzey kaçak akımlarının efektif değerleri

Uyg. Ger.(kV)	$\sigma=2,03$ ($\mu\text{S/cm}$)	$\sigma=3,32$ ($\mu\text{S/cm}$)	$\sigma=10,98$ ($\mu\text{S/cm}$)
	I _{eff} (mA)	I _{eff} (mA)	I _{eff} (mA)
5	0,034	0,048	0,187
10	0,060	0,103	0,310
15	0,083	0,127	0,450
20	0,098	0,175	0,560
25	0,130	0,193	0,681
30	0,153	0,228	0,833
35	0,170	0,261	0,906
40	0,191	0,321	1,039
45	0,216	0,339	1,176
50	0,233	0,396	1,285

Tablo 5.4. Karınca koloni optimizasyonu için yüzey kaçak akımlarının efektif değerleri

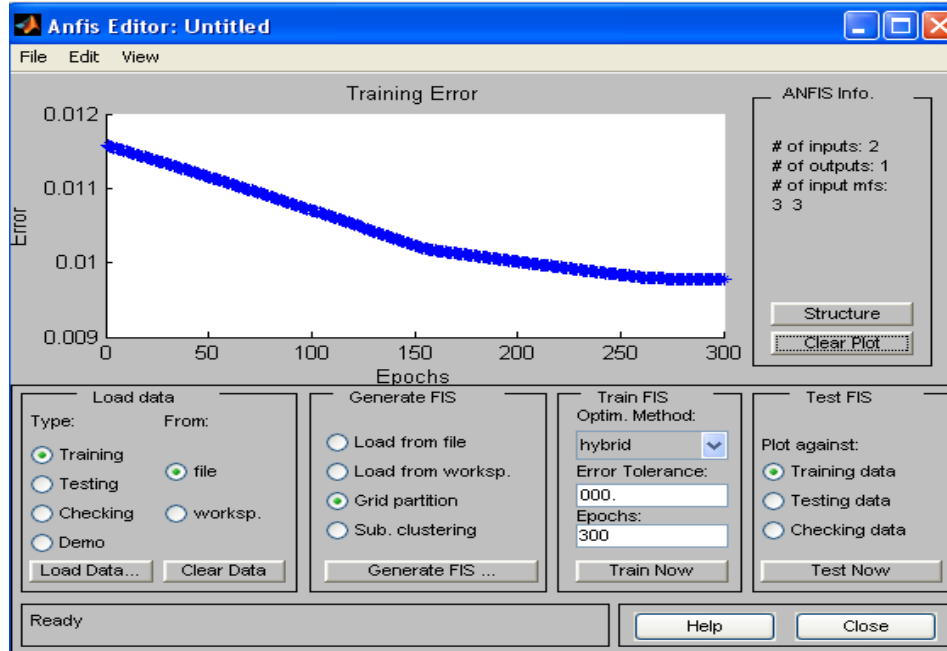
Uyg. Ger. (kV)	$\sigma=13,45$ ($\mu\text{S/cm}$)	$\sigma=17,8$ ($\mu\text{S/cm}$)	$\sigma=22,6$ ($\mu\text{S/cm}$)
	I _{eff} (mA)	I _{eff} (mA)	I _{eff} (mA)
5	0,231	0,294	0,331
10	0,374	0,542	0,582
15	0,536	0,691	0,829
20	0,692	0,869	1,184
25	0,815	1,147	1,465
30	0,980	1,301	1,640
35	1,096	1,495	1,920
40	1,286	1,709	2,195
45	1,4030	1,944	2,3450
50	1,5820	2,090	2,6690

Giriş ve çıkış parametrelerinin üyelik işlevleri, deney ölçüm sonuçları incelenerek belirlenmiştir. Ölçüm sonuçları söz konusu girdi ve çıktı parametreleri için istatistiksel olarak incelenerek, bulanık kural tabanları düzenlenmiştir. Sistemin çıkarımının elde edilebilmesi için IF-THEN (EĞER-İSE) ifadeleri kullanılarak oluşturulan kurallar VE operatörü ile harmanlanmıştır. Model çıktısına, bu şekilde oluşturulan tüm kuralların katkısıyla ulaşılmıştır. Mandami çıkarım mekanizması kullanılmıştır [59].

Ölçümden alınan her bir sonuç üyelik işlevleri yardımıyla bulanık hale dönüştürülmüş ve kural tabanı yardımıyla her bir değerin bulanık fayda değeri belirlenmiştir. Daha sonra fayda değerleri tekrar durulaştırılmış ve sayısal değere dönüştürülmüştür. Durulaştırma için ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, her bir kurala ait çıkarım toplanmış ve elde edilen şeklin ağırlık merkezi bulunarak durulaştırma yapılmaktadır. Model kurma iki aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; değerlendirme ve seçim aşamalarıdır. Ölçüm değerlendirme kriterleri göz önünde bulundurularak denegin toplam faydasının ANFIS kullanılarak hesaplanması sonucu elde edilen değerler seçim aşamasında kullanılmıştır.

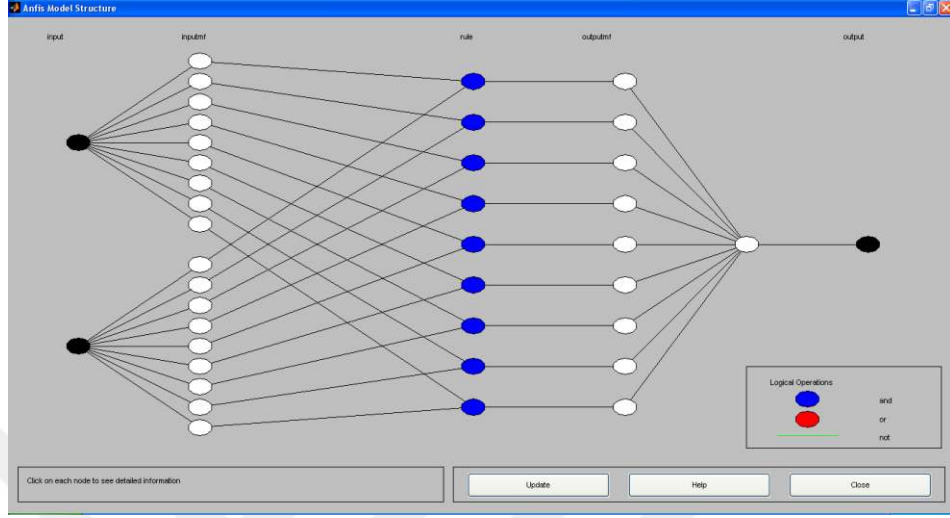
Sonuçlar:

1. 300 iterasyon sonrasında 0,0116 hata değeri ile eğitim tamamlanmıştır.



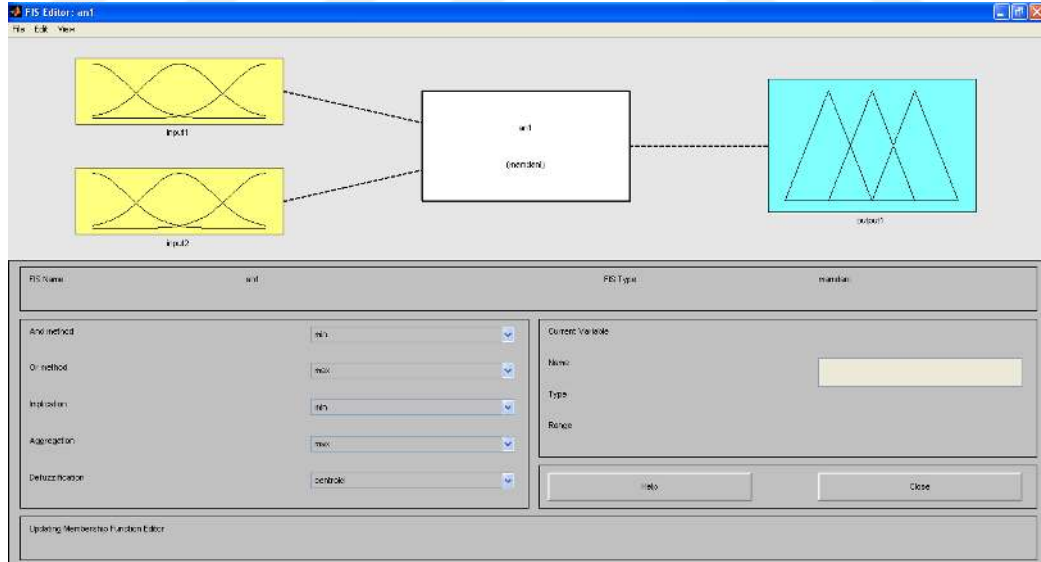
Şekil 5.2. Sistemin eğitimi ve hata gösterimi

2. Girdi sayısı 2, çıktı sayısı 1 ve üyelik fonksiyonu sayısı 3 olarak elde edilmiştir. Inputmf alanında 18 (2x9) adet giriş, rule alanında 9 adet kural ve outputmf alanında 9 adet çıkış değeri oluşturulmuştur.



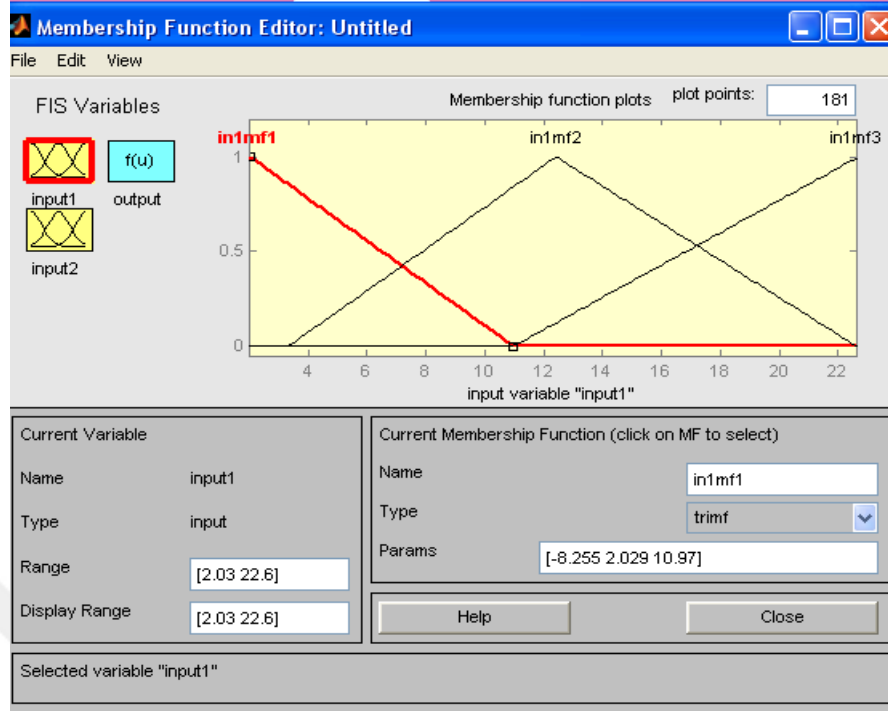
Şekil 5.3. Yapay sinir ağı yapısı

3. Yapay sinir ağının özellikleri görüntülenmiştir.



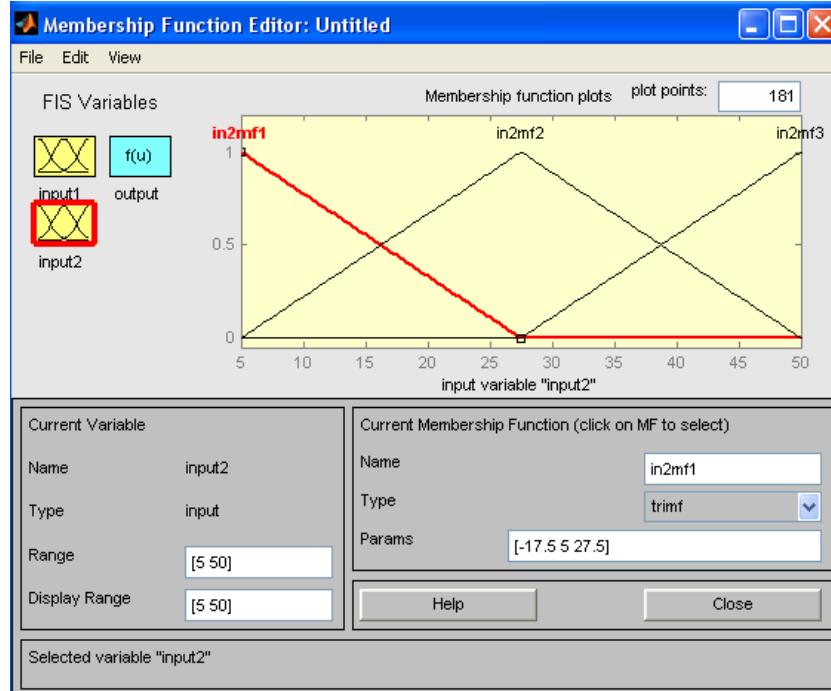
Şekil 5.4. Yapay sinir ağı özellikleri

4. “Trim” fonksiyonu kullanılmıştır. Sigma üyelik fonksiyonları bulunmuştur.



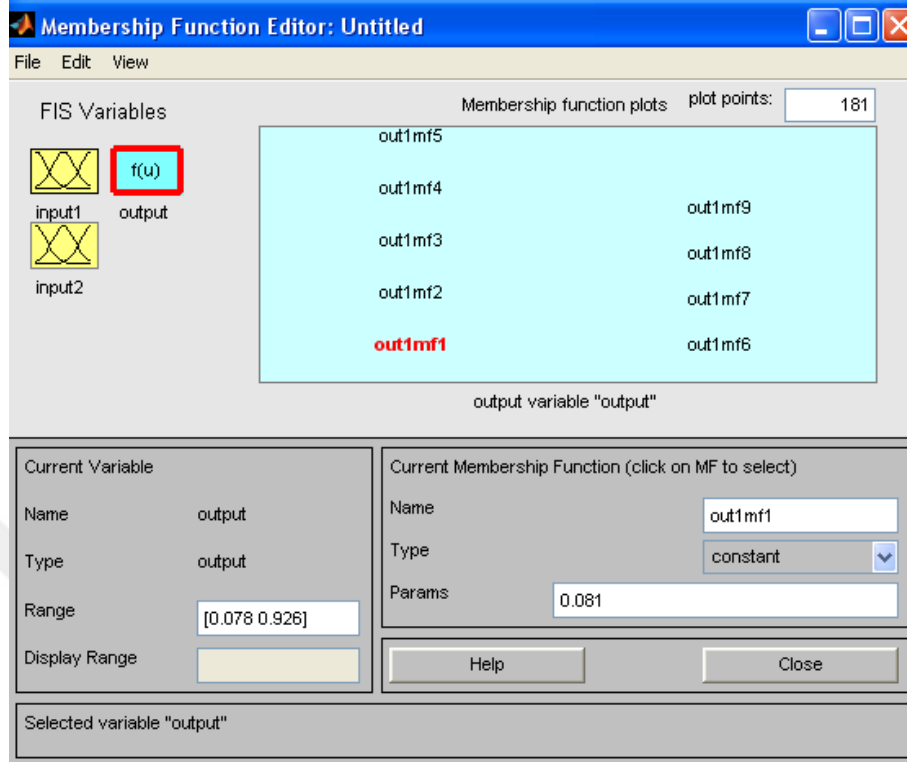
Şekil 5.5. Sigma üyelik fonksiyonları

1. “Trim” fonksiyonu kullanılmıştır. Uygulanan gerilim üyelik fonksiyonları bulunmuştur.



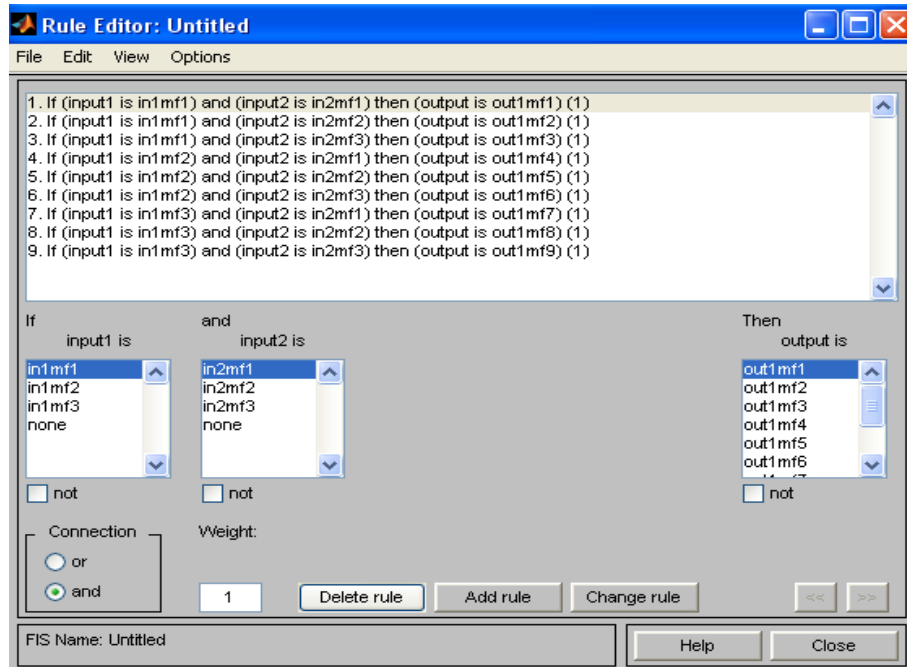
Şekil 5.6. Uygulanan gerilim üyelik fonksiyonları

2. “Trim” fonksiyonu kullanılmıştır. Kaçak akım üyelik fonksiyonları bulunmuştur.



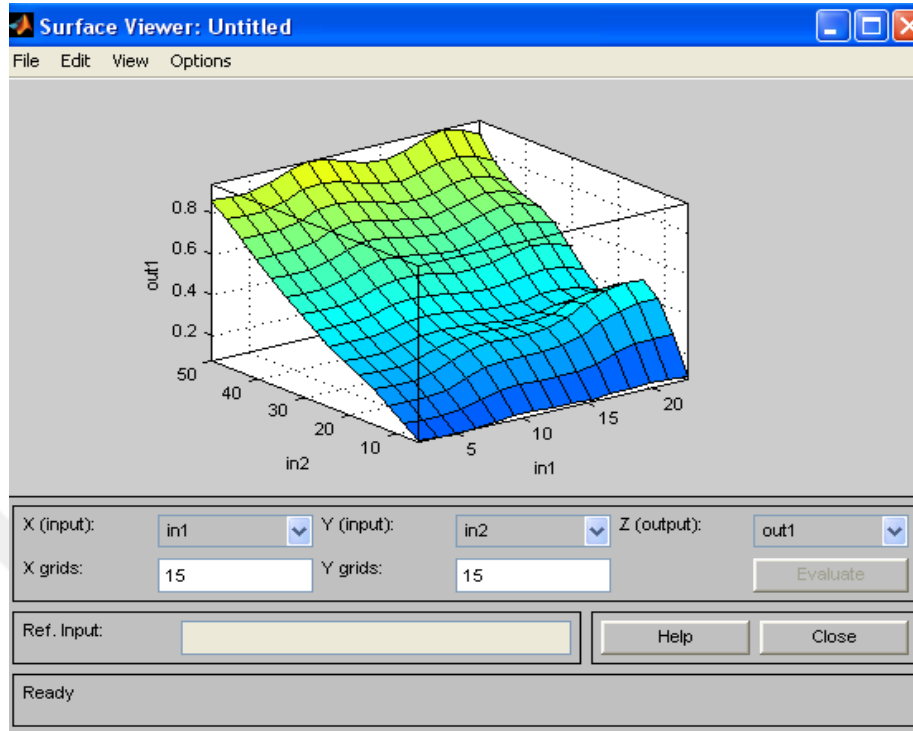
Şekil 5.7. Kaçak akım çıkış üyelik fonksiyonları

3. Ölçüm sonuçlarının eğitim kural yapısı bulunmuştur.



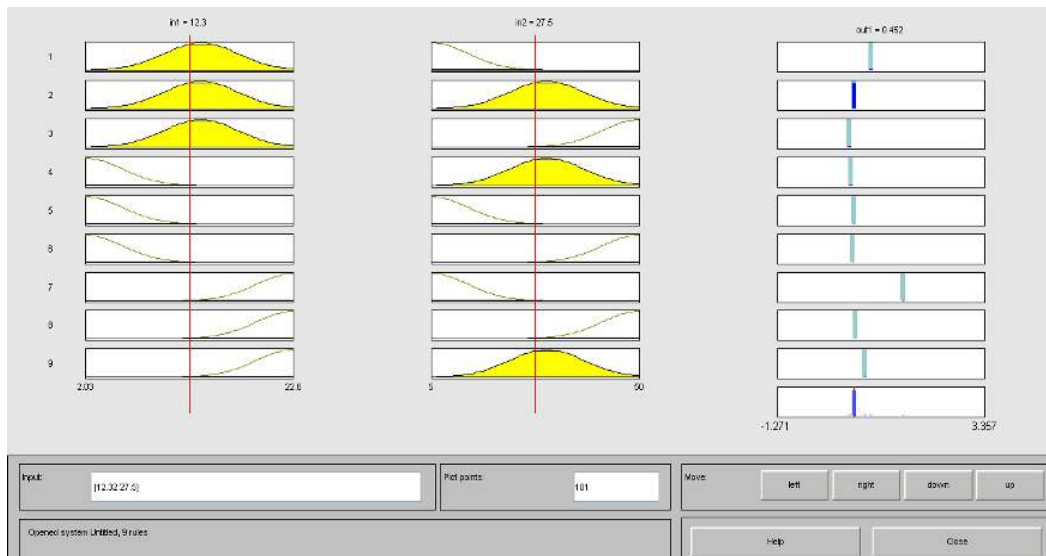
Şekil 5.8. Ölçüm sonuçlarının eğitim kural yapısı

4. Farklı Input1 ve Input2 değerleri için değişen yüzey yapıları görüntülenmiştir.



Şekil 5.9. Ölçüm sonuçlarının yüzey şeklinde gösterimi

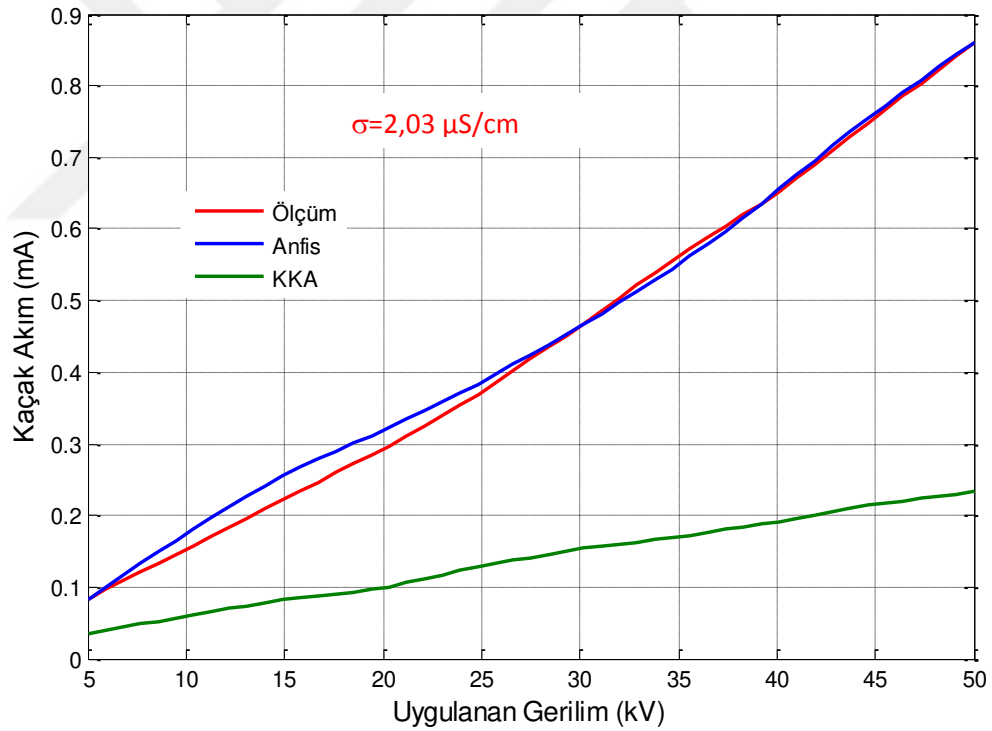
5. Deney ölçüm değerleri ölçekler yardımı ile işaretlenerek yapay sinir ağının çıktı üretmesi sağlanır. Kaçak akım için spesifik değer çıktısı gösterilmiştir.



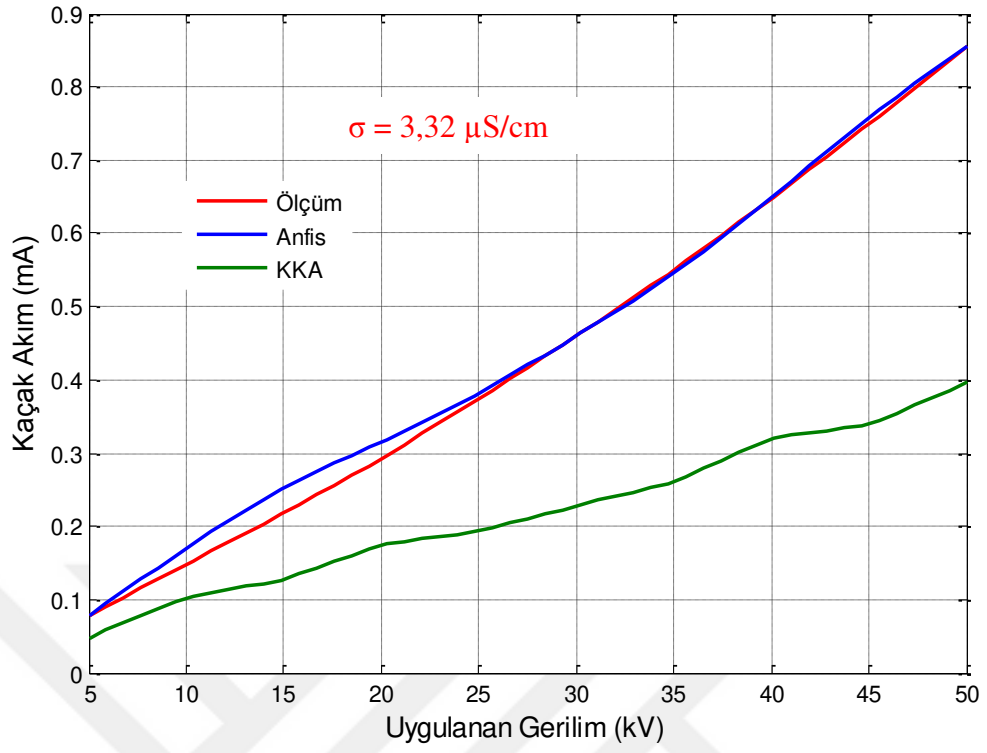
Şekil 5.10. Kaçak akım için spesifik değer çıktısı gösterimi

Her bir izolatör için farklı öz iletkenlik değerleri alınarak, 5 kV ile 50 kV arasında kademeli gerilim uygulayıp, kaçak akım değerleri deney sonuçları elde edilmiştir. Alınan deney sonuçları, Karınca Koloni Algoritması optimizasyonu ve ANFIS sonuçları ile karşılaştırılmıştır. ANFIS sonuçlarının deneysel ölçüm sonuçlarına daha yakın olduğu gözlenmiştir. 5 kV ile 20 kV arasındaki değerler birbirine uzak görünse de, 20 kV ile 50 kV arasında çok yakın değerler olduğu gözlenmiştir. Buna karşın Karınca Koloni Algoritması sonuçlarının, hem deney sonuçlarına hem de ANFIS sonuçlarına uzak değerler olduğu gözlenmiştir. Buradan ANFIS sonuçlarının gerçek değerlere daha yakın olduğu görülmektedir.

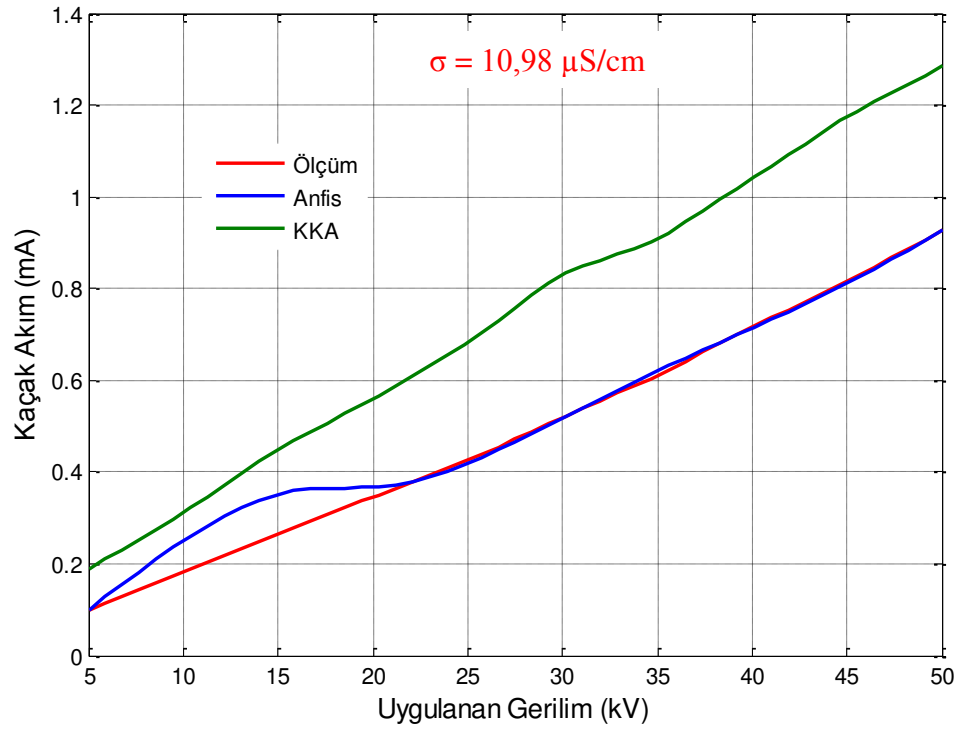
Şekil 5.11 ve 5.12’de gerilimin artmasına bağlı olarak, kaçak akımların, Karınca Koloni Algoritmasında daha düşük değerler aldığı, Şekil 5.13-16 da ise Karınca Koloni Algoritması sonuçlarının daha yüksek değerler aldığı gözlenmiştir.



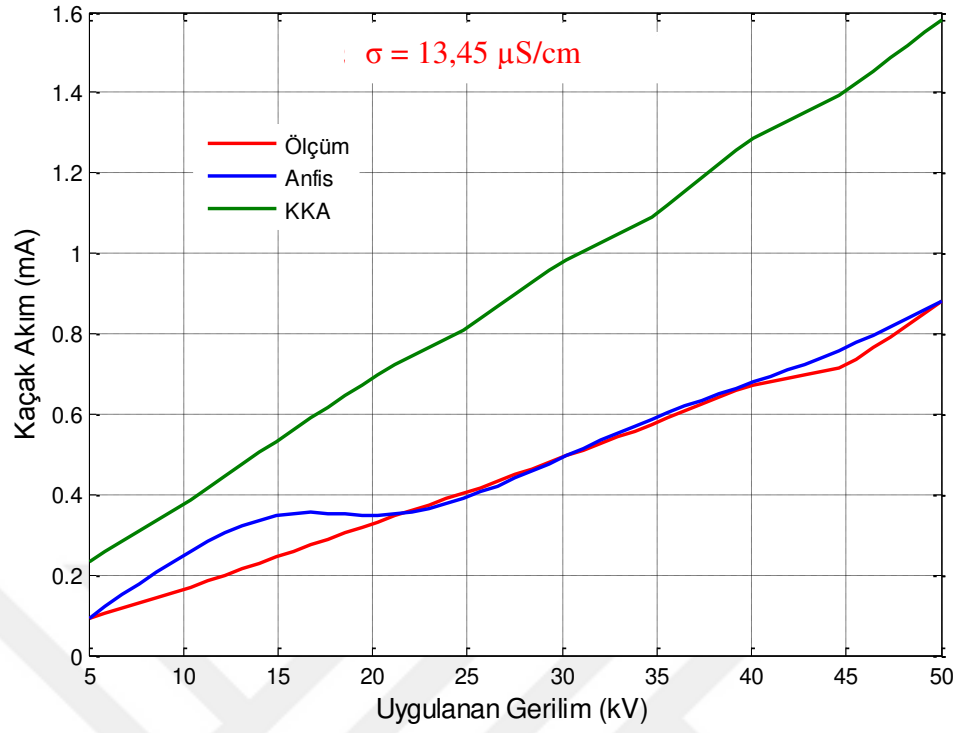
Şekil 5.11. $\sigma=2,03 \mu\text{S/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları



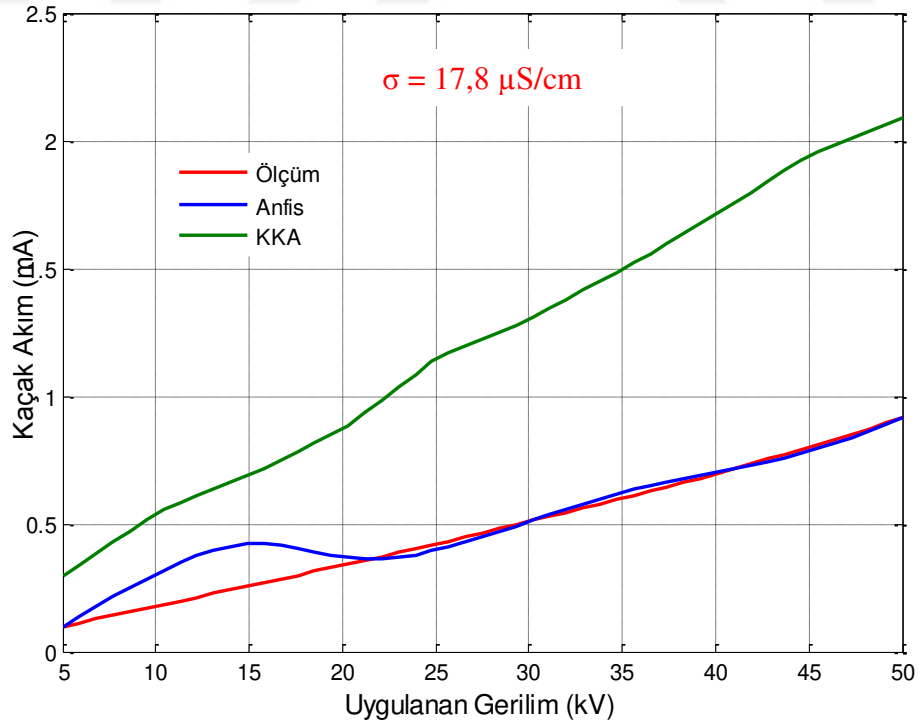
Şekil 5.12. $\sigma=3,32 \mu\text{S/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları



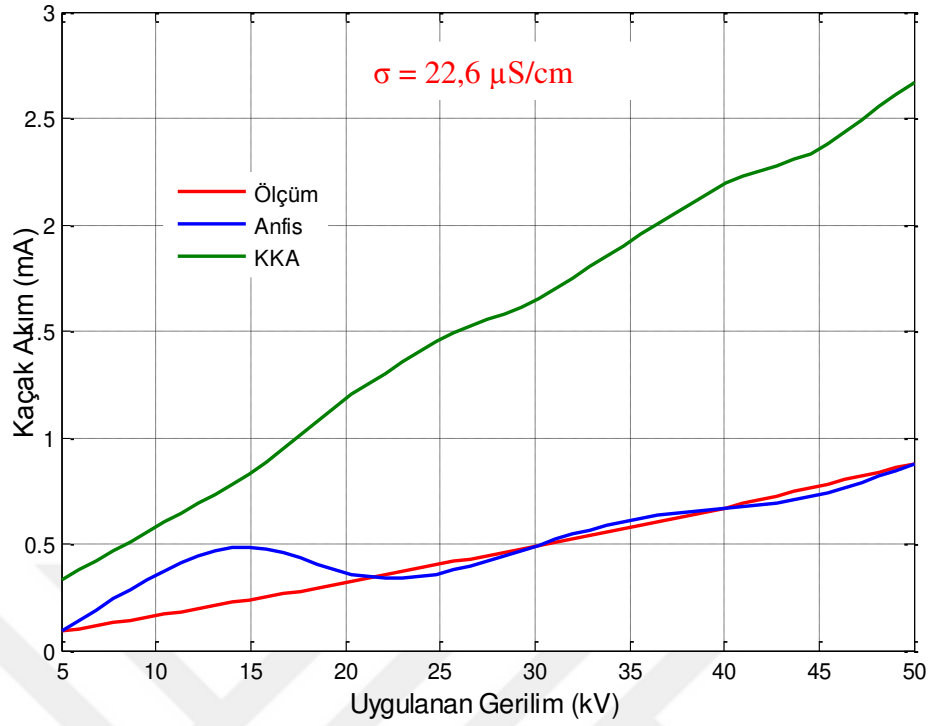
Şekil 5.13. $\sigma=10,98 \mu\text{S/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları



Şekil 5.14. $\sigma=13,45 \mu\text{S/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları

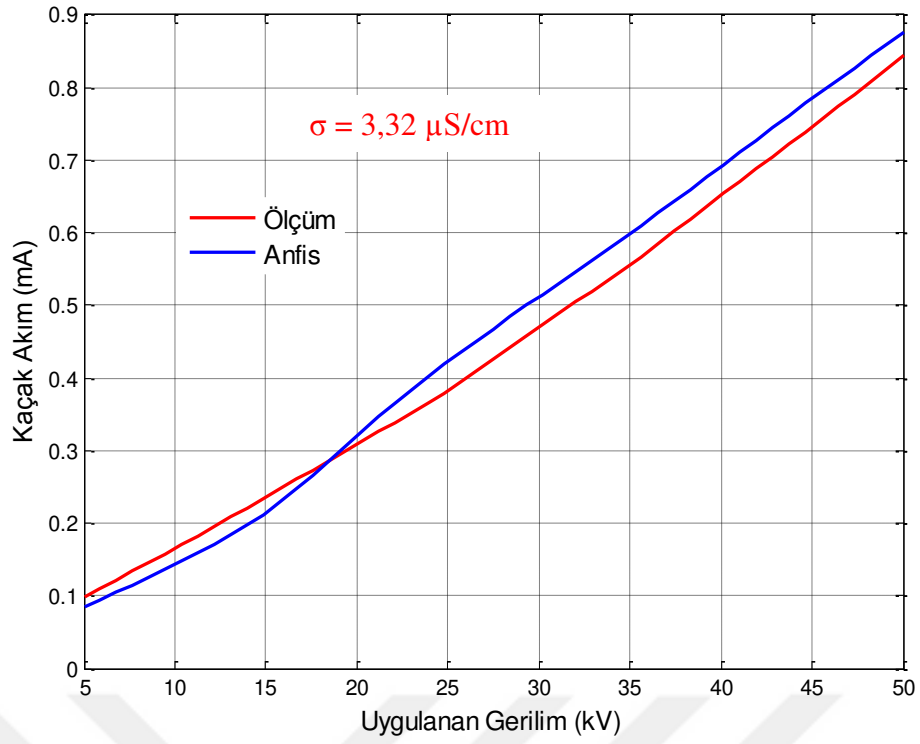


Şekil 5.15. $\sigma=17,8 \mu\text{S/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları

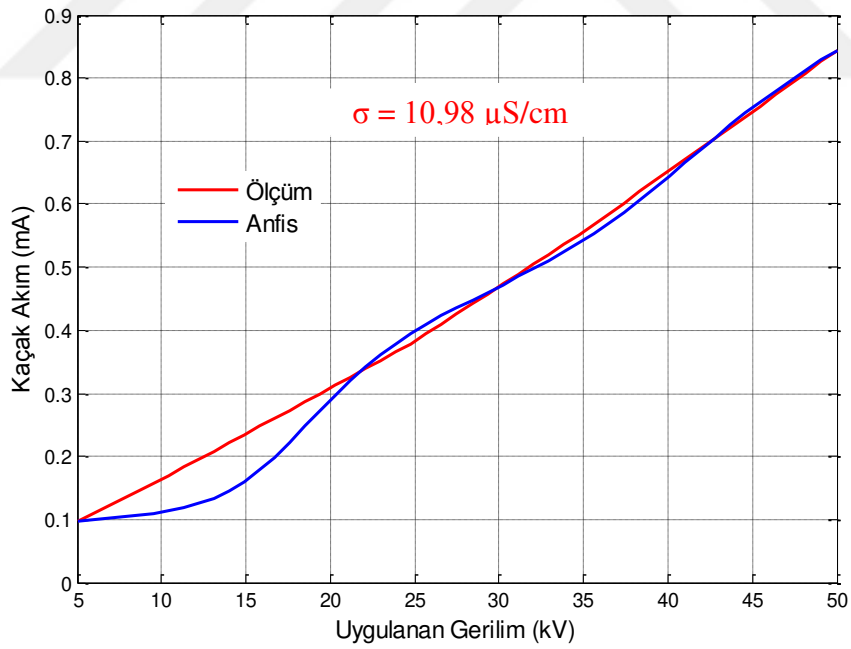


Şekil 5.16. $\sigma=22,6 \mu\text{S/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları

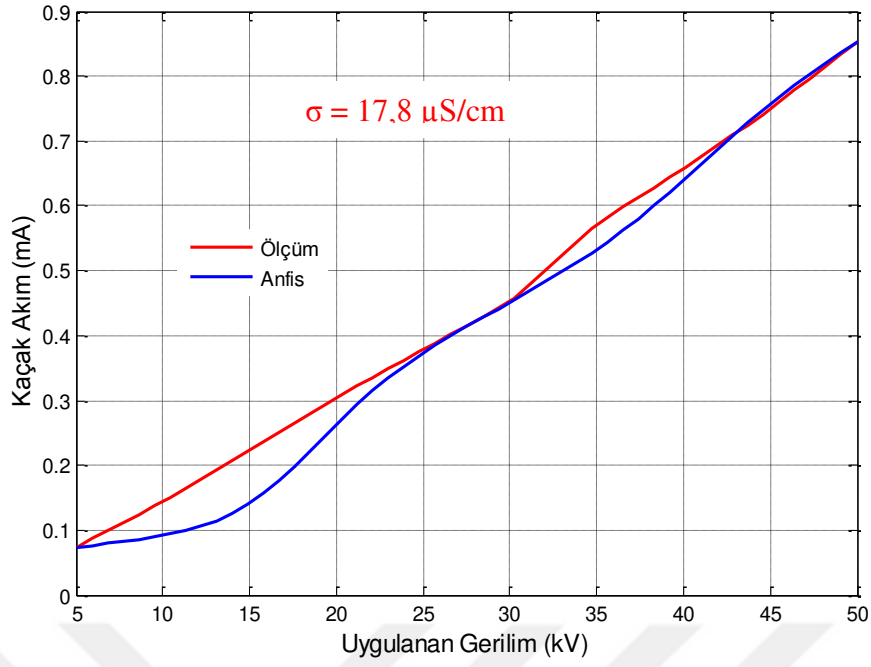
%60 bağıl nem altında yapılan deneysel çalışmalarda her bir izolator için ölçülen kaçak akımların efektif değerleri Şekil 5.17-19’da gösterilmektedir. %60 bağıl nem durumunda her bir izolator için farklı öz iletkenlik değerleri alınarak, 5 kV ile 50 kV arasında kademeli gerilim uygulanıp, kaçak akım değerlerinin deneysel sonuçları alınmıştır. Alınan deneysel sonuçlar, ANFIS sonuçları ile karşılaştırılmış ve değerlerin birbirlerine çok yakın olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.17. %60 nem ve $\sigma=3,32 \mu\text{S/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları

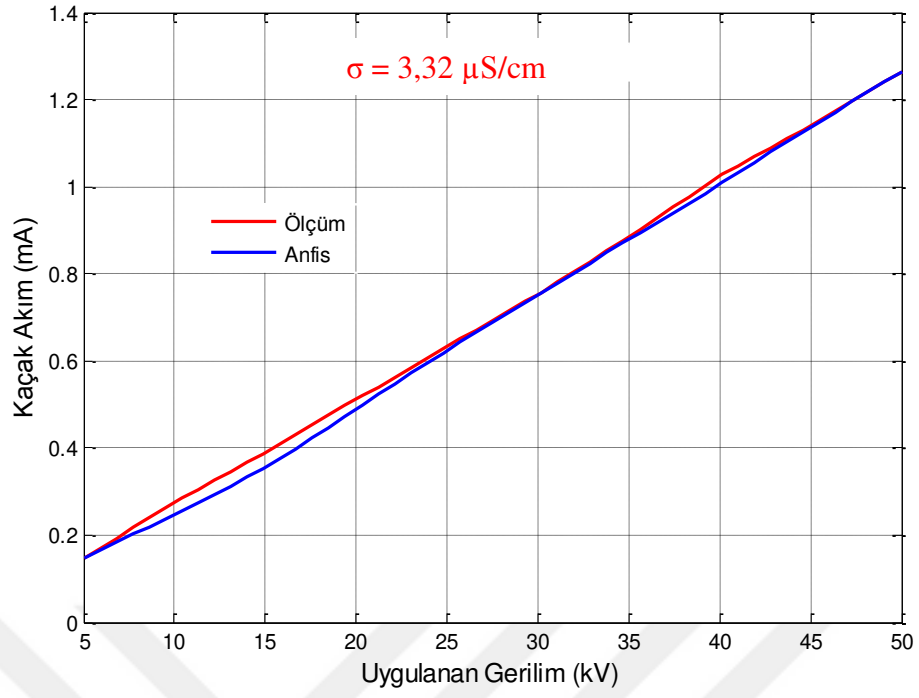


Şekil 5.18. %60 nem ve $\sigma=10,98 \mu\text{S/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları

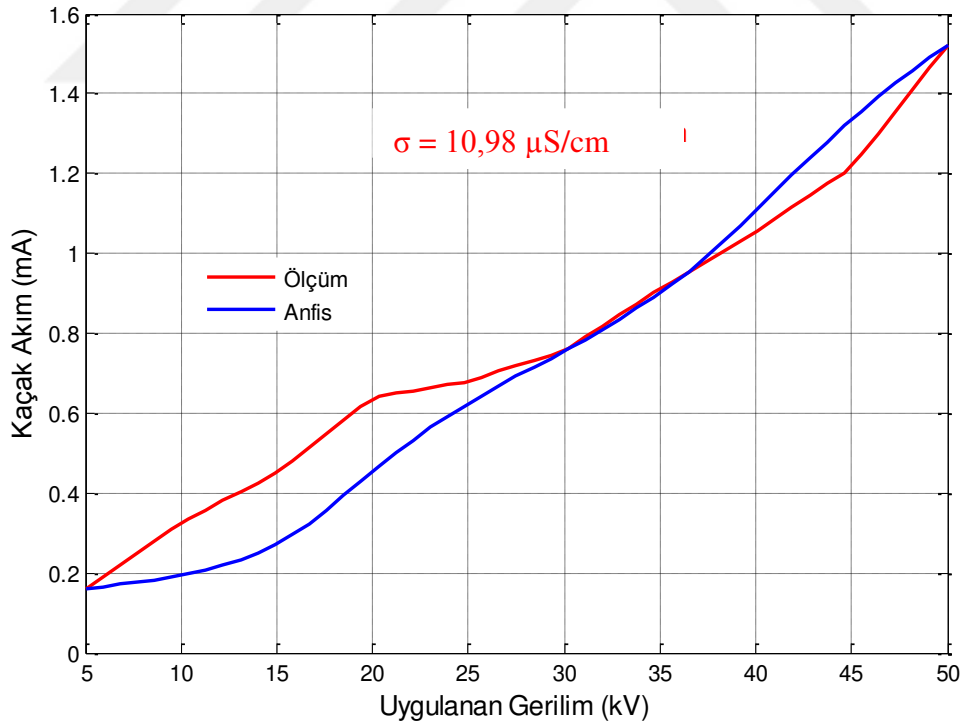


Şekil 5.19. %60 nem ve $\sigma=17,8 \mu\text{S/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları

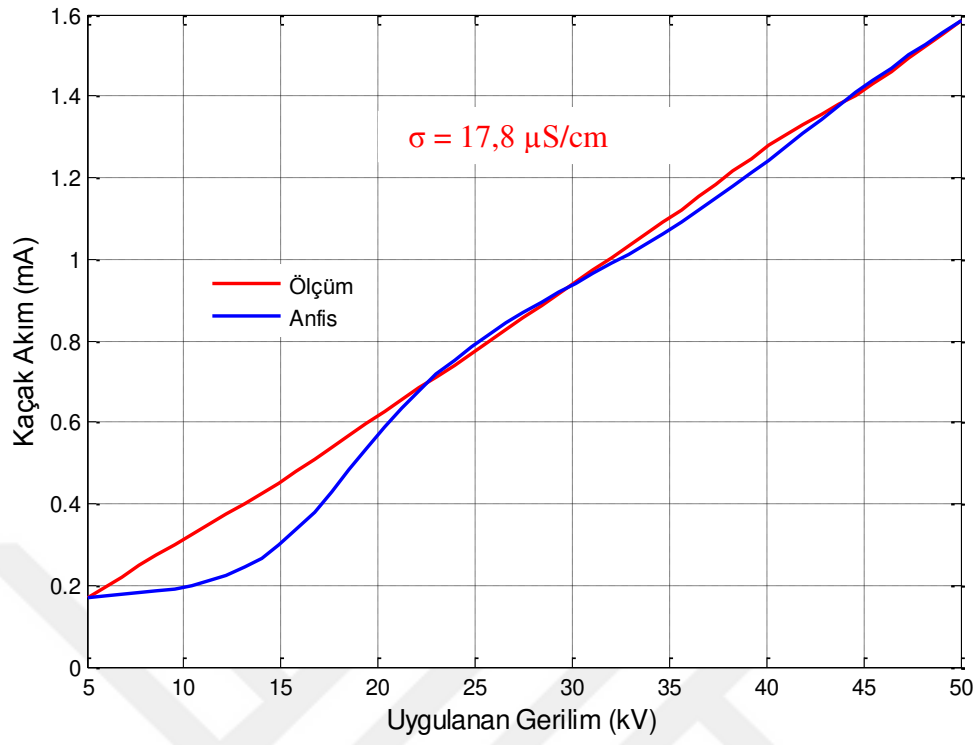
%85 bağıl nem altında yapılan deneysel çalışmalarda her bir izolatör için ölçülen kaçak akımların efektif değerleri şekil 5.20-22’de gösterilmiştir. %85 bağıl nem durumunda her bir izolatör için farklı öz iletkenlik değerleri alınarak, 5 kV ile 50 kV arasında kademeli gerilim uygulanıp, kaçak akım değerleri deney sonuçları alınmıştır. Alınan deney sonuçları, ANFIS sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu değerlerin birbirlerine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Kuru durum ve %60 bağıl nem durumuna göre kaçak akım değerlerinin de yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.20. %85 nem ve $\sigma=3,32 \mu\text{S/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları



Şekil 5.21. %85 nem ve $\sigma=10,98 \mu\text{S/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları



Şekil 5. 22. %85 nem ve $\sigma=17,8 \mu\text{S/cm}$ değeri için akım ve gerilime bağlı ölçüm ve hesaplama sonuçları

6. SONUÇ

Bu çalışmada; yüksek gerilim izolatörlerinin kaçak akımlarının, temiz ve kirli durumlar için nasıl değiştiği gözlenmiş ve kaçak akımları bulma hususunda farklı yöntemler ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yüksek gerilim izolatörlerinin temel görevleri; güç sisteminde gerilim altındaki kısımları izole etmektir. Yüksek gerilim izolatörlerinin doğal kirlenmeye maruz kalmaları, nem ve atmosferik kirlerin de etkisiyle izolatör yüzeyinde iletkenlik meydana getirmektedir. Bunun sonucu olarak izolatörler izolasyon vazifesini gerektiği gibi yapamamaktadırlar.

Yüksek gerilim izolatörlerinin izolasyon vazifesini yeterli bir şekilde yapabilmeleri için izolatör yüzeyindeki kaçak akımları azaltıcı tedbirler almak önem arz etmektedir. İzolatör yüzeyindeki farklı kir durumuna göre kaçak akımları tespit etmek önemli bir adımdır. Laboratuvar ortamında izolatör yüzeyindeki kaçak akımları tespit etmek her zaman mümkün olmadığından farklı yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur.

Öztürk' ün doktora çalışmasındaki deney sonuçları ve Karınca Koloni Algoritması sonuçları alınmış, ANFIS yöntemiyle karşılaştırılmıştır. ANFIS sonuçlarının deney sonuçlara daha yakın olduğu gözlenmiştir. Deney sonuçları, gerçek değerler olarak kabul edilirse, ANFIS yöntemiyle kaçak akımları tespit etmek ideal bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. ANFIS yönteminde dezavantaj olarak görülen durum ise ANFIS yönteminin eğitilmesi için deney sonuçlarının bir kısmına ihtiyaç duyulmasıdır.

Kuru durumda, %60 bağıl nem ve %85 bağıl nem durumunda, farklı öz iletkenlik değerlerine bağlı olarak incelemeler yapılmış, uygulanan gerilimin artırılmasıyla kaçak akımların orantılı olarak arttığı gözlenmiştir. Buna karşın bağıl nem durumunun artmasıyla kaçak akımların çok az arttığı gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. **Alış, H., Gençoğlu, M.T. ve Cebeci, M.,** 2006, İzolatör Kaçak Akımlarının ve Yüzeysel Atlama Gerilimlerinin Çevresel Faktörlere Bağımlılığı, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, **22**, 37-49.
2. **Rumeli, A.,** İzolatörlerde Kirlenmelerin Sebep olduğu Atlamaları Önleme Çareleri, Elektrik Mühendisliği Mecmuası, **159**, 83-88.
3. **Rumeli, A. ve Koraşlı, C.,** Kirlenmiş İzolatörlerin atlama davranışlarının analitik incelenmesi için geliştirilen model kavramı, Elektrik Mühendisliği Mecmuası, **220**, 179-185.
4. **Öztürk, D. ve Cebeci, M.,** Kirlenmiş Yüksek Gerilim İzolatörlerinde Yüzey Kaçak Akımlarının Karınca Koloni Algoritması ile Hesaplanması, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elazığ, 65-70.
5. **Gençoğlu, M.T.,** 2003, Kirlenmiş Yüksek Gerilim İzolatörlerinin Doğru Akım Atlama Gerilimlerinin Hesaplanması, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, **4**, 25-31.
6. **Gençoğlu, M.T., Aydoğmuş, Z. ve Cebeci, M.,** Yüksek Gerilim İzolatörlerinde Kir Tabakası Direncinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Hesaplanması, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elazığ, 71-76.
7. **Zegnini, M., Belkheiri, M. and Mahi, D.,** 2009, Modeling Flashover Voltage of Polluted HV Insulators Using Artificial Neural Networks, Dielectrics Materials Laboratory, Laghouat University, Algeria, **18**, 336-340
8. **Waters, R.T., Haddad, A., Griffiths, H., Harid, N. and Sarkar. P.,** 2010, Partial-arc and Spark Models of the Flashover of Lightly Polluted Insulators, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, **17**, 417-424.
9. **Dixit, P., Krishnan, V. and Nagabhushana, G, R.,** 2010, A New Mathematical Model for Flashover Voltages of Polluted Porcelain Insulators, International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE), New Orleans, LA, USA, 493-496.
10. **Bessedik, S.A. and Hadi, H.,** 2011, Dynamic Arc Model of the Flashover of the Polluted Insulators, Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), Cancun, Mexico, 550-554.
11. **Bencherif, Y.A., Mekhaldi, A. and Tegar, M.,** 2012, Modeling of a high voltage insulator under uniform and non uniform pollution, Annual Report Conference on

Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), Montreal, QC, Canada, 761-766.

- 12. Dixit, P., Krishnan, V. and Nagabhushana, G. R.,** 2010, Mathematical Model to Predict Flashover Voltages of Polluted Polymeric Insulators Intended for UHV DC, International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE), New Orleans, LA, USA, 437-440.
- 13. Dhahbi, N. and Arfaoui, W.,** 2013, Computer Package for Selecting High Voltage Insulators for Different Contamination Conditions, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, **20**, 1428-1435.
- 14. Slama, A., Beroual, A. and Hadi, H.,** 2012, The effect of discontinuous non uniform pollution on the flashover of polluted insulators under Lightning impulse voltage, International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE), Shanghai, China, 246-249.
- 15. Moula, B., Mekhaldi, A. and Teguvar, M.,** 2012, Evaluation of Insulator's Energy under Uniform Pollution Condition, IEEE International Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON), Florence, Italy, 975-978.
- 16. Asimakopouloua, G.E., Kontargyria, V.T., Tsekourasb, G.J., Elias, C. N., Asimakopouloua, F.E. and Stathopulos, I.A.,** 2011 A. fuzzy logic optimization methodology for the estimation of the critical flashover voltage on insulators, Electric Power Systems Research, **81**, 580–588
- 17. Kontargyri, V.T., Gialketsi, A.A., Tsekouras, G.J., Gonos, I.F. and Stathopulos, I.A.,** 2006, Design of An Artificial Neural Network for The Estimation of The Flashover Voltage on Insulators, Electric Power Systems Research, Electric Power Systems Research, **77**, 1532–1540
- 18. Panagiotis, T., Constantinos G., Perikles D. and Nikolaos J.,** 2003, An Experimental Investigation of Leakage Current on High Voltage Contaminated Insulators, Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering, **2**, 30-34.
- 19. Schwardt, W.H., Holtzhause, J.P. and Vosloo, W.L.,** 2004, A Comparison Between Measured Leakage Current And Surface Conductivity During Salt Fog Tests, 7th AFRICON Conference, Gaborone, Botswana, 597-600.
- 20. Piah, M. A. M.,** 2004, Modeling Leakage Current and Electric Field Behavior of Wet Contaminated Insulators, Power Engineering Letters, **19**, 432-433.
- 21. Salam, M. A., Nadir, Z. and Fadil, N.,** Characterization of Flashover Voltage of a Polluted Insulator Energized with DC Voltage, 51-55.

22. **Hirose, Y., Seta, T., Anjo, K., Ichihara, Y. and Okada, T.,** 1972, Switching Surge Insulation Characteristics of Insulators under Polluted Conditions, CIGRE, 332-02.
23. **Looms, J.S.T.,** 1988, Insulators for High Voltages, Peregrinus, P., 276, London.
24. **Nasser, E.,** 1963, Behaviour of Insulators with an Unevenly Distributed Pollution Layer, E.T.Z.A., **84**, 353.
25. **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
26. **Çanakçı, M.,** 1993, Sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla yüksek gerilim izolatörlerinde yüzey alan dağılımının hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
27. **Hampton, B.F.,** 1964, Flashover Mechanism of Polluted Insulation, Proc. IEEE, **111**, 985-990.
28. **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.
29. **Kobayashi, S., Matsuzaki, Y., Arashitani, Y. and Kimata, R.,** 2002, Development of Composite Insulators for Overhead Lines (Part 2), Furukawa Review, **21**, 56-61.
30. **Hackam, R.,** 1999, Outdoor HV composite polymeric insulators, IEEE Trans. On Dielectric and Electrical Insulation, **6**, 557–585.
31. **Amin M., Amin S.,** 2006, Aging of Polymeric Insulators, Reviews on Advanced Materials Science, 13-93
32. **James, F.H.,** 1993, History and Bibliography of Polymeric Insulators for Outdoor Applications. IEEE Transactions on Power Delivery, **8**, 376-385.
33. **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, **1**, 106-123
34. **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, **3**, 1157-1164.
35. **Papiliou, K.O.,** 1999, Composite insulators are gaining ground–25 years of Swiss experience. in 1999 IEEE T&D Conference, New Orleans LA, 827–833.

- 36. Dumora, D.,** 2001, New compact composite insulation for environmental, economic and safety considerations,. World Insulator Congress and Exhibition, Shanghai, China, 168-81
- 37. Yağdıran, Z.O.,** 1997, Yüksek Gerilim İzolatörlerinin Performansını Belirlemede Bir Deneysel Yöntem, Y. Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- 38. Holtzhausen, J. P. and Du Toit, L. P.,** 1987, Insulator Pollution: Interrelationship of Highest Leakage Current, Specific Creepage Distance and Salinity, Proc. SAIEE.
- 39. Haznadar, Z., Sokolija, K. and Sadovic, S.,** 1989, Dynamic model of pollution flashover, Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans, LA, USA,
- 40. Rizk, F.A.M.,** 1981, Mathematical Models for Pollution Flashover, Electra, **78**, 71-103.
- 41. Rumeli, A.,** 1979, Homojen Kirle Kaplı Yüksek Gerilim İzolatörlerinin Dayanım Gerilimlerinin Hesaplanması, Profesörlük Tezi, ODTÜ, Ankara.
- 42. Bendapudi, S. Ram.,** 1988, Flashover Voltage of Contaminated Insulators, Conference Record of The 1988 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston.
- 43. Sundararajan, R. and Gorur, R. S.,** 1993, Dynamic arc modeling of pollution flashover of insulators under dc voltage, IEEE Transactions on Electrical Insulation, **28**, 209-218.
- 44. Dhahbi-Megriche, N. and Beroual, A.,** 2000, Flashover dynamic model of polluted insulators under ac voltage, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, **7**, 283-289.
- 45. Dhahbi-Megriche, N., Beroual, A. and Krahenbühl, L.,** 1997, A new proposal model for flashover of polluted insulators, J. Phys. D:Appl. Phys, **30**, 889-894.
- 46. Fofana, I. and Beroual, A.,** 1996, A New for Long Air Gap Discharge Using An Equivalent Electrical Network, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, **3**, 273-282.
- 47. Holtzhausen, J.P. and Vosloo, W.L.,** 2001, The pollution flashover of ac energized post type insulators, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, **8**, 191-194.
- 48. Haznadar, Z., Sokolija, K. and Sadovic, S.,** 1989, Dynamic model of pollution flashover, Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans, LA, USA.

- 49. Haykin, S.,** 1999. Neural Networks. Prentice-Hall, New Jersey.
- 50. Bozik, O.,** 2011, Ana Bileşenler Analizine Dayalı Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı ile Radarla Uçak Sınıflandırma, Yüksek Lisans Tezi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul.
- 51. Gülenç, İ.F. ve Güngör, E.,** 2009. Makine Arıza Zamanlarının Yapay Sinir Ağları İle Tahminine Yönelik Bir Model Önerisi. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 19-38.
- 52. Efe, M.Ö. ve Kaynak, O.,** 2000. Yapay Sinir Ağı ve Uygulamaları. Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- 53. Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and Williams, R.J.,** 1986. Learning Representations by Backpropagation Errors, Nature, **323 (6088)**, 533-536
- 54. Yılmaz, M.,** 2005, Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İstanbul.
- 55. Güler, N.,** 2006. Bulanık Kümeleme Analizi Ve Bulanık Modellemeye Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- 56. Işıktaş, A.,** 2016, Kesit Alanı ve Plaka sayısının HHO Hücresi Performansına etkisinin Deneysel İncelenmesi ve Bulanık Mantık ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- 57. Elmas, Ç.,** 2011, Yapay Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, 185-250.
- 58. Hocaoglu, F.,** 2005. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi İle Eskişehir Bölgesi İçin Güneşlenme Süreleri Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- 59. Saraç, E.,** 2012, Bir Çağrı Merkezindeki Projelerin ANFIS Metodu ile Değerlendirilmesi ve Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 60. Çelik, Ö.,** 2006, İnsan Operatörlerin Akıllı Sistemlerle Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 61. Yılmaz, M.,** 2005. Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İstanbul.

- 62. Jang, R.**, 1993, ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, IEEE Transactions On Systems, Man and Cybernetics Dergisi, **23**, 665.
- 63. Öztürk, D. ve Cebeci, M.**, 2012. Kirlenmiş Yüksek Gerilim İzolatöründe Yüzey Kaçak Akımlarının Karınca Koloni Algoritması ile Hesaplanması, 65-70.
- 64. Keskintürk, T.**, 2009. Araç Rotalama Problemlerinin Global Karınca Koloni Optimizasyonu ile Ölçümü, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- 65. Özdağ, H., Aygör, N. ve Parlak, A.**, 2012. Karınca Kolonisi Algoritmasının Zaman Çizelgelemesi Üzerine Bir Modellemesi ve Uygulaması, **12**, 329-333.
- 66. Öztürk, D.**, 2012, İzolatör Yüzey Kaçak Akımlarının Karınca Koloni Algoritması Yardımıyla İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- 67. Çalış, G.**, 2009, Şantiye Yerleşim problemi Çözümünde Karınca koloni Optimizasyonunun kullanımı, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- 68. Kalınlı, A.**, 2003, Aktif Filtre İçin Devre Elemanı Değerlerinin Karınca koloni Algoritması Kullanarak Seçimi, DEÜ Mühendislik fakültesi Fen ve Mühendislik dergisi, İzmir, **5**, 41-53.
- 69. Yılmaz, Ş.**, 2008, Çok Depolu Araç Rotalama Probleminin Karınca Kolonisi Optimizasyonu ile Modellenmesi ve Bir Çözüm Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 70. Dorigo, M.**, 1992, Optimization, Learning and Natural Algorithms (İtalyanca), Doktora Tezi, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy.
- 71. Maniezzo, V.**, 1999, Exact and approximate nondeterministic tree-search procedures for the quadratic assignment problem, INFORMS Journal on Computing, **11**, 358-369.
- 72. Urgan, B.**, 2011, Karınca Koloni Algoritması ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Ersin TURAN

Fırat Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Elazığ

Tel: 507 – 2344432

E.posta: ersin.turan@tetas.gov.tr

- 1977** Erzurum’da doğdu.
- 1990 - 1993** Oltu Lisesini tamamladı.
- 1993 – 1998** Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu.
- 2010 – 2017** Bingöl Üniversitesi Genç Meslek Yüksekokulunda öğretim görevlisi olarak çalıştı.
- 2017 –** Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. de Mühendis olarak çalışmaya başladı.