

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNDE ATLAMA OLAYININ
YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK İNCELENMESİ**

134799

Muhsin Tunay GENÇOĞLU

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KÜLTÜR
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

DOKTORA TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

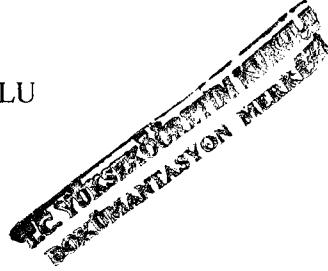
134798

ELAZIĞ, 2003

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNDE ATLAMA OLAYININ YAPAY SİNİR
AĞLARI KULLANILARAK İNCELENMESİ**

Muhsin Tunay GENÇOĞLU



Doktora Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, ~~28.02.2003~~ tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı /başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mehmet CEBECİ

Üye : Doç. Dr. Salih MAMİŞ

Üye : Doç. Dr. Erhan AKIN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Selçuk YILDIRIM

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ~~03.07.2007~~ tarih ve ~~9/7~~ sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, değerli fikirleri ve tecrübeleriyle tezi yönlendiren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet CEBECİ 'ye katkılarından dolayı teşekkür eder, şükranlarımı sunarım. Ayrıca her türlü yardımlarından dolayı Sayın Prof. Dr. Ahmet RUMELİ 'ye, Sayın Y.Doç.Dr. İbrahim TÜRKOĞLU 'na, Sayın Y.Doç.Dr. Mehmet Efe Özbek 'e ve tezin yazımı süresince sabrını, teknik ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili eşim Elk-Elektronik Müh. Sayın Eda GENÇOĞLU 'na en içten sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLolar LİSTESİ	VII
EKLER LİSTESİ	VIII
SİMGELER LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ	1
2. İZOLATÖRLERDE ATLAMA OLAYININ GENEL TEORİSİ	3
2.1. İzolatörlerde Fiziksel Kirlenme.....	3
2.2. Kirlenme Atlaması	3
2.3. Atlama Gelişiminin Fazları	4
2.3.1. Deşarj Safhaları.....	6
2.3.2. Ark Büyümesi	6
2.4. Atlama Denklemi	9
2.5. Ark Parametreleri ve Efektif Yüzey İletkenliği	10
2.6. Kirlenme Şartlarına Göre İzolatörlerin Seçim Kriterleri	11
2.6.1. Kirlenme Şiddeti Seviyeleri	11
2.6.2. Özgül Yüzeysel Kaçak Yolu Uzunluğu Kavramının Uygulanması	13
2.6.2.1. Profili Nitelendiren Parametreler	13
2.6.2.2. İzolatör Konumunun Etkisi	13
2.6.2.3. Çapın Etkisi	14
2.6.3. Kirlenme Şiddetinin Değerlendirilmesi	15
2.7. İzolatör Profilini Niteleyen Parametreler	16
2.8. İzolatörün Tamamını Niteleyen Parametreler	19

3. KİRLENME ATLAMASININ MATEMATİKSEL MODELİ.....	21
3.1. Giriş.....	21
3.2. İzolatör Modellemesinin Tarihsel Gelişimi	22
3.3. Statik Modeller.....	24
3.3.1. Wilkins Modeli	24
3.3.2. Rumeli Modeli	25
3.3.2.1. İki Ark Kökü İçin Atlama Denklemi.....	28
3.3.2.2. Çok Sayıda Arkın Kirli İzole Bir Yüzeyde Yayılımı	29
3.3.3. Dairesel Şerit Model	33
3.3.4. Düz Model.....	36
3.3.4.1. Ark Geriliminin Değeri	38
3.3.4.2. Kritik Akım ve Gerilim	39
3.4. Dinamik Modeller	40
3.4.1. Sundararajan-Gorur Modeli	40
3.4.2. Megriche-Beroual Modeli.....	44
3.4.3. Eşdeğer Silindirik İzolatör Modeli.....	48
3.4.4. Tekrar Tutuşma Modeli	50
3.5. Bu Çalışmada Geliştirilen Dinamik Ark Modeli	51
3.5.1. Modelin Matematiksel Yaklaşımları ve Çözüm Adımları	51
3.5.2. Bilgisayar Programının Yapısı	56
4. YAPAY SİNİR AĞLARI.....	59
4.1. Giriş.....	59
4.2. Yapay Sinir Ağı Yapıları	60
4.2.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları.....	60
4.2.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları	61
4.2.3. Gauss Merkezci Taban Fonksiyonlu Yapay Sinir Ağları	62
4.2.4. Dinamik Yapay Sinir Ağları	64
4.3. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları.....	65
4.4. Geriye Yayılım Öğrenme Algoritması.....	68
4.4.1. Geriye Yayılım Öğrenme Algoritmasının Sakıncaları.....	71
4.4.2. Geriye Yayılım Algoritmasında Momentum Katsayısı	71
4.5. Yapay Sinir Ağlarının Güç Sistemlerinde Kullanım Alanları	72

5. UYGULAMA	83
5.1. Giriş.....	83
5.2. Atlama Gerilimlerinin Hesaplanması.....	83
5.2.1. Alternatif Akım Atlama Gerilimlerinin Hesaplanması.....	86
5.2.2. Doğru Akım Atlama Gerilimlerinin Hesaplanması	88
5.3. Sonuçların Karşılaştırılması	90
5.4. Yapay Sinir Ağı İle İzolatörün Modellenmesi.....	92
5.4.1. YSA Modelinin Yapısı	93
5.4.2. Normalizasyon	95
5.4.3. Dinamik Model Tabanlı YSA Modeli	97
5.5. Değerlendirme.....	104
6. SONUÇ	105
KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ	
EKLER	
EK – 1 Hesaplamalarda kullanılan izolatörler	

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Kirlenme atlamasının safhaları	5
Şekil 2.2. Ark büyümesinin değişik safhalarında ark hızı	7
Şekil 2.3. Bir kısmı arkdeşarjı için ideal model	7
Şekil 2.4. İdeal modelin gerilim eğrileri	8
Şekil 2.5. Kirlenme atlaması modeli	10
Şekil 2.6. (a) Düzenli etekler (b) Değişken etekler	15
Şekil 2.7. Etekler arasındaki minimum c uzaklığı	17
Şekil 2.8. Eteklerin eğimi	17
Şekil 2.9. Normal etekler	18
Şekil 2.10. Değişken etekler	18
Şekil 2.11. Çan (kep) tipi izolatör	18
Şekil 2.12. Alt kısmı dalgalı etekler	18
Şekil 2.13. Başlıklı ve kaideli mesnet tipi izolatör	19
Şekil 3.1. Bir izolatörün AR ve RW modelleri	26
Şekil 3.2. Atlama oluşumu için değişik başlangıç noktaları	27
Şekil 3.3. Kirli izole bir yüzeyde iki ark kökünün hareketi a) Elektrotlardan başlayan iki ark b) Orta bölgede bir ark	28
Şekil 3.4. Kirli izole bir yüzeyde v sayıda ark	29
Şekil 3.5. Zincir izolatör elemanı	31
Şekil 3.6. İzolatörün yassı modeli	31
Şekil 3.7. $R(x)$ 'i elde etmek için kullanılan yaklaşım	31
Şekil 3.8. Dairesel şerit model	34
Şekil 3.9. Dönüştürülmüş daireysel şerit	34
Şekil 3.10. Düz model	36
Şekil 3.11. Düz modelin elektriksel eşdeğer devresi	37
Şekil 3.12. Kuru band oluşmuş kirli izolatör	40
Şekil 3.13. Kirli izolatörün Obenaus modeli	41
Şekil 3.14. Kirlenmiş izolatörlerdedeşarj yayılımı	42
Şekil 3.15. Akış diyagramı	43
Şekil 3.16. (a) Deşarj büyümesinin analizi için kullanılan model (b) Eşdeğer elektriksel devre (c) Tümdeşarj yayılımını tanımlayan elektriksel devre modeli	44

Şekil 3.17. Ark yayılım modelinin akış diyagramı	46
Şekil 3.18. Kirli bir izolatörün yüzeyinde ark oluşumu ve kaçak akım akışı	48
Şekil 3.19. İzolatörü temsil eden eşdeğer silindirik izolatör	48
Şekil 3.20. Silindirik izolatör için eşdeğer devre	49
Şekil 3.21. Test devresi	50
Şekil 3.22. 80F140W izolatörüne ait AR modelinin üçgen elemanlarla bölmelenmiş hali	53
Şekil 3.23. Direnç hesabı	53
Şekil 3.24. Dinamik modelde kuru band oluşumu	55
Şekil 3.25. ATLAMA programının akış diyagramı	57
Şekil 4.1. Yapay sinir ağı çalışma akış şeması.....	59
Şekil 4.2. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA.....	60
Şekil 4.3. Geri beslemeli 2 katmanlı YSA	61
Şekil 4.4. Gauss merkezcil taban fonksiyonu	62
Şekil 4.5. Gauss merkezcil taban fonksiyonlu bir ağ yapısının gizli katmanında k. nöron	63
Şekil 4.6. 2 girişli ve 3 gizli nörona sahip bir gauss merkezcil taban fonksiyonlu YSA....	63
Şekil 4.7. Dinamik sinir ağlarında kullanılan nöronların yapısı	64
Şekil 4.8. Dinamik ağ birimlerinin katman oluşturmaları	65
Şekil 4.9. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA sinyal akış şeması.....	69
Şekil 5.1. E izolatörü için sızma aralığı üzerinde alınan noktalar.....	84
Şekil 5.2. E izolatörüne ait sonlu eleman bölmelemesi	85
Şekil 5.3. B izolatörüne ait sonlu eleman bölmelemesi	85
Şekil 5.4. Hesaplanan a.a. atlama gerilimi değerleri (bir eleman için)	86
Şekil 5.5. Hesaplanan a.a. atlama gerilimi değerleri (tüm zincir için).....	87
Şekil 5.6. C izolatörü için alan şiddetinin sızma aralığı boyunca değişimi	87
Şekil 5.7. İzolatör tipine göre atlama gerilimleri (bir eleman için).....	88
Şekil 5.8. Hesaplanan d.a. atlama gerilimi değerleri (bir eleman için).....	89
Şekil 5.9. Hesaplanan d.a. atlama gerilimi değerleri (tüm zincir için)	89
Şekil 5.10. C izolatörü için a.a. atlama gerilimi değerlerinin karşılaştırılması (9 elemanlı zincir için)	90
Şekil 5.11. B izolatörü için a.a. atlama gerilimi değerlerinin karşılaştırılması (7 elemanlı zincir için)	91
Şekil 5.12. C izolatörü için d.a. atlama gerilimi değerlerinin karşılaştırılması (9 elemanlı zincir için)	91

Şekil 5.13. B izolatörü için d.a. atlama gerilimi değerlerinin karşılaştırılması (bir eleman için)	92
Şekil 5.14. 886 iterasyon için YSA ‘nın eğitim süreci.....	97
Şekil 5.15. İzolatörün YSA modelinin testi için kullanılan izolatörler.....	98
Şekil 5.16. İzolatörün YSA modelinin elde edilme başarımı.....	99
Şekil 5.17. İzolatörün YSA modelinin deneysel sonuçlarla [83] karşılaştırılması	99
Şekil 5.18. İzolatörün YSA modelinin diğer bir model sonuçlarıyla [83] karşılaştırılması 100	
Şekil 5.19. I izolatörü için YSA modelinin deneysel sonuçlarla [83] karşılaştırılması	100
Şekil 5.20. II izolatörü için YSA modelinin deneysel sonuçlarla [83] karşılaştırılması.....	101
Şekil 5.21. III izolatörü için YSA modelinin deneysel sonuçlarla [83] karşılaştırılması ...	101
Şekil 5.22. IV izolatörü için YSA modelinin deneysel sonuçlarla [83] karşılaştırılması ...	102
Şekil 5.23. V izolatörü için YSA modelinin deneysel sonuçlarla [83] karşılaştırılması ...	102
Şekil 5.24. VI izolatörü için YSA modelinin deneysel sonuçlarla [83] karşılaştırılması ...	103
Şekil 5.25. VII izolatörü için YSA modelinin deneysel sonuçlarla [83] karşılaştırılması..	103

TABLÖLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Atlama olayının gelişimi.....	5
Tablo 2.2. Kirlenme şiddeti seviyeleri ve örnekler.....	12
Tablo 2.3. Yapay kirlenme seviyelerine göre minimum anma özgül yüzeysel kaçak yolu uzunlukları.....	12
Tablo 2.4. Yapay kirlenme deneylerine ilişkin faz-toprak geriliminde dayanım şiddeti değerleri	16
Tablo 4.1. YSA ‘nın güç sistemlerindeki örnek uygulama alanları	72
Tablo 5.1. Atlama gerilimleri hesaplanan izolatörlerin karakteristik değerleri	84
Tablo 5.2. Bu çalışmada kullanılan YSA modelinin yapısı ve eğitim parametreleri.....	93
Tablo 5.3. Test için kullanılan izolatörlerin karakteristik değerleri	98

EKLER LİSTESİ

EK – 1 Hesaplamalarda kullanılan izolatörler



SİMGELER LİSTESİ

a	: Modelin eni (mm)
$A_{,n}$	: Deşarj sabitleri
d_{eff}	: Efektif izolatör çapı (mm)
dl	: Sızma boyunca uzunluk elemanı
H	: İzolatörün yüksekliği (mm)
D	: İzolatör çapı (mm)
n	: Zincir sayısı
d	: Diş sayısı
I	: Akım (A)
J	: Akım yoğunluğu (A/cm^2)
L	: Sızma (kaçak) uzunluğu (mm)
L_a	: Kuru band uzunluğu (mm)
R	: Deşarja seri kir bölgesi direnci ($k\Omega$)
r_d	: Deşarj kökü yarıçapı (mm)
ρ_s	: Yüzey tabakasının özdirenci ($\Omega mm^2/m$)
h	: Kir tabakasının kalınlığı (mm)
σ_c	: Soğuk yüzeysel iletkenlik (S)
σ_s	: Kir tabakasının öziletkenliği (μS)
V	: Uygulanan gerilim (V)
V_d	: Dayanım gerilimi (kV)
V_e	: Deşarj anod ve katod gerilim düşümleri toplamı (V)
X	: Deşarj boyu (cm)
E	: Elektrik alanı (V/cm)
r	: Efektif özdirenç ($k\Omega/cm$)
X_c	: Kritik deşarj uzunluğu (cm)
I_c	: Kritik akım (mA)
V_c	: Kritik gerilim (kV)
η	: Öğrenme oranı
α	: Momentum sabiti
W_{ji}	: i nöronu ile j nöronu arasındaki bağlantı ağırlığı
N_i, N_j	: Farklı katmanlardaki nöronların sayısı
E_p	: Tüm giriş-çıkış örnekleri için hatanın ayrıntılı ölçümü

KISALTMALAR LİSTESİ

SEY	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
YSA	: Yapay sinir ağları
SOR	: Successive Over Relaxation
YG	: Yüksek gerilim
A.a.	: Alternatif akım
D.a.	: Doğru akım
AR	: Rumeli modeli
RW	: Wilkins modeli
ESDD	: Equivalent Salt Density Deposit (Eşdeğer Tuz Yoğunluk Tortusu)



ÖZET

Doktora Tezi

YÜKSEK GERİLİM İZOLATÖRLERİNDE ATLAMA OLAYININ YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK İNCELENMESİ

Muhsin Tunay GENÇOĞLU

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
2003, Sayfa: 112

Yüksek gerilimli iletim hatlarında kullanılan izolatörlerde görülen kirlenme atlama, enerji iletiminde karşılaşılan en önemli problemlerden biridir. İzolatörün kompleks şeklinden dolayı modelini çıkarmadaki zorluk, farklı bölgelerin farklı kir yoğunlukları, izolatör yüzeyinde biriken kir tabakasının homojen olmayışı ve nemin kir üzerindeki etkisinin tam olarak anlaşılabilmesi gibi nedenlerle kirlenme atlama problemi oldukça karmaşık bir hale gelmektedir. Kirli izolatörlerin atlama gerilimlerinin önceden belirlenmesi amacıyla, bazı kabuller ve ihmallere yapılarak çeşitli statik ve dinamik modeller geliştirilmiştir. Statik modeller, kuru band oluşumundan sonra meydana gelen kısmi arkı statik olarak dikkate aldıklarından, kesin sonuçları önceden belirlemek için uygun değildir. Deşarj parametrelerindeki ani değişikliklerin atlama gerilimi üzerindeki etkisini göz önüne alan dinamik modeller, atlama olayını statik modellerden daha iyi temsil ederler.

Bu çalışmada kirlenme atlamasının tanımı, fiziksel mekanizması ve önemi açıklanarak, izolatör eşdeğer modelleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca yapay sinir ağları detaylı olarak araştırılmıştır. İncelenen izolatörlerin ölçekli şekilleri üçgen elemanlara bölünerek, Sonlu Elemanlar Yöntemi uygulanmış ve izolatör yüzeyindeki potansiyel dağılımı, kir direncinin değişimi ve atlama gerilimi, geliştirilen yeni bir dinamik ark modeli üzerinden hesaplanmıştır. Seçilen on zincir tipi izolatörün atlama gerilimi karakteristikleri, doğru ve alternatif gerilimler için hesaplanarak diğer araştırmacıların elde etmiş oldukları sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Hesaplanan değerlerle eğitilen ve diğer araştırmacıların deneysel sonuçlarıyla test edilen yapay sinir ağı yardımıyla izolatörlerin kirlenme atlama davranışları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler : İzolatör, Kirlenme atlama, Kir direnci, Atlama gerilimi, Dinamik ark modeli, Yapay sinir ağları.

ABSTRACT

PhD Thesis

INVESTIGATION OF FLASHOVER PHENOMENA ON HIGH VOLTAGE INSULATORS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Muhsin Tunay GENÇOĞLU

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering
2003, Page: 112

Pollution flashover, observed on insulators in high voltage transmission, is one of the most important problem for power transmission. Pollution flashover is a very complex problem, because of the modeling difficulties of the insulator complex shape, different pollution density at different regions, non-homogenous pollution distribution on the surface of insulator and unknown effect of humidity on the pollution. In literature, some static and dynamic models were developed by making some assumptions and neglections to predict the flashover voltages of polluted insulators. Static models, which take the partial arc observed after the dry band existence into account statically; are not suitable for exact prediction. Dynamic models, which take the effect of instant variations of discharge parameters on flashover voltage into account, represents flashover event better than static models.

In this study after presenting the definition, physical mechanism and importance of pollution flashover, insulator equivalent models are investigated and the models are compared. Artificial neural networks are also given in detail. For this purpose, concerned insulators' scaled shapes are partitioned into triangular elements, then Finite Element Method is implemented and finally potential distribution on the surface of insulator, variation of pollution resistance and flashover voltage are determined with the help of developed new dynamic arc model. The computed flashover voltage characteristics of selected ten types of string insulators have been compared with the results obtained by other researchers for direct and alternative voltages. Insulator pollution flashover behaviour has been investigated by using Artificial Neural Networks and the obtained results are verified by other researchers' experimental results.

Keywords : Insulator, Pollution flashover, Pollution resistance, Flashover voltage, Dynamic arc model, Artificial neural networks.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
EĞİTİM POLİTİKASI VE YATIRIM BAKANLIĞI

1. GİRİŞ

Kirlenme, yüksek gerilim izolasyon cihazlarının çalışmasında ve tasarımında dikkate alınması gereken en önemli olaylardan biridir. Çevresel şartlar altında, izolatör yüzeyinde bir kir tabakası oluşur. Bu kir tabakası; sis, yağmur veya çiğ tortusundan dolayı nemlendiğinde ıslak iletken bir film tabakasına dönüşür ve bir sızma akımı akmaya başlar. Sızma akımının kesilmesi, yüzeyde arklara sebep olan kuru bandların oluşumunu sağlar. Arklar ıslak yüzey boyunca aniden uzayarak tam bir atlamaya yol açabilir [1].

Kirlenmiş iletim hattı izolatörlerinde atlama, güç mühendislerinin karşılaştığı büyük bir problemdir. Kirli şartlar altında izolatörlerin performansları, güç iletim hatlarında izolasyonun ölçeklendirilmesinde ve tasarımında kullanılan kılavuz faktörlerden birini teşkil eder [2].

Hem açık arazide, hem de laboratuvarlarda d.a. 'daki atlama geriliminin a.a. 'dan oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. Çünkü, d.a. 'da tek yönlü elektrostatik kuvvetten dolayı, havada uçuşan kirletici maddelerin izolatör yüzeyine çekimi a.a. 'dakinden daha büyüktür. Ayrıca, d.a. 'daki akımın sıfır geçiş eksikliği daha küçük bir atlama gerilimine neden olur [3].

Karmaşık ön deşarj olaylarının son aşaması, a.a. altındaki kirli bir izolatörde tam atlama oluşmasıdır. Rahal 'a [4] göre, a.a. atlama mekanizmaları üç ayrı durum sergiler:

- a) Kir bandının ani atlaması,
- b) Akımın her sıfır geçişinde oluşan, arkın tekrar tutuşma probleminin olduğu durumda, birkaç ardışık gerilim periyodu üzerindeki atlamalar,
- c) Yüzey tabakası iletkenliğinin artması sonucu ısınma etkisine rağmen, uygulanan gerilimin atlamaya yol açmak için yetersiz olduğu, atlamanın olmadığı durum.

Alternatif akımda dinamik elektrik alanı özelliği gösteren kirlenme probleminin incelenmesi için, potansiyel dağılımının belirlenmesi ve buna bağlı olarak ark 'a seri kir direnci değerlerinin hesaplanması gereklidir. Ayrıca bilgisayarla modelleme ve sayısal yöntemler kullanılarak kirliliğin direnç değişimine etkileri ve böylece izolatörün işletme şartları altında göstereceği performans incelenmelidir.

Alan dağılımlarının incelenmesi için geliştirilen sayısal yöntemlerden biri olan Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY), son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntemin uygulanmasında problem bölgesinin, özellikle eğrisel kenarlı ve karmaşık yapıların üçgen, dörtgen, izoparametrik vb. elemanlar ile tanımlanabilmesi hesaplamalarda kolaylık, hız ve doğruluk açısından önemli üstünlükler sağlar. Yöntemin en önemli olumsuz tarafı, problem bölgesiyle ilgili giriş verilerinin hazırlanmasındaki zorluktur.

Gerçek deneysel şartları dikkate alabilen kirli izolatör atlama modellerinin geliştirilmesi, atlama olayının karmaşıklığından dolayı oldukça zordur [5]. Gerçekten; ıslanma, kuruma ve

tortuların düzensizliği sonucu oluşan kir dağılımındaki düzensizlik, önce kuru bandların ve daha sonra da arkların oluşmasına yol açar. Bununla birlikte, kirlenmiş izolatörlerin kritik karakteristiklerini (atlama gerilimi, kritik uzunluk, sızma akımı vb.) yaklaşık olarak belirten modelleri kurmak için pek çok deneme yapılmıştır. Bu modellerin geliştirilebilmesi için tek baskın ark, düzenli kir dağılımı, düzenli ıslanma ve arkın sadece düzenli kirlenmiş bir yüzey üzerinde hareket ettiği kabulleri yapılmıştır.

Araştırmacılar, uzun yıllar kirlenme atlama problemi çözebilmek için izolatörleri statik modellerle temsil etmeye çalışmışlardır. Statik modeller, izolatör yüzeyinde oluşan arkların, model parametrelerinde oluşturacağı değişikliklerin etkisini dikkate alamazlar. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için, özellikle son yıllarda dinamik modeller geliştirilmiştir.

Teknolojinin yazılım ve donanım geliştirme ortamları üzerinde tasarımcıya sunmuş olduğu imkanların gün geçtikçe çeşitlilik kazanması karmaşık sistemleri ortaya çıkarmış ve bu durum, gerek çözümü aranan problemlerin matematiksel modellerinin geliştirilmesini, gerekse bu problemlere önerilen çözümlerde istenen hassasiyetin ve bozucu çevresel etkenlere karşı duyarsızlık özelliğinin kazanılmasını güçleştirmiştir. Bu anlamda yapay sinir ağları (YSA) 'nın kullanımı ile önerilebilecek çözümlerin istenen özellikleri taşıyor olmaları, bu yaklaşımları bir çok alanda tercih edilen yöntemler haline getirmiştir.

Bu çalışmanın amacı; izolatörlerin eşdeğer modellerinden yararlanarak, kirlenme altındaki atlama davranışlarını yapay sinir ağlarını da kullanarak incelemektir. Bu amaçla, ark uzunluğunu ve ark 'a seri kir direnci değişimini dikkate alan ve arkın yayılımında alan kriterini kullanan dinamik bir model geliştirilmiştir. Çalışmada izlenen adımlar aşağıda verilmiştir.

- Ölçekli olarak çizilen izolatörün üçgen elemanlara ayrıştırılması
- İncelenen izolatörün sızma aralığı üzerindeki noktalarının belirlenmesi
- Üç boyutlu izolatör şeklinden iki boyutlu AR modeline geçilmesi
- İzolatörün dinamik ark modelinin elde edilmesi
- Model üzerinde ark 'a seri kir direncinin SEY ile hesaplanması
- Direnç değerlerinden yararlanarak atlama gerilimlerinin bulunması
- Elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla karşılaştırılması
- SEY ile bulunan sonuçlar kullanılarak eğitilen ve deneysel sonuçlarla test edilen YSA ile atlama gerilimlerinin bulunması.

2. İZOLATÖRLERDE ATLAMA OLAYININ GENEL TEORİSİ

2.1. İzolatörlerde Fiziksel Kirlenme

Kirlilik, izolatör yüzeyindeki iletkenliği artırarak izolatör performansını düşüren ve zaman zaman arızalara yol açan bir etkidir. Atlamaya yol açacak kadar fazla kirle kaplı izolatörler çok yakından bakılsa bile temiz görülebilir veya endüstriyel tozlar ile ağır biçimde kirlenmiş izolatörler, elektriksel bakımdan yeni izolatör gibi davranabilir. Bunun nedeni atlamaya sebep olan yüzey iletkenliğinin miktar yönünden önemsiz olmasıdır. Atlama, tuz ya da endüstriyel asit gibi kirlerin suyla çözünmesiyle meydana gelir. İzolatör yüzeyindeki artıklar performansı önemli ölçüde etkiler. Deniz ve göl tuzları, petrokimya endüstrisi artıkları ve asit üreten tesis artıkları gibi suda çözünen kirler atlama açısından daha önemlidir. Hem çözünen, hem de çözünmeyen kirler harekete geçmek için su gerektirirler. Karbon, bazı metal oksitler veya metal içeren tozlar su yokken dahi iletken hale gelebilirler.

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

İzolatör yüzeyinin kirlenmesinde, aerodinamik tutulma en önemli etkidir. Havada asılı parçacıklar izolatör yüzeyine aktığında, izolatör şekline bağlı olarak özellikle akışın ikiye ayrıldığı noktalarda oluşan durgun bölgelerde ve daha ağır olan parçacıklar girintilerde tutulurlar [6].

2.2. Kirlenme Atlaması

Yüksek gerilim harici tip izolatörler; kıyıya yakın bölgelerde tuzdan, endüstriyel alanlarda toz ve kimyasal artıklardan dolayı kirlenmeye maruz kalırlar. Böyle bir izolatör kuru iken çok küçük bir kapasitif kaçak akım geçer ve gerilim dağılımı basit olarak elektrostatik alanla tanımlanır. Kir tabakasının yağmur, sis, rutubet vb. etkenlerle ıslanması sonucu iletken hale gelen kirli yüzey boyunca akan kaçak akımlar yüzeyde enerji kaybına sebep olurlar. Enerji kayıp yoğunluğunun büyük olduğu, özellikle izolatörün dar kısımlarındaki kirli bölgeler daha fazla ısınarak kurur ve "kuru band" denilen kısımların oluşmasına yol açarlar. Bunun sonucunda yüzey boyunca gerilim dağılımı bozularak, homojen olmayan bir yapıya dönüşür. Kuru band bölgelerindeki gerilim düşümü havanın dayanımını aşınca ön deşarjlar oluşur. Ön deşarjlar yoğunlukla söner; bazı şartlarda ise, yüzeye yayılarak kısa devre ile sonuçlanan atlama olayını meydana getirirler. Atlama sonucu meydana gelen yüksek akımlı ark enerjinin kesilmesine,

birçok izolatörün tahrip olmasına ve hatta enerji nakil hattının eriyerek kopmasına sebep olabilir.

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

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

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

Pratikteki gözlemlerden izolatör yüzeyinde kaçak akımın 100-200 mA değerine ulaşması halinde atlamanın meydana geldiği görülmüştür. Ancak sızma akımının değeri ile atlamanın meydana gelip gelmeyeceği arasında kesin bir bağıntı kurmak mümkün değildir [7].

2.3. Atlama Gelişiminin Fazları

Yüksek iyonizeli arkın tamamlanması Tablo 2.1 'de özetlenen birkaç aşamada meydana gelir. Bu durum Şekil 2.1 'de şematik olarak açıklanmıştır.

Atlama aşamaları şunlardır :

- 1- Yüzey tabakasının ısınması, iletkenlik ve akımın artmasına sebep olur (Şekil 2.1.a).
- 2- Devam eden ısı, yüzey tabakasında kısmi kurumalara yol açar (Şekil 2.1.b-c).
- 3- Daha fazla ısınma, kuru bandlar oluşturur (Şekil 2.1.d).

4- Kuru bandlar üzerinde düzensiz hava kırılımı nedeniyle, 4 kV/cm 'lik alan şiddetlerinde, kısmi arkların başlaması kirli izolatörlere has bir davranıştır. Yerel ısı konsantrasyonu, kısmi arkların pozisyonlarını kuru bandlar boyunca yana doğru değiştirmelerine sebep olur (Şekil 2.1.d-e-f). Ark sönümü, parıltı başlangıcı ve kuru bölgeler üzerinde hareketlideşajların başladığı yerler en yüksek gerilim değişimlerine sahiptir. Bu safha kirli izolatörlerden yayılan yoğun radyo gürültülerinin sebebi olup, şekilde gösterilmemiştir.

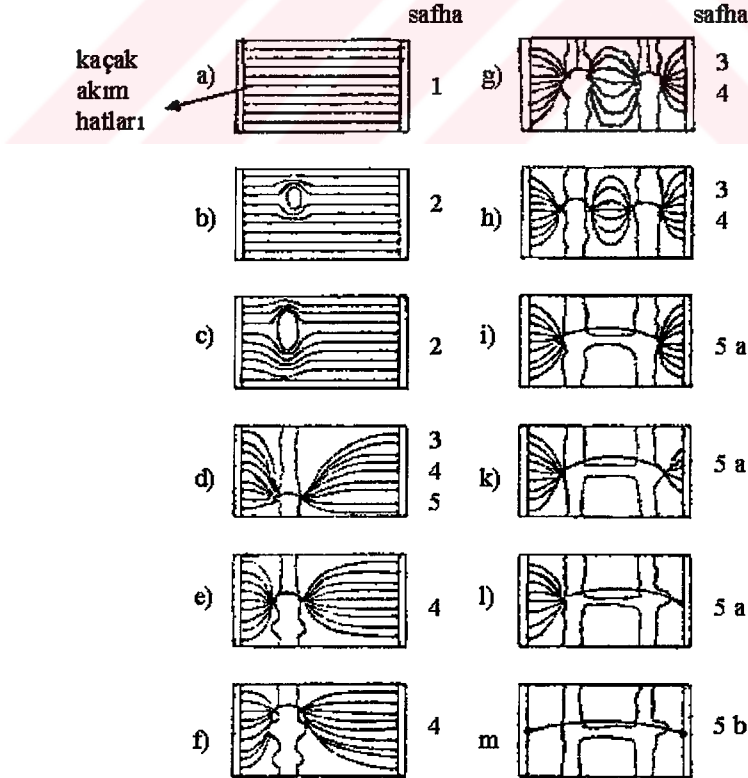
5.a- Birçok kısmi arkın birleşmesiyle, izolatörü kaplayan bir tek büyük ark oluşur. Bu ark ısı etkisi ile değişik yönlerde yayılır (Şekil 2.1.i). Bu arada ark sönümü ve dolayısıyla ikinci safhaya dönüş olabilir.

5.b- Ark uçlarının ıslak iletken tabaka boyunca hızlı süpürme hareketi, arkın tamamlanmasına ve atlamaya götürebilir (Şekil 2.1.m). Sızma aralığının köprülenen son kısmı kuru bir yol izlemez.

İlk dört safha kolayca anlaşılır, dakikalar veya saatlerce sürebildiklerinden gözlenmeleri kolaydır. Son safha ise, her cm için birkaç yüz voltluk gerilimlerde sızma aralığı boyunca istenmeyen atlamalara sebep olur. Son safhanın ilk kısmı ısı hareketleriyle değerlendirilebilir. Sızma aralığı boyunca izolasyon dayanımını 200-400 V/cm 'ye düşüren de bu son safhadaki ark uçlarının hızlı süpürme hareketidir. Son safha elektrotlar arasındaki ark nedeniyle izolasyon şiddetinin düşmesinin sebebidir [8].

Tablo 2.1. Atlama olayının gelişimi

	Safha	Kir tabakası	Deşarj şekli	Akım
1	Yüzey tabakası ısınır	İletkenlik artar	Yok	Artar
2	Yüzey tabakası kurur	İletkenlik kısmen azalır	Yok	Azalır
3	Kuru band şekillenir	Enine kısmi kuruma	Yok	Sıfır
4	Kısmi ark tutuşması	İletkenlik azalır	Enine ark	Yavaş artar
	İşilti ve buhar deşarjı	İletkenlik artar	İşilti ve parazit	Küçük ve dalgalı
5.a	Ark büyümesi			
1°	Isıl	Kuru band daha büyür	Ark büyür	Yavaş artar
2°	Elektrostatik	Artık kurumaz	İzolatörde atlama	Hızla artar
5.b	Atlama	Kısmen kurumuş	Ark	Kısa devre



Şekil 2.1. Kirlenme atlamasının safhaları

2.3.1. Deşarj Safhaları

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

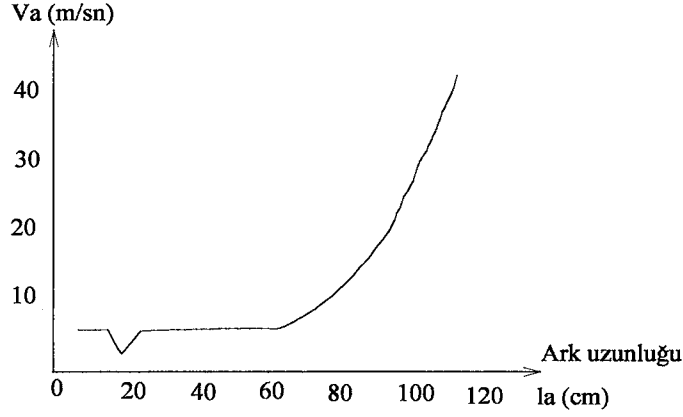
- a- Ark ısı etki ile yanlara doğru hareket eder, uzunluğu azalır (Şekil 2.1.e-f).
- b- Arkın uzunluğu artabilir.
- c- Ark deiyonize olup akım geçici veya kalıcı olarak kesilebilir. Bu ihtimal Tablo 2.1 'de açıklanan 4. safhadır.

2.3.2. Ark Büyümesi

Homojen alanlarda 30 kV/cm, homojen olmayan alanlarda ise 2-4 kV/cm seviyesinde dielektrik delinme olur. Kuru band oluşumu ve ardından ark köprülenmesi arkın nasıl meydana geldiğini açıklayabilir. Böyle birkaç ark birbiriyle birleşerek daha uzun bir ark oluşturabilir (Şekil 2.1.h-i).

Bu birleşme yavaş olur ve göz veya kamerayla izlenebilir. Hem birleşme ve hem de uzama akımın ısıl etkilerinden dolayı oluşur. Ark büyümesinin ilk safhası uç kurumalarıyla ilgilidir (Şekil 2.1.k). Isıl etkilerle ark büyüdüktan sonra, sızma aralığının kalan kısmı da köprülenir (Tablo 2.1 'de 5.b safhası) ve ark, kuru bandlar oluşturmaksızın yüzey boyunca büyür (Şekil 2.1.l-m). Bu hızlı süpürme, gerilimin yarı periyodunda olur ve gözle takibi mümkün değildir.

Arkın yüzey boyunca yayılma hızı değişik tekniklerle ölçülmüştür. Şekil 2.2, atlama gelişiminin son safhasının tipik bir eğrisini verir. Tablo 2.1 'deki 4,5.a ve 5.b safhaları kolayca görülebilir. Ark boyundaki ani artış 5.a 'dan 5.b 'ye geçişin işaretidir. İzolasyon seviyesini çok hızlı düşüren, bu son geçiş safhasıdır.



Şekil 2.2. Ark büyümesinin değişik safhalarında ark hızı

Bu işlem aşağıda açıklanmıştır :

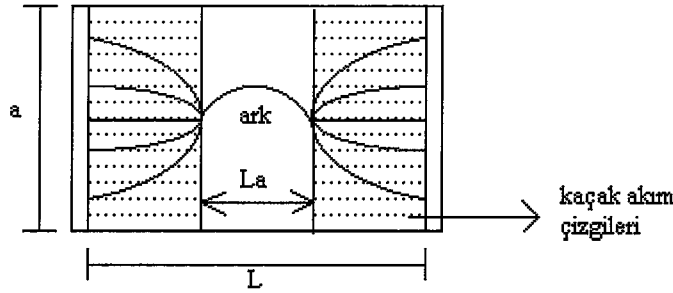
Şekil 2.3, başlangıçta homojen kirle kaplı olan, daha sonra kuru band oluşup ark ile köprülenen düz bir yüzeyde tutuşan arkın idealize edilmiş bir modelidir. Birçok araştırmacı bu modeli farklı yaklaşımlarla kullanıp, aynı sonuçlara ulaşmışlardır. Yapılan kabuller şunlardır :

- 1- Ark uzunluğu kuru band uzunluğuna (L_a) eşittir.
- 2- Kir direnci R , sadece yüzey tabakasının arksız kısmının bir fonksiyonudur. Yani, $R=R(L_a)$ ve $(\partial R/\partial L_a) < 0$ dır.
- 3- İncelemenin çok kısa bir zaman aralığında yapıldığı kabulüyle tabakanın ısınması ve nem değişimi ihmal edilmiştir.
- 4- Ark uçlarındaki düzensiz akım yoğunluğu dağılımının etkisi ihmal edilmiştir.

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

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

olur.



Şekil 2.3. Bir kısmi ark deşarjı için ideal model

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

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

$$U = I \cdot R_C (L - L_a) + A \cdot I^{-n} \quad (2.3)$$

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

Denklem (2.3) ile verilen fonksiyon, Şekil 2.4 'de şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde U_a , L_a uzunluğundaki arkın üzerinde düşen gerilim; U_1 , $(L-L_a)$ uzunluğundaki tabakada düşen gerilim; U_m , sabit bir L_a uzunluklu arkın devamı için gerekli minimum gerilim ve U , atlama gerilimidir.

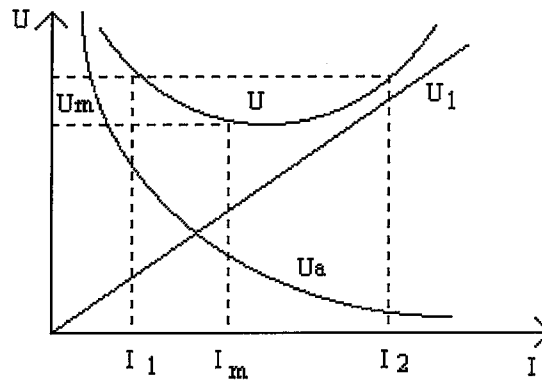
Uygulanan gerilim U_m değerinden aşağı düşerse ark söner. Bu minimum gerilim için böyle bir şartı gerçekleyen I_m akımı, U 'nun I 'ya göre türevi alınıp sıfıra eşitlenerek bulunabilir.

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

I_m 'nin bu değeri denklem (2.3) 'de yazılarak,

$$U_m = (1+n)(A \cdot L_a)^{\frac{1}{n+1}} \left[\frac{R_C (L - L_a)}{n} \right]^{\frac{n}{1+n}} \quad (2.5)$$

elde edilir [9].



Şekil 2.4. İdeal modelin gerilim eğrileri

2.4. Atlama Denklemi

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

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

ve yüzey özdirenci

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

ile verilmiştir.

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

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

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

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

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

Bu durumda kir tabakasının direnci

$$R = \frac{1}{\sigma_s} \cdot F \quad (2.10)$$

ile bulunur.

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

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

Y. C. YÜZGEÇLİ
EĞİTİM VE ARAŞTIRMA
MERKEZİ

ile bulunur.

Nümerik yöntemler kullanılarak, kuru band oluşumundan hemen önceki yüzeysel iletkenlik dağılımı ve görülebilir yüzeysel iletkenlik değerleri, tuz tortusu yoğunluğu, kir tabakasının kalınlığı, izolatör geometrisi ve muhtemel sıcaklık dağılımı bulunabilir [10].

Analitik çalışmalarda atlama problemi, çoğunlukla Şekil 2.3 'de gösterildiği gibi homojen kirle kaplı iki elektrotlu düzlemsel bir model üzerinde, bir doğru boyunca yayılan bir veya çok sayıda deşarjla temsil edilir. Uygulanan gerilim V , deşarjlar boyunca toplam gerilim düşümü $V_a = A \cdot X \cdot I^{-n} + V_e$, deşarjlara seri kir bölgesinde gerilim düşümü $V_R = I \cdot R$ ise

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

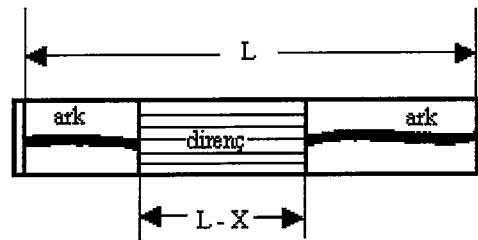
yazılabilir. Bu bağıntıya "atlama denklemi" denir.

Burada X toplam deşarj boyunu, I akımı, V_e elektrotların gerilim düşümünü (sabit), A ve n sabitler olmak üzere $A \cdot I^{-n}$ deşarj gerilim gradyanını göstermektedir. A ve n katsayılarının değerleri deşarjın tuttuğu ortama bağlıdır. İzolatör yüzeylerinde oluşan deşarjların hava ortamında tuttuğu dikkate alınarak, $A \cdot I^{-n}$ deşarj gerilim gradyanı V/cm olmak üzere, $A=63$ ve $n=0.76$ alınmaktadır. R deşarjlara seri toplam kir direncini göstermektedir. R için uygun bir bağıntının bulunması analitik hesaplamalarda karşılaşılan zorluklardan biridir [11].

2.5. Ark Parametreleri ve Efektif Yüzey İletkenliği

Kirli izolatörlerdeki atlama işlemi, kir tabakasına seri bir direnç ve bölgesel bir arkıtan oluşan bir model ile tanımlanmalıdır. Bu atlama işlemi tanımlayan basit bir model Şekil 2.5 'de gösterilmiştir.

Atlamanın analizi için bölgesel arkın karakteristikleri ve yüzey iletkenliği doğru olarak tanımlanmak zorundadır. Bu amaçla, kirli bir izolatör yüzeyi boyunca gelişen d.a. ve a.a. arklarının gerilim-akım karakteristikleri Zhicheng [12] tarafından dikkatlice ölçülmüştür [13].



Şekil 2.5. Kirli atlama modeli

Deneyisel datalara göre ark karakteristikleri

$$U_a = \begin{cases} 138XI^{-0.69} & d.a. \\ 140XI^{-0.67} & a.a. \end{cases} \quad (2.13)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada U_a ark gerilimi (volt), I ark akımı (amper) ve X ark uzunluğudur (cm).

İzolatörde biriken kir tabakasının yüzey iletkenliğinin, arkın büyümesi ile değiştiği belirlenmiştir. Atlama gerilimi, kritik momentte tabaka iletkenliğine bağlıdır. γ_e , kritik momentteki yüzey iletkenliğini ifade etmek için kullanılmıştır. γ yüzey iletkenliği sıradan bir metod ile ölçülmüştür. Ark büyümesi ile γ 'nın değişimini tanımlayan deney sonuçlarına göre, γ_e ile γ arasındaki ilişki

$$\gamma_e \cong 1.25 \gamma \quad (2.14)$$

şeklinde ifade edilebilir. Kirli bir izolatörün atlama gerilimini hesaplamak için γ 'dan ziyade γ_e kullanılmalıdır [13].

2.6. Kirlenme Şartlarına Göre İzolatörlerin Seçim Kriterleri

İşletmede ve pek çok deney sonuçlarında, tabii veya yapay kirlenme şartlarında kazanılan deneyimlere dayanan bilgiler ve kirli şartlarda yeterli performansı verecek izolatör seçimine yardım eden basit genel kurallar, genellikle izolatörün kendi tasarımını sınırlamayan diğer bir kaç geometrik parametre ile en küçük yüzeysel kaçak yolu uzunluğu şartlarına dayandırılır. Böylece, izolatörlerin tesis edilecekleri yerlerde önceden verilen zorluklara dayanarak izolatör seçimi için kolay bir yöntem sağlanır [14].

2.6.1. Kirlenme Şiddeti Seviyeleri

Standartlaştırma amacı ile, nitelik olarak hafif kirlenmeden çok ağır kirlenmeye kadar kirlenmenin dört seviyesi belirtilmiştir. Tablo 2.2 'de çeşitli kirlenme seviyeleri için örnekler verilmiştir.

Tablo 2.2 'de belirtilen her bir kirlenme seviyesi için uygulanan en yüksek gerilim ile ilişkili minimum anma özgül yüzeysel kaçak yolu uzunluğu Tablo 2.3 'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Kirlenme şiddeti seviyeleri ve örnekler

Kirlenme seviyesi	Tipik çevre örnekleri
Hafif	- Sanayi tesisi bulunmayan ve ısıtma tesisleri ile donatılmış, mesken yoğunluğu az olan alanlar - Sanayi tesisleri ve mesken yoğunluğu az olan, ancak sık sık rüzgara ve/veya yağmura maruz kalan alanlar - Tarım alanları - Dağlık alanlar (Bütün bu alanlar denizden en az 10-20 km uzaklıkta olmalı ve denizden gelen rüzgarlara açık olmamalıdır).
Orta	- Özellikle kirlenici duman oluşturmeyen sanayi tesisleri ve/veya ısıtma tesisleri ile donatılmış, mesken yoğunluğu ortalama değerde olan alanlar - Mesken ve/veya sanayi tesisi yoğunluğu yüksek, ancak sık sık rüzgara ve/veya yağmura maruz kalan alanlar - Denizden gelen rüzgarlara açık, ancak sahile çok yakın olmayan alanlar (en az bir kaç km uzaklıkta)
Ağır	- Kirlilik üreten ısıtma sistemlerinin yüksek yoğunlukta olduğu büyük şehirlerin banliyöleri ve sanayi tesisleri yoğunluğu yüksek olan alanlar - Denize yakın veya denizden gelen oldukça kuvvetli rüzgarlara açık olan alanlar
Çok ağır	- İletken tozlara ve özellikle kalıcı iletken birikintiler oluşturan endüstriyel dumana maruz kalan, genellikle ılımlı uzantısı olan alanlar - Sahile çok yakın ve deniz püskürtmesine veya denizden esen çok kuvvetli ve kirlenici rüzgarlara açık olan alanlar, genellikle ılımlı uzantısı olan alanlar - Kum ve tuz taşıyan kuvvetli rüzgarlara açık olan, düzenli yağmura maruz kalan ve yağmur düşümü uzun periyotlarla nitelenen çöl alanları

Tablo 2.3. Yapay kirlenme seviyelerine göre minimum anma özgül yüzeysel kaçak yolu uzunlukları

Kirlenme seviyesi	Minimum anma özgül yüzeysel kaçak yolu uzunluğu (mm/kV)
Hafif	16
Orta	20
Ağır	25
Çok ağır	31

Kirlenmenin belirli çeşitleri için özel olarak şekillendirilmiş bazı izolatorler, işletmede istenilen yeterlikte performans göstermelerine rağmen, bu şartları sağlamayabilirler.

İşletme tecrübesine bağlı olarak çok hafif kirli alanlarda 16 mm/kV 'dan daha küçük anma özgül yüzeysel kaçak yolu uzunlukları kullanılabilir. 12 mm/kV alt bir sınır olarak görülebilir. İstisnai kirlenme şiddeti durumunda, 31 mm/kV 'luk bir anma özgül yüzeysel kaçak yolu uzunluğu yeterli olmayabilir. İşletme deneyimine ve/veya laboratuvar deney sonuçlarına bağlı olarak, özgül yüzeysel kaçak yolu uzunluğunun daha yüksek bir değeri kullanılabilir.

Faz-toprak arasına tesis edilen bir izolatörün anma yüzeysel kaçak yolu uzunluğu, tesis yerindeki kirlenme seviyesine göre aşağıdaki ifade ile belirlenir.

En küçük anma yüz.kaç.yolu uzun. = En küçük özgül yüz.kaç.yolu uzun. * k_D

Burada k_D , çaptan kaynaklanan düzeltme faktörüdür. İzolatörler fazlar arasında kullanılırsa, yüzeysel kaçak yolu uzunluğu üç fazlı sistem için $\sqrt{3}$ ile çarpılmalıdır.

2.6.2. Özgül Yüzeysel Kaçak Yolu Uzunluğu Kavramının Uygulanması

Özgül yüzeysel kaçak yolu uzunluğu kavramını başarılı bir şekilde uygulamak için, izolatörü nitelendiren belli boyutsal parametreler göz önüne alınmalıdır. İşletme deneyimlerine ve laboratuvar deneylerine dayalı olan bu parametreler izolatörün profiline, çapına ve konumuna bağlıdır. Göz önüne alınması zorunlu aşağıdaki parametreler, izolatör tasarımının geleceğe yönelik gelişimini sınırlamayı amaçlamaz. Bu parametreler, işletmede yeterli bir performans sağlamak için esnek olarak yorumlanması gereken bazı şartları basit bir şekilde verir. Deneyimlere dayanılarak elde edilen önemli parametreler aşağıda verilmiştir.

2.6.2.1. Profili Nitelendiren Parametreler

Bir izolatör profili aşağıdaki parametreler vasıtasıyla nitelendirilir.

- Aynı çaplı komşu etekler arasındaki uzaklık (c)
- Etek adımının etek derinliğine oranı (s/p)
- Yüzeysel kaçak yolu uzunluğunun yalıtma aralığına oranı (l_d/d)
- Değişken etekler
- Eteklerin eğimi
- İzolatörün tamamını niteleyen parametreler
 - Yüzeysel kaçak yolu uzunluğu
 - Profil faktörü

2.6.2.2. İzolatör Konumunun Etkisi

İzolatörler eğimli ve yatay konumda kullanıldıklarında, düşey konumda kullanılmak üzere tasarlanmış olan izolatörlerin kirlenme performansında normal olarak bazı değişiklikler olur. Genel olarak bu değişiklikler performansın iyileştirilmesi içindir. Ancak bazı durumlarda yoğun yağmurun kaskat etkisinden dolayı performansda bir azalma olabilir. Önemli derecede iyileştirilmiş performans, belirli veriler ile elde edilmedikçe, konumdan kaynaklanan

performanstaki herhangi bir değişiklik ihmal edilmelidir. İzolatörler eğimli veya yatay bir konumda kullanım için tasarlanmışsa, kirlenme şartlarındaki performans, bunların tasarımılandığı konumlarda laboratuvar veya işletmedeki deneyler ile kontrol edilebilir.

2.6.2.3. Çapın Etkisi

Ortalama çapın artmasıyla, mesnet ve oyuk izolatörlerin kirlenme durumundaki azalan performansını göstermek üzere çeşitli laboratuvar deneyleri yapılır. k_D faktörü, D_m ortalama çap (mm) olmak üzere yüzeysel kaçak yolu uzunluğunu artıran bir faktör olarak önerilmiştir.

- $D_m < 300$ mm ise $k_D=1$
- $300 < D_m < 500$ mm ise $k_D=1.1$
- $D_m > 500$ mm ise $k_D=1.2$

seçilebilir. Bununla birlikte bu değerler, alıştırma yeri sonuçlarına veya laboratuvar deneylerine göre farklı olabilir. Bu nedenle, bu faktör dikkatle kullanılmalıdır.

Verilen bir profil için ortalama çap, aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$D_m = \frac{\int_0^{l_t} D(l) dl}{l_t} \quad (2.15)$$

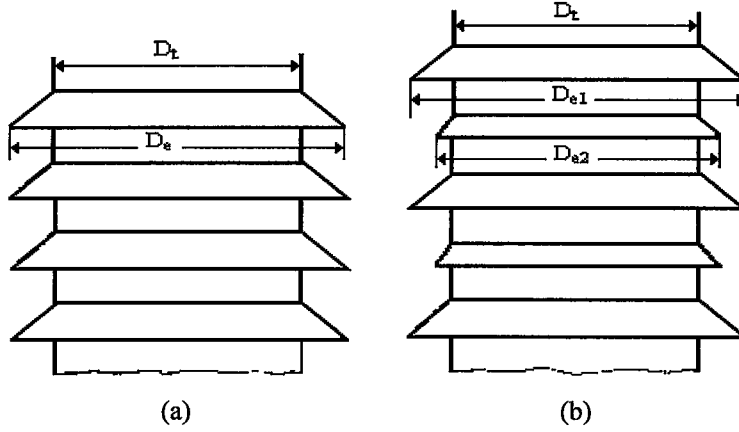
Burada ; l_t izolatörün toplam yüzeysel kaçak yolu uzunluğu ve $D(l)$ bir elektrottan ölçülen, l yüzeysel kaçak yolu uzunluğundaki çap değeridir. (2.15) denklemini genel olarak, aşağıdaki basit bağıntılar ile yaklaşık olarak hesaplanabilir.

1) Düzenli etekler için, (şekil 2.6.a)

$$D_m = \frac{D_e + D_i}{2} \quad (2.16)$$

2) Değişken etekler için, (şekil 2.6.b)

$$D_m = \frac{D_{e1} + D_{e2} + 2D_i}{4} \quad (2.17)$$



Şekil 2.6. (a) Düzenli etekler

(b) Değişken etekler

2.6.3. Kirlenme Şiddetinin Değerlendirilmesi

Kirlenme şiddetinin değerlendirilmesi,

- Tablo 2.2 'de verilen göstergelerden niteliksel olarak,
- Uzmanların değerlendirme yapabilmesi için, kullanılmakta olan hatlardan ve merkezlerden alınan izolatörlerin davranışları ile ilgili bilgilerden,
- Tesis yerindeki ölçmelerden

yapılabilir. Tesis yerindeki ölçmelerde genellikle farklı metotlar kullanılır. Bunlar,

- 1) Yönlendirilmiş ölçü aletleri vasıtasıyla toplanan kirlilik için hacimsel öz iletkenlik metodu.
- 2) İzolatör yüzeyi üzerinde birikmiş eşdeğer tuz yoğunluğu (ESDD-Equivalent Salt Density Deposit) metodu.
- 3) Çeşitli uzunluklardaki izolatör zincirlerinin toplam atlama sayısı.
- 4) Numune izolatörlerin yüzey iletkenliği.
- 5) İşletme gerilimine maruz kalan izolatörlerin kaçak akımı (ardışık zaman aralıkları sırasındaki en yüksek akım değerleri).

İlk iki metot pahalı donanım gerektirmez ve kolaylıkla yapılabilir. Hacimsel öziletkenlik metodu, doğal bir tesisteki kirlenme olaylarının şiddeti ve sıklığı hakkında doğrudan bilgi vermez. ESDD metodu, tesis yerindeki kirlenme şiddetini niteler. Islaklıkla ilgili bilgiler ayrıca elde edilmelidir.

Bu metotların doğruluğu, ölçmenin sıklığına bağlıdır. Bununla birlikte ESDD metodunda otomatik bir ölçme sistemi geliştirilmiştir. Böylece kirlenme şiddeti (mesela yıkamanın uygun bir zamanlamasını bulmak için) sürekli olarak ölçülebilir.

Toplam atlama sayısına dayalı metot pahalı deney tesislerini gerektirir. Güvenilir bilgi, sadece gerçek uzunluğa çok yakın bir uzunluğu olan ve işletme gerilimine yakın bir gerilimde atlama yapan izolatörler için elde edilebilir.

Bir güç kaynağı ve özel bir kayıt cihazını gerektiren son iki metot, kirlenme etkilerinin sürekli olarak izlenmesi gibi bir üstünlüğe sahiptir. Bu teknikler, kirlenme oranının ve sonuçlarının değerlendirilmesi için geliştirilmiştir ve kirlenmenin işletme çalışması için hala bilinen bir güvenlik seviyesinde olduğunu veya yıkama veya yeniden yağlamanın gerekli olduğunu göstermek için kullanılırlar.

Tablo 2.4 'de, IEC 507 'de belirtilen deney işlemlerine göre yapılan bazı yapay kirlenme deneylerinden elde edilen değerler aralığı, her bir kirlenme seviyesi için verilmiştir.

Tablo 2.4. Yapay kirlenme deneylerine ilişkin faz-toprak geriliminde dayanım şiddeti değerleri

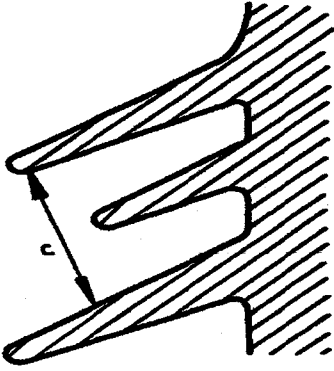
Özgül yüzeysel kaçak yolu uzunluğu (mm/kV)	Yapay kirlenme deneyleri		
	Faz toprak gerilimine dayanma şiddeti değerleri		
	Tuzlu sis metodu (kg/m ³)	Katı kir tabakası metodları	
		Tuz birikintisi yoğunluğu (mg/cm ²)	Kir tabakası iletkenliği (μS)
16	5 – 14	0.03 - 0.06	15 - 20
20	14 – 40	0.10 - 0.20	24 - 35
25	40 – 112	0.30 - 0.60	36
31	>160	-	-

2.7. İzolatör Profilini Niteleyen Parametreler

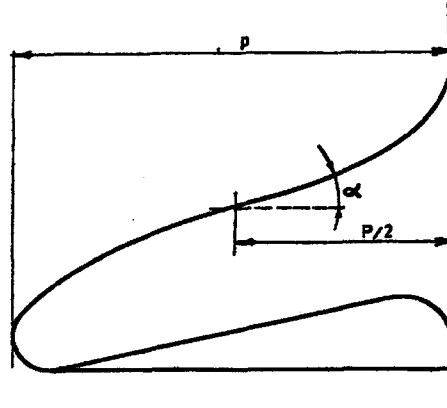
Bu parametreler, düşey konumda tesis edilmiş olan izolatörlerle ilgilidir.

a) Etekler arasındaki minimum c mesafesi : c, en üstteki eteklerin dış çıkıntılarının en alçak noktasından, aynı çaplı eteğin altına bir dik çizilerek ölçülen aynı çaplı komşu etekler arasındaki en kısa uzaklıktır (Şekil 2.7). Bu uzunluk, yağmurlu şartlarda, ardışık iki etek arasında köprülenmeyi önlemek için önemlidir. 30 mm 'lik veya daha fazla c değeri, bu şartı yerine getirir. Dıştan dışa uzunluğu 550 mm 'den küçük veya eşit olan izolatörlerde veya etek derinliği küçük olan izolatörlerde, c değeri 20 mm olarak kabul edilebilir. c değeri, başlıklı ve kaideli, mesnet ve çan (pin) tipi izolatörlere uygulanmaz.

b) Eteklerin eğimi : Eteklerin eğimi, izolatörlerin kendini temizleme özellikleri için önemlidir. Minimum etek eğimi açısı, eteğin tepesinde, 5° 'den daha büyük olmalıdır (Şekil 2.8). Eteğin alt bölümünde minimum açı belirtilmez. Bununla birlikte, bu alt bölüm dalgalanmasız ise, 2° 'lik minimum bir eğim uygun olur.



Şekil 2.7. Etekler arasındaki minimum c uzaklığı



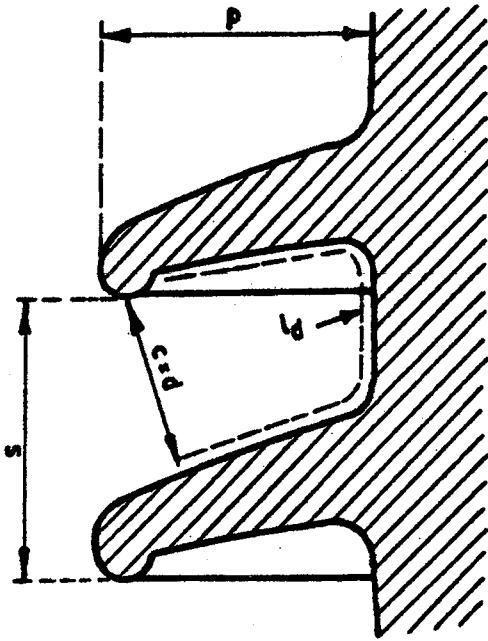
Şekil 2.8. Eteklerin eğimi

c) Adımla etek derinliği arasındaki s/p oranı : s/p oranı, ya etek derinliğinin fazlaca büyütülmesi ya da etek sayısının gerekirse artırılmasıyla keyfi olarak çok yüksek yüzeysel kaçak yolu uzunluğunun sağlanmasına ilişkin sınırları gösterir. Bu oran, izolatörlerin kendiliğinden temizlenme özellikleri için önemlidir. s/p oranı, 0.8 'e eşit veya daha büyük olmalıdır. İşletme tecrübesi bu değerin, düz etekli olması durumunda (dalgalanmasız) 0.65 'e kadar azaltılabileceğini göstermektedir. s, ardışık eteklerin benzer iki noktası arasındaki düşey uzaklıktır. p, en büyük etek derinliğidir (Şekil 2.9-2.12).

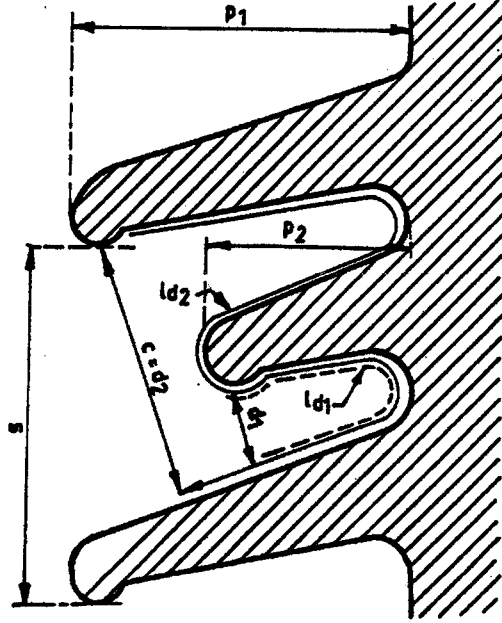
d) Yüzeysel kaçak yolu uzunluğu ve yalıtma aralığı arasındaki l_d/l oranı : l_d/l oranı, yerel kısa devrelerden kaçınmak için, yüzeysel kaçak yolu uzunluğunun kullanılmasını açıklar ve 5 'den küçük olmalıdır. l_d/l oranı, herhangi bir bölümdeki en elverişsiz durum için (mesela, sis tipi izolator profilinin alt kenarında) kontrol edilmelidir. l_d , yalıtkan bölüm üzerinde bulunan iki nokta arasında veya yalıtkan bölümün üzerinde herhangi bir nokta ile bir metal bölüm üzerindeki diğer bir nokta arasında ölçülen havadaki doğrusal uzaklıktır. l , yukarıdaki iki nokta arasında ölçülen yüzeysel kaçak yolu bölümüdür.

e) Değişken etekler : Ardışık iki etek derinliği arasındaki (p_1-p_2) farkı, yağmurlu koşullarda kısa devreden kaçınmak için önemlidir (Şekil 2.10). p_1 en büyük eteğin, p_2 ise en küçük eteğin etek derinliğidir. p_1-p_2 farkı, genellikle 15 mm 'ye eşit veya daha büyük olmalıdır.

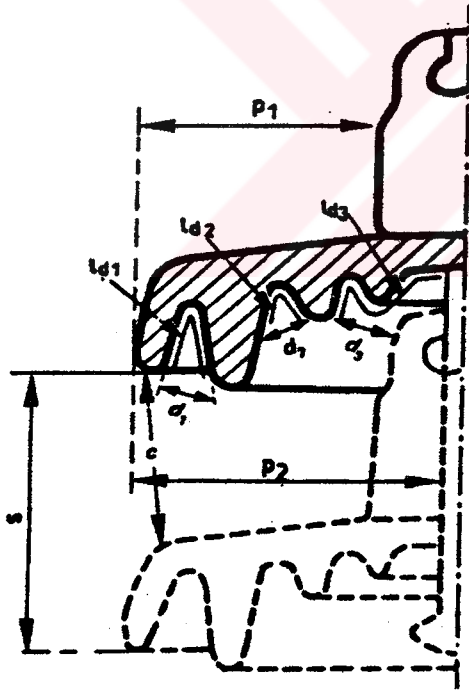
E.C. YÜKSEK ÖCRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



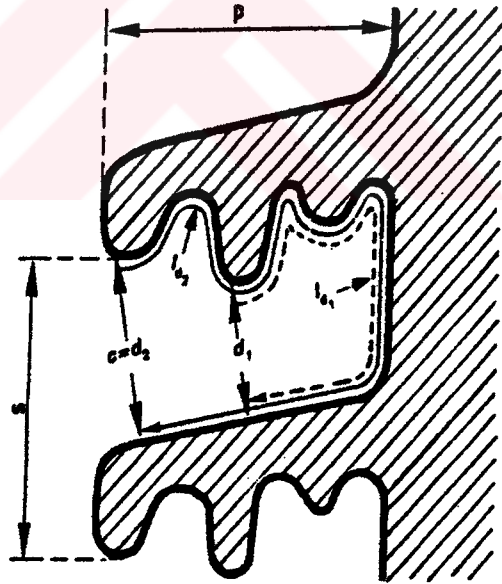
Şekil 2.9. Normal etekler



Şekil 2.10. Değişken etekler



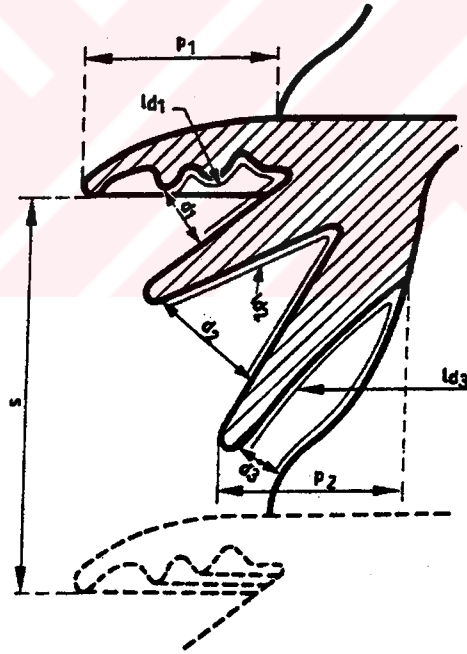
Şekil 2.11. Çan (kep) tipi izolatör



Şekil 2.12. Alt kısmı dalgalı etekler

2.8. İzolatörün Tamamını Niteleyen Parametreler

İzolatörler kirlenme şartlarındaki performanslarına göre farklı biçimlerde tasarlanabilirler. Kirlenme şiddeti arttığında, özgül yüzeysel kaçak yolu uzunluğu kriterini yeterli hale getiren çözüm, izolatörün sızma uzunluğunun artırılmasıdır. Bununla birlikte bu çözüm, kirlenme şiddetinin çok yüksek olduğu durumlarda uygulanmayabilir veya ekonomik olmayabilir. Bu nedenle belirtilen kirlenme şiddetinin bulunduğu durumlara uygun farklı profillere sahip izolatörleri tasarlamak gerekebilir. Yukarıda belirtilen farklı parametreler bir profilin yerel bölümlerini niteler. Buna rağmen yüzeysel kaçak yolu uzunluğu faktörü ve profil faktörü ile izolatörün tamamen nitelenmesi gereklidir. Bu iki faktör, kirlenme şiddetine bağlıdır. Profil faktörü, deneyimlerden elde edilen ampirik bir büyüklük olmasına rağmen, yüzeysel kaçak yolu uzunluğu faktörünün teorik ve bilimsel bir anlamı bulunmaktadır. Profil faktörü, çan tipi izolatör (Şekil 2.11) ve başlık ve kaideli mesnet tipi izolatörlere (Şekil 2.13) uygulanmazken, yüzeysel kaçak yolu uzunluğu faktörü izolatörlerin bütün tiplerinin profillerinin nitelendirilmesinde kullanılabilir.



hafif ve orta kirlenme seviyelerinde ≤ 3.5 , ağır ve çok ağır kirlenme seviyelerinde ≤ 4 olarak korunması tavsiye edilir.

b) Profil faktörü : Profil faktörü; basitleştirilmiş yüzeysel kaçak yolu uzunluğunun, s adımını tanımlayan iki nokta arasında ölçülen gerçek yalıtkan yüzeysel kaçak yolu uzunluğuna oranı olarak tanımlanır. Basitleştirilmiş kaçak uzunluğu, şekil 2.9 ve şekil 2.12 'deki izolatörler için, $2p + s$ 'in ve şekil 2.10 'daki izolatörler için, $2p_1 + 2p_2 + s$ 'in toplamıdır. p, p_1 , p_2 ve s Şekil 2.9-2.13 'de gösterilmiştir. Böylece, profil faktörü, Şekil 2.9 'da ve Şekil 2.12 'deki izolatörler için $\frac{2p + s}{l}$ 'ye, Şekil 2.10 'daki izolatörler için de $\frac{2p_1 + 2p_2 + s}{l}$ 'ye eşittir. Burada; l, s 'yi tanımlayan iki nokta arasında ölçülen yalıtkan kaçak yolunun yüzeysel kaçak yolu uzunluğudur. Profil faktörünün, hafif ve orta kirlenme seviyeleri için 0.8 'in, ağır ve çok ağır kirlenme seviyeleri için 0.7 'nin üstünde korunması tavsiye edilir [14-17].

3. KİRLENME ATLAMASININ MATEMATİKSEL MODELİ

3.1. Giriş

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

- a) Verilen bir izolatörün farklı kirlilik şartlarında dielektrik dayanım şiddetini tayinetmek (mutlak performans),
 - b) Verilen bir kirlilik derecesi için en iyi izolatörü seçmek (bağıl performans),
 - c) İstenen performans için en iyi izolatör tasarımını optimize etmek
- olmalıdır [18].

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

- a) Atlama nedeniyle oluşan fiziksel işlemlerin daha iyi anlaşılması,
- b) Alan ve laboratuvar tecrübesiyle geliştirilen modelin, atlama gerilimini önceden belirlemesi ve böylece deneylerin sayısının azaltılması [3].

Atlama olayının teorik modellerine bakıldığında çoğunun statik olduğu görülür. Statik modellerde kuru band oluşumundan sonra meydana gelen kısmi ark statik olarak dikkate alınmıştır [5]. Bu nedenle, statik modeller kesin sonuçları önceden belirlemek için uygun değildir [2]. Atlama çok hızlı bir olay olduğu için, deşarj parametrelerindeki ani değişikliklerin önemini göz önüne alan dinamik modeller, atlama olayını statik modellerden daha iyi temsil ederler. Geliştirilen bir kaç dinamik model, ya kavramsal [19] ya da istatistiksel [20] veya kolaylıkla kullanılamayan, deneysel dataya ihtiyaç duyan modellerdir [21,22]. Ayrıca, bu modellerin çoğu gerçek bir izolatör yerine sadece elektrolit şeritlerini dikkate alırlar [5,21]. Bütün bunlar, izolatörün gerçek şeklini dikkate alacak dinamik bir model geliştirilmesi için yapılacak çalışmaları motive etmiştir [3].

Kirlenmiş izolatörlerde atlamaya yol açan olayın anlaşılabilmesi için pek çok çalışma yapılmıştır. İleri sürülen tüm modellerin ortak özelliği [23-25], deşarj yayılımının ark 'a seri kir direnci şeklinde basitleştirilmesidir.

Bir kir tabakasının oluşumunda gereken kuvvetlerin temel özellikleri iyi bilinirken, çevresel kirlenme ve izolatör arasındaki etkileşim çok kompleks olduğu için, matematiksel

modelleme büyük ölçüde zorlaşmaktadır. Kir tabakası araştırması, sadece deneysel bir ark üzerine yapılmıştır [5].

Kirlenmiş bir yüzey üzerinde meydana gelen ark olayı çok karmaşık olduğundan, matematiksel modellemeyi geçerli kılmak için bir çok basitleştirici kabullerin yapılması zorunludur. Bu karmaşıklıklar; izolatör şeklinin ve kir örneklerinin düzensizliğini, düzensiz ıslanma ve termal işlemlerden dolayı yüzey öz direncinin değişkenliğini, izolatör yüzeyinin çevresindeki ark yanmasının düzensizliğini, çok yönlü ark oluşumunu, kaynak devre parametrelerinin izolatör davranışı üzerindeki etkisini vb. içerir. Kirli bir izolatörün atlama gerilimi, belirli bir dağılım ile istatistiksel bir biçimde değişken karakteristiğe sahiptir [5].

Kirli yüzeylerdeki atlama olayının modellenmesinde iki temel yaklaşım vardır: Değişken bir uzunluğa sahip, köprülenmemiş kirli bir yüzeye seri kısmi bir ark tutuşmasını sürdürmek için gerekli olan minimum gerilimin oluşumu ve ıslak izolatör yüzeyi boyunca ark yayılımı için kriter. Arkın uzunluğu artsa bile, uygulama gerilimi arkın devam etmesi için yeterince büyük değilse ark sönecek ve atlama oluşmayacaktır. Diğer yandan, arkın izolatör kaçak yolunun büyük bir kısmını kapsayarak yayılması için birkaç mekanizma gereklidir. Tıkanan arklar ve azalan atlama tehlikesi suretiyle, sızma yolu boyunca nispeten kısa bir yol ile kısmi arklar durdurulmadığı takdirde, seri kir tabakası kuruyuncaya kadar yanmaya devam edebilir. Temel nokta, yukarıdaki görüşlerin atlamanın meydana gelmesi için belirleyici faktör olup olmayacağıdır [5].

3.2. İzolatör Modellemesinin Tarihsel Gelişimi

Deşarj olayı ile ilgili mekanizmaların karmaşıklığına rağmen, kirli bir izolatörün atlama süreçlerini tanımlayan pek çok model önerilmiştir. Tüm bu modellerin genel bir özelliği, kirli tabakanın köprülenmeyen kısmının direncine seri kısmi bir arkdan oluşan ark yayılımının basitleştirilmiş bir gösterimidir. Bu modellerin çoğu d.a. altında statik durumla sınırlandırılmış ve sonra tekrar tutuşma işleminin dikkate alınmadığı a.a. durumu için genişletilmiştir. Bu nedenle, bu modeller atlama olayının zamana bağlı değişimini önceden bildirebilen bütün bir model olarak dikkate alınamazlar [1].

Deşarj olayı ve bununla ilişkili işlemlerin anlaşılmasında devre modellerinin önemli bir rolünün olduğu bilinmektedir. Kirletilmiş yüzeyler üzerindeki arkların ilk nicel analizlerinden biri 1958 yılında Obenaus tarafından yapıldı [26]. Obenaus, sabit bir gerilim uygulanan ıslak kir tabakasını temsil eden, belirli bir ark uzunluğuna sahip bir deşarjdan ve bu ark 'a seri bir dirençten meydana gelen bir devreyi dikkate alarak ark tutuşma gerilimini veren bir ilişki tespit etmiştir [1].

Boheme ve Obenaus [27] 1966 yılında, sabit bir gerilim uygulanmış ıslak bir kir tabakasını temsil etmek üzere, x deşarj uzunluğu ve seri bir direncin birleştirilmesiyle elde edilen düz bir model dikkate almışlardır. Obenaus ark gerilimini

$$V_{ark} = xA / I^n \quad (3.1)$$

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

Kirli izolatör atlamasının en çok kabul gören modeli, birbirinden bağımsız Alman, Rus ve İngiliz (Obenaus, 1960; Alexsandrov, 1962; Alston ve Zoledziowski, 1963; Hampton, 1964) araştırma ekiplerince geliştirildi [28,29,23,24]. Bu modeller, kirli yolun deşarjlı ve deşarjsız kısımlarındaki alan şiddeti eşit olduğunda yüzey deşarjının yayılacağı, varsayımı üzerine kuruludur. Paralel rezistif bir yolun varlığı, bir gerilimin kalın su kanallarına veya kalın kire uygulanması halinde görülebilir. 1971 yılında, Wilkins ve Al-Baghdadi [30] bu durumun atlama mekanizmasını değiştirebileceğini göstermişlerdir. Fakat yapılan deneyler, önceki modelin bir çok durumda geçerli olduğunu göstermektedir. Rizk 1970 yılında, boyut analizini kullanan dinamik bir model [31] önermiş, minimum atlama geriliminin bağlı olduğu değişkenlere atlama zamanını da eklemiştir. Ancak Rizk 'in bu kabulü ispatlanamamıştır. Claverie ve Porcheron tarafından 1973 'de ileri sürülen model [32], U_{cx} minimum deşarj yeniden tutuşma gerilimi ile I deşarj akımı arasındaki deneysel bir ilişki üzerine kurulmuştur. Rumeli [7], izolatörün fiziksel şeklini gerçeğe daha uygun bir şekilde dikkate alan AR modelini önermiş ve bu model yardımıyla izolatörlerin kirlenme atlama gerilimlerini hesaplamıştır. Jolly ve diğ. [21], paralel bir yola sahip deşarja uygulanabilen bir model sunmuştur. Fakat modelin karmaşıklığı ve çözüm için gerekli kabullerin çokluğu bu modelin kullanımını zorlaştırmaktadır. Zoledziowski [33], oluşan deşarj uzunluğuyla (δx), birim uzunlukta deşarj üretmek için gerekli enerjinin (w) çarpımının, deşarj kökünde bulunan güçle (p) zamanın (δt) çarpımına eşit olduğu ($w \cdot \delta x = p \cdot \delta t$) kabulü üzerine kurulu bir model sunmuştur. Bu model deneysel olarak incelenmiş [34] ve sadece minimum atlama geriliminden çok daha büyük gerilimler için uygun olduğu görülmüştür. Astorga ve Do Prado [35], kir tabakasının belirli bir kalınlığa sahip olduğunu ve bu kalınlığın sabit olmadığını öne sürerek ve Obenaus modelini biraz değiştirerek, atlama olayının dinamik davranışının daha etkili bir şekilde analiz edilebileceğini göstermişlerdir.

Rizk [5], değişken gerilim altında, akım sıfır iken deşarjın söndüğü ve tekrar tutuştuğu gerçeğinden yola çıkarak, dielektrik kırılma üzerine kurulu bir model ileri sürmüş ve bu model

ile, bir izolatör boyunca herhangi bir anda bir a.a. deşarjının sürmesi için gerekli minimum atlama gerilimi, sızma uzunluğu ve birim boyun kir direnci arasında bir ilişki elde etmiştir.

Son zamanlarda, deşarj dinamikleri [3], kirletici maddelerin kimyasal özelliği [36] ve çeşitli deşarjlar [37-39] gibi değişik parametreleri değerlendirmek amacıyla bazı modeller teklif edilmiştir. Bununla birlikte, bu modellerin çoğu Obenaus kavramı üzerine kurulmuş oldukları için ampirik kalırlar [2].

3.3. Statik Modeller

3.3.1. Wilkins Modeli

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

$$R_{iz} = \frac{1}{\sigma_s} \int_0^L \frac{dl}{\pi D(l)} \quad (3.2)$$

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

$$R_{mo} = \frac{L}{\sigma_s \cdot a} \quad (3.3)$$

olur. Her iki direncin eşitliğinden, eşdeğer dikdörtgen modelin eni

$$a = \pi \cdot d_{eff} = \frac{\pi \cdot L}{\int_0^L \frac{dl}{D(l)}} \quad (3.4)$$

olarak bulunur. Burada d_{eff} efektif izolatör çapıdır. Verilen bir izolatör için kompleks şekil nedeniyle a 'nın hesabı ancak nümerik yollarla yapılabilir. Hesaplamalarda gözönüne alınan Wilkins modeli RW sembolü ile gösterilmiştir (Şekil 3.1).

Wilkins, Şekil 3.2-3 'deki durum için konform tasvir yöntemi kullanarak kir direnci için aşağıdaki analitik bağıntıları bulmuştur:

Dar model ($a/L < 1$) için,

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

Geniş model ($a/L < 3$) için,

$$R = \frac{1}{2\pi\sigma_s} \left(\log \frac{2L}{\pi r_d} - \log \tan \frac{\pi x}{2L} \right) \quad (3.6)$$

Yukarıdaki bağıntılarda r_d , deşarj ucunun yarıçapını göstermektedir. Wilkins yaptığı ölçümlerde deşarj ucunda akım yoğunluğunun sabit kaldığını bulmuştur.

$$J = \frac{i}{\pi r_d^2} = 1.45 \text{ A/cm}^2 \quad (3.7)$$

Direnç ifadelerinde r_d yerine akım cinsinden değeri konularak, dar model için

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

ve geniş model için

$$R = \frac{1}{2\pi\sigma_s} \left(\frac{1}{2} \log \frac{4L^2 J}{\pi i} - \log \tan \frac{\pi x}{2L} \right) \quad (3.9)$$

elde edilir [11].

3.3.2. Rumeli Modeli

Gerçek izolatörler kompleks şekillere sahip oldukları için, kir tabakası direncinin basit bir eşitlikle ifade edilebilmesi çok zordur. Bu problemin çözümü için, bir çok araştırmacı izolatörü eşdeğer bir dikdörtgen kullanarak modellemişlerdir [23,25]. Fakat bu metod, bir izolatörün kompleks geometrisinin ve ark durumunun atlama gerilimi üzerindeki etkisini gösteremez.

Bir izolatörün, boyu izolatörün sızma boyuna eşit ve eni

$$a(l) = \pi D(l) \quad , \quad (0 \leq l \leq L) \quad (3.10)$$

bağıntısına göre değişen eşdeğer düzlemsel bir model ile tespit edilmesi halinde, atlama olayında izolatörün fiziksel şeklinin gerçeğe daha uygun olacağı düşünülebilir. Burada $D(l) = 2\pi r(l)$ izolatör çapı ve L sızma uzunluğudur. Rumeli tarafından ortaya atılan bu modeller AR sembolü ile gösterilmiştir (Şekil 3.1).

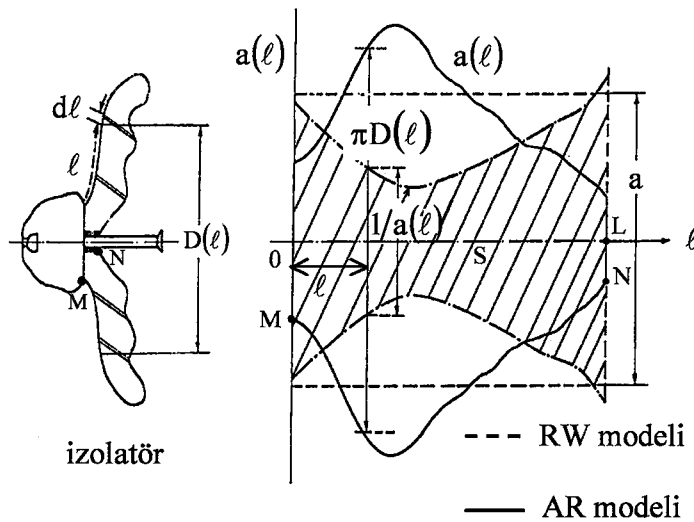
AR modeli, izolatör yüzeyindeki kir tabakasını sıyrıp açarak düzlemsel hale getirme düşüncesine dayanmaktadır. Atlama olayında terminaller arası direnç eşitliği önemli olmayıp, izolatör ve modelde aynı deşarjın yayılması sırasında, seri kir bölgesinin direnç değişimi önemlidir. Bu değişim izolatörün şekliyle yakından ilgilidir. AR modeli, izolatörün fiziksel şeklini daha uygun bir biçimde dikkate aldığından, seri kir bölgesi direnç değişimlerinin benzerliği daha iyi bir şekilde korunmuş olacaktır [7].

Verilen bir izolatör için $R(x)$ değişimi, bu izolatöre tekabül eden modeller üzerinde yapılan ölçmeler yardımıyla belirlenebilir. Deneylerde bir izolatörün AR modeli, kalınlığı h ve öz direnci ρ olan özel bir su tabakası ile kaplanmıştır. Su kalınlığı, yüzeye dökülen su hacminin model yüzeyi alanına bölünmesiyle hesaplanabilir. Su öz direnci bir iletkenlik ölçü hücresi ve köprü yardımıyla ölçülmüştür.

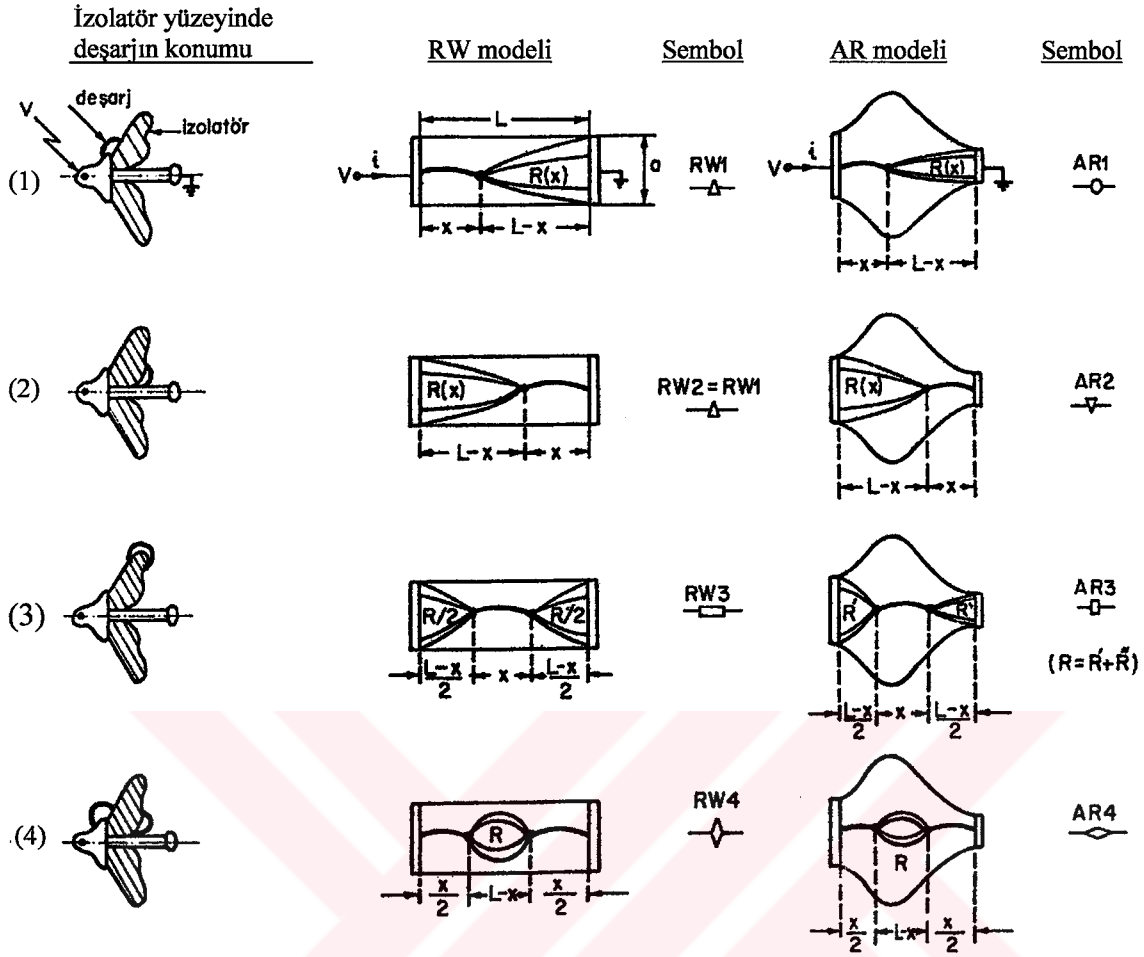
İzolatör yüzeyine kaplanan kir tabakasını temsil eden su tabakasının soğuk yüzeysel iletkenliği

$$\sigma_c = h/\rho \quad (3.11)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Bilinen bir σ_c için ölçülen $R(x)$ değerinden değişik bir σ_c için karşılık gelen $R(x)$ değeri orantı yoluyla kolayca bulunmuştur [11].



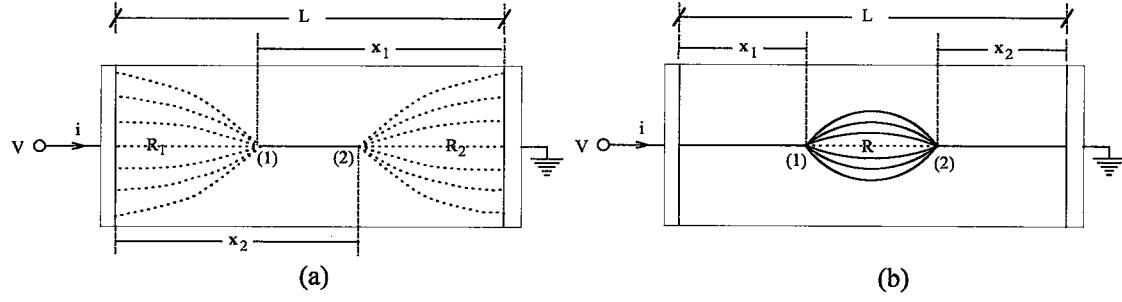
Şekil 3.1. Bir izolatörün AR ve RW modelleri



Şekil 3.2. Atlama oluşumu için değişik başlangıç noktaları

$R(x)$ değişimi kirli yüzeydekideşarjların sayısına ve yüzeydeki konumlarına da bağlıdır. Şekil 3.2, $R(x)$ değişimlerinin bulunmasında ve dayanım gerilimlerinin hesaplanmasında göz önüne alınan durumları göstermektedir. Şekil 3.2-1 ile şekil 3.2-2 bir kasket tip izolatördedeşarjın kapak ve sap civarlarında başlamasına tekabül eden RW ve AR modellerindeki durumları göstermektedir. Her iki durum için gerçekte, $R(x)$ değişimlerinin farklı olacağı açıktır. Bu özellik RW modelinde dikkate alınamazken ($RW1 = RW2$), AR modelinde dikkate alınabilmektedir ($AR1 \neq AR2$). Şekil 3.2-3 pratikte az rastlanan,deşarjın izolatörün şemsiye bölgesinden başlamasını ve Şekil 3.2-4 aynı anda kapak ve sap civarından başlamasını göstermektedir.

3.3.2.1. İki Ark Kökü İçin Atlama Denklemi



Şekil 3.3. Kirli izole bir yüzeyde iki ark kökünün hareketi

a) Elektrotlardan başlayan iki ark b) Orta bölgede bir ark

Rumeli [9], Şekil 3.3 'de gösterildiği gibi kirli izole bir modelde iki ark kökünün hareketini dikkate almıştır. Şekil 3.3-a 'da, aynı doğru üzerinde yayılan ve elektrotlardan başlayan iki ark düşünülmüştür. Her iki arkın toplam boyunda bir arkın elektrotlardan birinden yayılmaya başladığı veya Şekil 3.3-b 'de, orta bölgede tutuşan arkın, elektrotların birinden yayılmaya başladığı şeklinde bir düşünceyle problemin bir önceki durumuna dönüşümü söz konusu olmaz. Çünkü akım çizgileri dağılımı dolayısıyla ark 'a seri kir dirençlerinin değişimleri farklıdır. Ayrıca kirli yüzeyde tutuşan ark kökü sayısı, dolayısıyla ark anot-katot gerilim düşümleri farklı olacaktır. Şekil 3.3-a için atlama denklemini

$$V = x_1 \cdot E(i) + V_{ka1} + x_2 \cdot E(i) + V_{ka2} + iR(x_1, x_2, \omega) \quad (3.12)$$

veya

$$V = (x_1 + x_2) \cdot E + (V_{ka1} + V_{ka2}) + iR \quad (3.13)$$

şeklinde ifade edilir.

Şekil 3.3-b 'de, arkın elektrotlar arasından başladığı ve elektrotlara doğru yayıldığı düşünülmüştür. Atlama denklemini

$$V = (x_1 + x_2 - L) \cdot E(i) + V_{ka} + iR_1(x_1, \omega_1) + iR_2(x_2, \omega_2) \quad (3.14)$$

veya

$$V = (x_1 + x_2 - L) \cdot E + V_{ka} + i(R_1 + R_2) \quad (3.15)$$

olur.

ΔE_1 ve ΔE_2 , (1) ve (2) no. lu ark kökleri için gradyent farkları, v_1 ve v_2 (1) ve (2) no. lu ark köklerinin hızları ve i' akımın türevi olmak üzere

$$i = -\frac{\Delta E_1}{Q} v_1 - \frac{\Delta E_2}{Q} v_2 - \frac{\phi}{Q} \quad (3.16)$$

dir. Şekil 3.3-a için

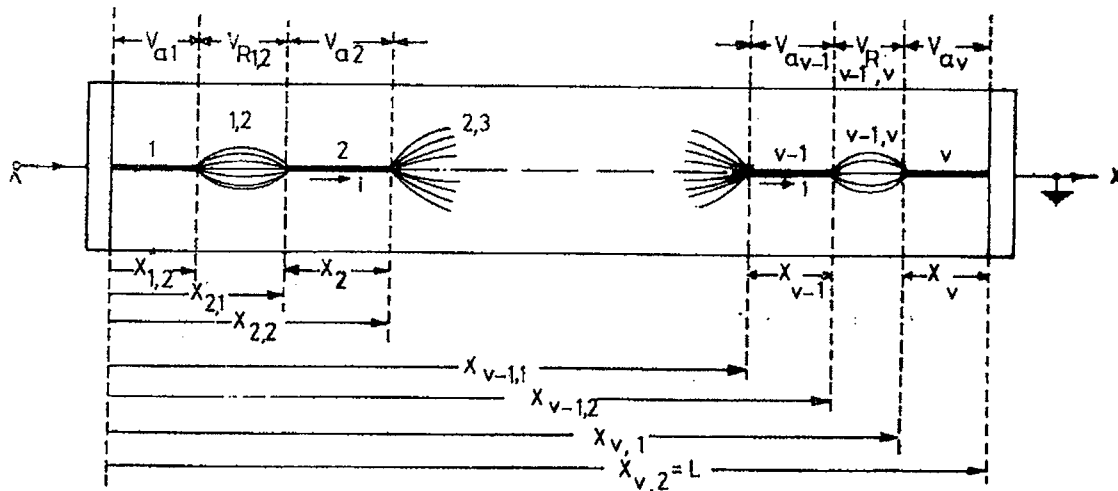
$$Q = \left[(x_1 + x_2) \frac{\partial E}{\partial t} + R \right] \text{ ve } \phi = Ri^3 \frac{\partial R}{\partial w} \quad (3.17)$$

ve Şekil 3.3-b için

$$Q = \left[(x_1 + x_2 - L) \frac{\partial E}{\partial t} + R_1 + R_2 \right] \text{ ve } \phi = i^3 \left(R_1 \frac{\partial R_1}{\partial w_1} + R_2 \frac{\partial R_2}{\partial w_2} \right) \quad (3.18)$$

$dw_1 = R_1 \cdot i^2 \cdot dt$ ve $dw_2 = R_2 \cdot i^2 \cdot dt$ oldukları (3.16) denkleminde göz önünde tutulmalıdır. Benzer tarzda $Q(t) > 0$ olduğu gösterilebilir. (3.16) denkleminde i' , x_1 ve x_2 değişkenler ve ϕ , Q , ΔE_1 ve ΔE_2 değişken parametreler olarak alınıp, atlama ihtimali incelenebilir. Atlama için $i' > 0$, $v_1 > 0$ ve $v_2 > 0$ olmalıdır [9].

3.3.2.2. Çok Sayıda Arkın Kirli İzole Bir Yüzeyde Yayılımı



Şekil 3.4. Kirli izole bir yüzeyde v sayıda ark

Şekil 3.4, kirli izole bir yüzeyde, aynı doğrultu üzerinde hareket eden 2v-2 sayıda ark kökünü göstermektedir. Ark köklerinin hızı ve ark akımının zamana göre türevi arasında

$$i' = -\frac{\Delta E_{1,2}}{Q} v_{1,2} - \frac{\Delta E_{2,1}}{Q} v_{2,2} - \dots - \frac{\Delta E_{\gamma-1,1}}{Q} v_{\gamma-1,1} - \frac{\Delta E_{\gamma-1,2}}{Q} v_{\gamma-1,2} - \frac{\Delta E_{\gamma,1}}{Q} v_{\gamma,1} - \frac{\Phi}{Q} \quad (3.19)$$

yazılabilir. Bu denklemdaki değişken ve parametreler

$$\Delta E_{\gamma-1,2} = E - i \left| \frac{\partial R_{\gamma-1,\gamma}}{\partial x_{\gamma-1,2}} \right|, \quad \Delta E_{\gamma,1} = E - i \left| \frac{\partial R_{\gamma-1,\gamma}}{\partial x_{\gamma,1}} \right| \quad (3.20)$$

$$\frac{dx_{\gamma-1,2}}{dt} = v_{\gamma-1,2}, \quad -\frac{dx_{\gamma,1}}{dt} = v_{\gamma,1}, \quad i' = \frac{di}{dt} \quad (3.21)$$

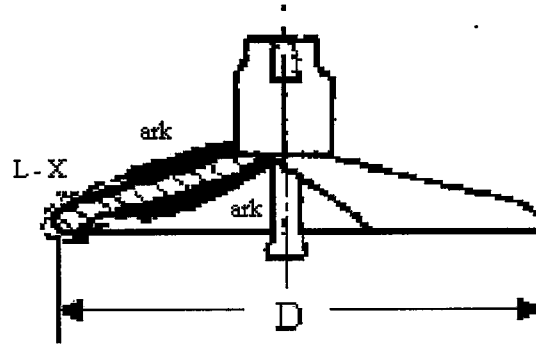
$$Q = \frac{di}{dt} \left[(x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_v) \frac{\partial E}{\partial i} + R_{1,2} + R_{2,3} + \dots + R_{\gamma-1,v} \right] > 0 \quad (3.22)$$

$$\Phi = i^3 \left[R_{1,2} \frac{\partial R_{1,2}}{\partial W_{1,2}} + R_{2,3} \frac{\partial W_{2,3}}{\partial R_{2,3}} + \dots + R_{\gamma-1,\gamma} \frac{\partial R_{\gamma-1,\gamma}}{\partial W_{\gamma-1,\gamma}} \right] \quad (3.23)$$

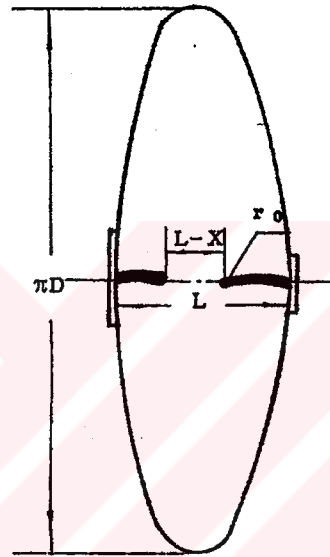
bağıntıları ile tarif edilmişlerdir [9].

Kirli izole bir yüzeyde çok sayıda ark tutuşması durumunda, bu arklar birbirlerinin yayılımını etkilerler. Çok sayıda arkın tutuşması halinde, bunların eşdeğer uzunlukta tek bir ark gibi dikkate alınması problemin fiziksel karakterini bozacaktır. Bu nedenle, tek bir ark hali için bulunan sonuçlar, eşdeğer çok arklı durum için geçerli olmayacaktır. Arkın yüzey üzerinde tutuşma bölgesinin, ark yayılımı ve atlama üzerinde önemli etkisi olacaktır.

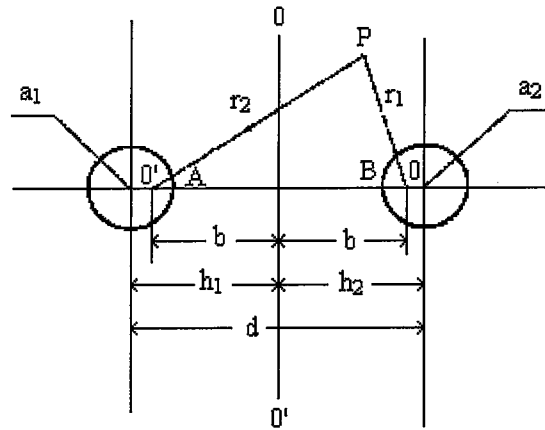
AR modelini bazı araştırmacılar Açık Model ve Yassı Model olarak da tanımlamışlardır. Bunlardan Yassı Model kavramını kullanan Kraus [40], Şekil 3.5 'deki bir kasket tipi izolatorü, Şekil 3.6 'daki yassı bir model ile göstermiştir. Şekil 3.6, Şekil 3.5 'in iki boyutlu modelidir. Şekil 3.6 'daki modelin alanı izolatorün yüzey alanına eşittir. Şekil 3.5 'de ve 3.6 'da; L izolator yüzeyi boyunca sızma yolunu, πD izolatorün çevresini, D izolator çapını, X ark uzunluğunu ve r_0 ark kökünün yarıçapını göstermektedir. Eğer bir izolatorün yassı modeli yeterli genişliğe sahipse (Şekil 3.6 'daki gibi), iki ark kökü arasında biriken kir tabakasının R(x) direnci, iki küçük dairesel elektrod arasındaki direnç olarak ifade edilebilir. Kraus 'a göre [40]; R(x), Şekil 3.7 referans alınarak elde edilebilir [13].



Şekil 3.5. Zincir izolatör elemanı



Şekil 3.6. İzolatörün yassı modeli



Şekil 3.7. $R(x)$ 'i elde etmek için kullanılan yaklaşım

İ.C. YERLİ, ÖZGÜR, KUTLU
DOKÜMAN, 2021

V, P noktasındaki toplam potansiyel olmak üzere

$$V = \frac{I}{2\pi\gamma_e} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (3.24)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada γ yüzey iletkenliğidir ($\gamma_e \cong 1.25 \cdot \gamma$).

Eşpotansiyel çizgiler farklı merkezli bir daireler setidir. Şekil 3.7 'deki (Şekil 3.6 'da iki ark kökü arasında gösterilen küçük alan) iki dairesel elektrodun konumu ve büyüklüğü bilinmektedir. Eğer simetri eksenini 0 - 0' bulunabilirse, elektrodların daireleri eşpotansiyel çizgileri gösterecektir. Simetri ekseninin konumu

$$h_1 = \frac{d^2 + a_1^2 - a_2^2}{2d} \quad (3.25)$$

$$h_2 = \frac{d^2 + a_2^2 - a_1^2}{2d} \quad (3.26)$$

$$b = \sqrt{h^2 - a^2} \quad (3.27)$$

den hesaplanabilir. A ve B noktalarındaki potansiyeller

$$V_a = \frac{I}{2\pi\gamma_e} \ln \frac{b - h_1 + a_1}{b + h_1 - a_1} \quad (3.28)$$

$$V_b = \frac{I}{2\pi\gamma_e} \ln \frac{b + h_2 - a_2}{b - h_2 + a_2} \quad (3.29)$$

dir. A ve B arasındaki potansiyel farkı denklem (3.30) 'da verilmiştir.

$$V_{ba} = \frac{I}{2\pi\gamma_e} \ln \frac{(b + h_1 - a_1)(b + h_2 - a_2)}{(b - h_1 + a_1)(b - h_2 + a_2)} \quad (3.30)$$

Böylece, iki küçük dairesel elektrod arasındaki direnç denklem (3.31) 'deki gibi ifade edilebilir.

$$R = \frac{I}{2\pi\gamma_e} \ln \frac{(b + h_1 - a_1)(b + h_2 - a_2)}{(b - h_1 + a_1)(b - h_2 + a_2)} \quad (3.31)$$

$a_1 = a_2 = r_0$ ve $r_0 \ll h$ için $h_1 \cong h_2 \cong b$ kabulü yapılarak (3.31) denklemini basit bir forma dönüştürülebilir.

$$R = \frac{1}{\pi \gamma_e} \ln \frac{d}{r_0} \quad (3.32)$$

Şekil 3.6 'ya göre, açık model için $d = L - X$ 'dir ve $R(x)$, X 'in bir fonksiyonudur.

$$R(x) = \frac{1}{\pi \gamma_e} \ln \frac{L - X}{r_0} \quad (3.33)$$

Ark akımı ile ark kökünün yarıçapı arasındaki ilişki

$$r_0 = \sqrt{\frac{I}{1.45\pi}} \quad (3.34)$$

şeklinde verildiğinden [25], izolatörlerin atlama kriterlerinin, eşdeğer bir dikdörtgen kullanılmadan doğrudan hesaplanabileceği açıkça görülür [13].

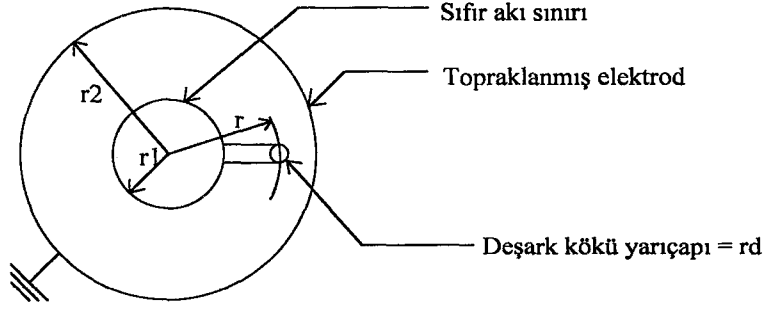
3.3.3. Dairesel Şerit Model

Bendapudi [10] tarafından sunulan 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 (Şekil 3.8).

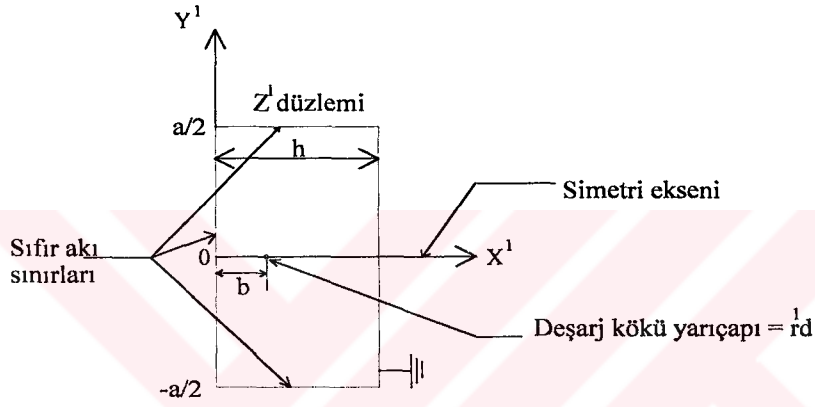
Hesaplamayı basitleştirmek için, dairesel şerit $1/r_1$ faktörü ile küçültülmüştür. İç daire birim çemberdir ve deşarj kökü yarıçapı r_d/r_1 'dir. Z düzlemindeki bu bölünmüş dairesel şerit $Z' = \ln Z$ dönüşümü kullanılarak düz dikdörtgen bir levha haline dönüştürülmüştür. Orijinal şerit ile dikdörtgen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

$$\begin{aligned} h &= \ln (r_2/r_1) & b &= \ln (r/r_1) \\ a &= 2\pi & r_{dl} &= \ln (1 + r_d/r) \end{aligned} \quad (3.35)$$

şeklinde verilir.



Şekil 3.8. Dairesel şerit model



Şekil 3.9. Dönüştürülmüş dairesel şerit

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

$$R = \frac{1}{2\pi\sigma_s} \left[\ln \frac{4h}{\pi \cdot r_{d1}} - \ln \cdot \tan \frac{\pi b}{2h} \right] \quad (3.36)$$

şeklinde bulunur. h , b , a ve r_{d1} denklem (3.36) 'da yerine konursa aranan direnç değeri bulunur. Atlama gerilimi

$$V = V_e + A(r - r_1)I^{-n} + I \cdot R \quad (3.37)$$

dir. Deşarj uzaması için,

$$\frac{di}{dr} = -\frac{\partial V / \partial r}{\partial V / \partial i} > 0 \quad (3.38)$$

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

$$\ln\left(1 + \frac{r_d}{r}\right) \approx \frac{r_d}{r} \quad (3.39)$$

olduğundan

$$\frac{\partial V}{\partial r} = A.I^{-n} + \frac{I}{2\pi\sigma_s} \left[\frac{1}{r} - \frac{\pi}{rh} \operatorname{Co} \sec \frac{\pi b}{h} \right] \quad (3.40)$$

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

$$I'_c = \left[\frac{2A.\pi.\sigma_s.r}{\frac{\pi}{h} \operatorname{cosec} \frac{\pi.b}{h} - 1} \right]^{\frac{1}{1+n}} \quad (3.41)$$

Eğer $\partial V / \partial i \geq 0$ sağlanmamışsa, I'_c için doğru değer $\partial V / \partial i$ sıfıra eşit veya sıfırın hemen üstünde oluncaya kadar denklem (3.41) ile verilen akımın artışı ile bulunur. Burada da deşarj kökü yarıçapı

$$r'_c = \left[\frac{I'_c}{1,45\pi} \right]^{0,5} \quad (3.42)$$

ile verilmiştir.

R direnci denklem (3.36) 'dan ve I'_c akımına karşı gelen V'_c gerilimi, denklem (3.37) 'den bulunabilir. Genellikle I'_c ve V'_c , r deşarj kökü merkezinin yarıçapa ait durumunun fonksiyonlarıdır. Maksimum V'_c eğrisine karşı gelen gerilim kritik gerilim (V_c) ve bu gerilime karşı gelen akım kritik akım (I_c) 'dir [10].

3.3.4. Düz Model

Kirlenmiş izolatörlerin kritik karakteristiklerinin yaklaşık olarak belirlenmesini sağlayan modelleri oluşturmak için bir çok denemeler yapılmıştır.

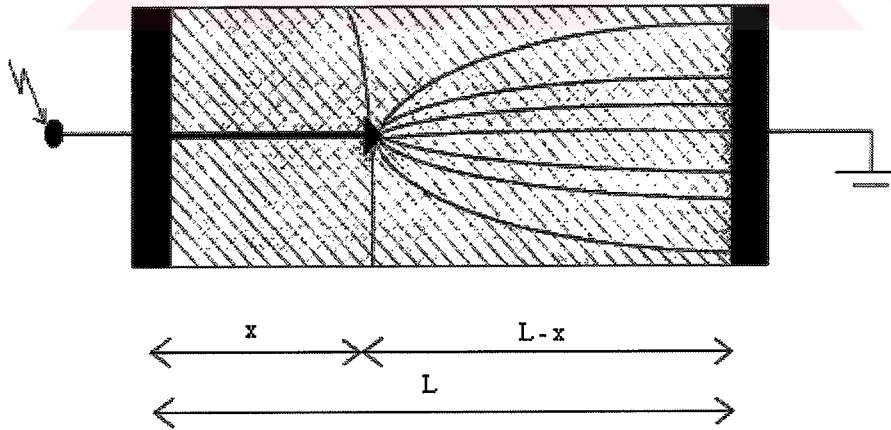
Şekil 3.10 'da gösterilen düz model için bir tek büyük deşarj olduğu, düzenli kir dağılımı ve düzenli ıslanma olduğu kabulleri yapılmış ve böylece arkın sadece izolatör yüzeyinde hareket ettiği varsayılmıştır [5].

Kirlenmiş izolatör, kuru band üzerinde meydana gelen kısmi bir ark ile gösterilmiş ve x deşarj uzunluğu olmak üzere R_{ark} direncine seri bir R_p direnci ve paralel bir C kapasitesi ile modellenmiştir (Şekil 3.11). R_p ve C sırasıyla kir tabakasının direnci ve kapasitesidir. Kapasite ile paralel direnç, köprülenmemiş kısmın kir tabakasını temsil ederken, deşarj kuru bandı temsil eder. Düz model için R_p ve C aşağıda verilmiştir.

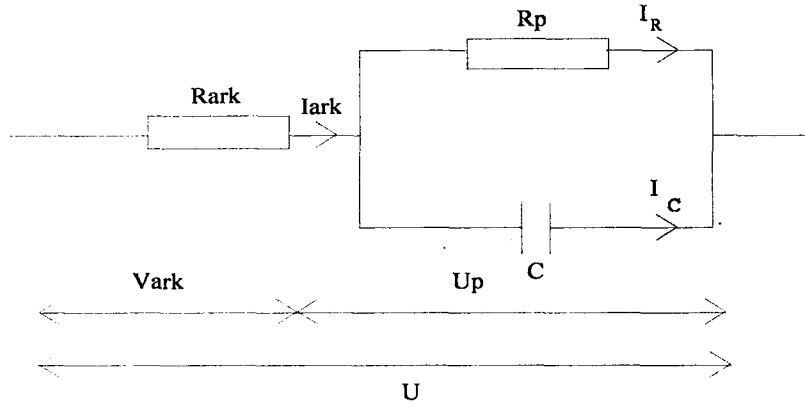
$$R_p = \rho_p \frac{(L - x)}{S} \quad (3.43)$$

$$C = \epsilon \frac{S}{(L - x)} \quad (3.44)$$

Burada ρ_p , ϵ , L ve S sırasıyla özdirenç, dielektrik sabiti, sızma uzunluğu ve kir tabakasının ara kesitidir. R_p ve C için verilen ifadeler yaklaşık değerlerdir [5].



Şekil 3.10. Düz model



Şekil 3.11. Düz modelin elektriksel eşdeğer devresi

Diğer taraftan arkın s kesitinin, x uzunluğu ve ρ_{ark} öz direncinin oluşturacağı silindirik bir kanal şeklinde olacağı varsayılarak

$$R_{ark} = \rho_{ark} \cdot x/s \quad (3.45)$$

elde edilir. Modelin eşdeğer empedansı ise

$$Z_{eş} = R_{ark} + \frac{R_p}{1 + j \cdot \omega \cdot R_p \cdot C} \quad (3.46)$$

veya

$$Z_{eş} = \frac{\rho_{ark} \cdot x}{s} + \frac{\rho_p (L-x)}{S(1 + j \cdot \omega \cdot \rho_p \cdot \varepsilon)} \quad (3.47)$$

şeklinde olur. Burada deşarj yayılımı durumu için

$$\frac{d|Z_{eş}|}{dx} < 0 \quad (3.48)$$

şartının sağlanması gerekir. Bu durum $E_{ark} < E_p$ olarak da ifade edilebilir. E_{ark} arkın, E_p ise kir tabakasının elektrik alanını göstermektedir.

3.3.4.1. Ark Geriliminin Değeri

Ark geriliminin değeri,

$$V_{ark} = \frac{x E_p}{\sqrt{a}} = x E_{ark} \quad (3.49)$$

ifadesinden hesaplanabilir.

Atmosfer şartlarında, havadaki ve su buharındaki deşarj tutuşması için radyasyon kayıpları küçüktür ve elektriksel kayıpların çoğu çevredeki gazı ısıtır. P enerjisinin deşarj sırasında sadece termik durum ile harcandığı dikkate alınarak

$$P = E_{ark} I_{ark} = \frac{dQ}{dt} \quad (3.50)$$

elde edilir. Burada Q sıcaklık miktarıdır. Fourier dönüşümüne göre

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda A \frac{\partial T}{\partial n} \quad (3.51)$$

dir. Burada, λ , A, n ve T sırasıyla termik iletkenlik, izotermik yüzey elemanı, sıcaklık gradyanı yönünde ortalama ve ortalama sıcaklıktır.

Deşarj kanalının izotermik yüzeylerinin yarı küre ve sıcaklık yayılım eşitliğinin eş boyutlu olabileceği kabulü yapılarak, enerji dengesi

$$E_{ark} I_{ark} = \pi \lambda_{ort} T \quad (3.52)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada T, termik iyonizasyonun zorunlu miktarını sağlamak için gerekli eksenel sıcaklık ve λ_{ort} termik iletkenliktir. Bir gaz karışımının termik iletkenliği kolay kolay hesaplanamaz [2]. Bununla birlikte yaklaşık bir değer elde edebilmek için bazı ifadeler vardır [41].

(3.49) ve (3.52) eşitlikleri yardımıyla ark gerilimi,

$$V_{ark} = kx / I_{ark}^n \quad (3.53)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $n=1$ ve $k = \pi T \left(\sum_{i=a}^v \frac{\lambda_i}{1 + A_i (1 - v_i) / v_i} \right)$ dir.

Analitik olarak kanıtlanan (3.53) denklemi ampirik olanlar ile benzerdir ve deşarj gerilimini tanımlamak için bir çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Böylece, devre denklemi

$$U = \frac{kx}{I_{ark}^n} + Z_p (L - x) I_{ark} \quad (3.54)$$

şeklinde yazılabilir. Burada Z_p kir tabakasının empedansıdır. Eğer kir tabakası sadece omik özellik gösteriyorsa, Z_p yerine r_p yazılır [2].

3.3.4.2. Kritik Akım ve Gerilim

r_p 'nin dikkate alındığı (3.54) denkleminin x 'e göre türevi alınır ve sıfıra eşitlenirse I_c kritik akımı elde edilir.

$$I_c = \left(\frac{k}{r_p} \right)^{1/n+1} \quad (3.55)$$

Aynı denklemin I_{ark} 'a göre türevi alınır ve sıfıra eşitlenirse

$$\frac{x_c}{L} = \left(1 + \frac{kn}{r_p I_{ark}^{n+1}} \right)^{-1} \quad (3.56)$$

elde edilir. (3.55) ve (3.56) denklemleri birleştirilerek x_c kritik deşarj uzunluğu elde edilir.

$$x_c = \frac{L}{n+1} \quad (3.57)$$

Wilkins ve Al-Baghdadi tarafından ileri sürülen [30], “iyonizasyon ile genişleme ve ardıl kök oluşumu” olarak adlandırılan deşarj yayılım modelini kullanmak suretiyle; ilerleyen iyonizasyon ile deşarj genişlediğinde, (3.58) denkleminde verilen kritik akımda bir artışa yol açan geçiş işlemi esnasında şönt ıslak tabakanın etkisini göstermek kolaydır.

$$I_c = n^{1/n+1} \left(1 + \frac{1}{n} \right) \left(\frac{k}{r_p} \right)^{1/n+1} \quad (3.58)$$

Diğer yandan, yukarıdaki I_c ve x_c değerleri (3.54) denkleminde yerine konularak kritik gerilim elde edilir. Böylece, kritik atlama gerilimi

$$U_C = n^{1/n+1} \left(\frac{1}{(n+1)^{n+1}} + n^{n-1} \right) k^{1/n+1} r_p^{n/n+1} l \quad (3.59)$$

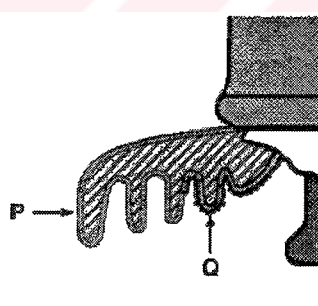
olur [2].

3.4. Dinamik Modeller

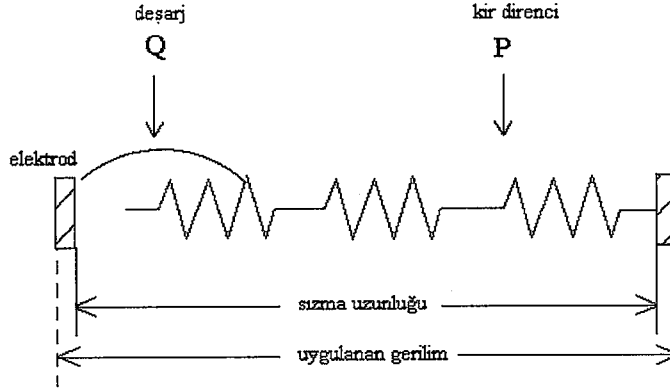
3.4.1. Sundararajan-Gorur Modeli

Sundararajan ve Gorur [3] kirli izolatör yüzeylerinde oluşan olayları açıklayabilmek için dinamik bir model ortaya koymuşlardır. Şekil 3.12 'de gösterilen kuru band oluşmuş kirli bir izolatör, Şekil 3.13 'de gösterildiği gibi deşarja seri yüksek bir direnç şeklinde modellenmiştir. Bu model, kirli izolatörlerdeki atlama olayının ilk teorik çalışmasını (söndürme teorisi) yapan Obenaus 'un ortaya koyduğu kavram üzerine kurulmuştur.

Kirlenme probleminde kuru bandlarda oluşan deşarjlar ve kir tabakasının direnç değişimi önemlidir. Obenaus kuru band oluşumunun yüzey iletkenliğine ve atlama gerilimine olan etkisini adım adım incelemiştir. Bu inceleme Neumarker tarafından, kir tabakasının her birim boyunun düzenli bir kir direncine sahip olduğu kabulü yapılarak tamamlanmıştır. Ancak pratikte izolatör yüzeyindeki kir dağılımı düzensiz bir yapıya sahiptir. Ayrıca kir tabakasının düzensiz olarak ıslanması ve kuruması, çok safhalı kuru bandların oluşmasına yol açar.



Şekil 3.12. Kuru band oluşmuş kirli izolatör
P: Islak kir tabakası
Q: Bir ark ile köprülenmiş kuru tabaka



Şekil 3.13. Kirli izolatörün Obenaus modeli

Bu etkenlerin tümünü dikkate alan bir model geliştirmek oldukça zordur. Bu nedenle modelin basitleştirilmesi için bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabuller; basit özellikli ark, düzenli kir dağılımı ve düzenli ıslatmadır. Bu model ark esnasında kir tabakasında meydana gelen sıcaklık değişimlerini dikkate almaz. Arkın sadece izolatör yüzeyinde yayıldığı kabulü de yapılmıştır. Bu kabullerin bir çoğunun savunulabilir tarafları vardır. Mesela, başlangıçta çok sayıda ark görülebilir, ancak sadece bir ark büyüyerek atlamaya neden olabilir. Aynı şekilde arkın tekrarlanabilmesi ve yeniden oluşabilmesi için kir dağılımının düzenli olduğu kabulünü yapmak da uygundur.

Atlama gerilimleri aşağıdaki adımlarda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Adım 1: Gerilim eşitliği aşağıdaki gibidir.

$$V_s = V_c + V_a + R_{ark} \cdot L_{ark} \cdot I + I(R_{kir} + R_s) \quad (3.60)$$

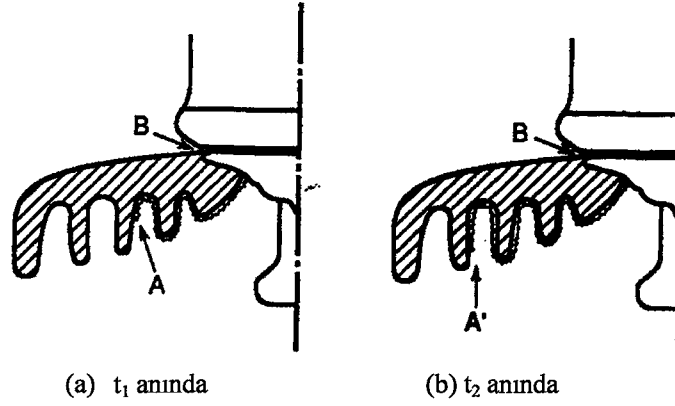
Burada V_s (V) uygulanan gerilim, V_c (V) katod gerilim düşümü, V_a (V) anod gerilim düşümü, R_{ark} (Ω/cm) birim uzunluğun ark direnci, L_{ark} (cm) ark uzunluğu, I (A) kir tabakasından akan akım, R_{kir} (Ω) kir tabakası direnci ve R_s (Ω) kaynağın iç direncidir.

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

$$I = \frac{V_s - (V_c + V_a)}{R_{ark} \cdot L_{ark} + R_{kir}} \quad (3.61)$$

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

L_{ark} =Sızma uzunluğunun 1/100 'ü (cm), R_{ark} =100 Ω/cm , V_c =700 V (sabit), V_a =200 V (sabit). F form faktörü, integral sınırları L_{ark} 'dan L 'ye kadar alınarak denklem (2.9), kir direnci ise denklem (2.10) ile hesaplanmıştır.



Şekil 3.14. Kirlenmiş izolatörlerde deşarj yayılımı

Sızma uzunluğu değişimi daima arkın yayılımına ve form faktörüne bağlıdır. Mesela; t_1 anında ark A pozisyonunda ise (Şekil 3.14.a), form faktörü A-B kısmı için hesaplanır. $t_2=t_1+dt$ anında ark A' ile gösterilen yeni pozisyona hareket etmişse (Şekil 3.14.b), form faktörü A'-B kısmı için hesaplanır. Böylece, atlama geriliminin hesabı yapılırken izolatör geometrisi daima dikkate alınmış olur.

Adım 3: I akımı için, ark gerilim gradyenti

$$E_{ark} = A \cdot I^{-n} \quad (3.62)$$

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

Adım 4: Kir gradyenti

$$E_k = A \frac{1}{1+n} \cdot R_k^{\frac{1}{1+n}} \quad (3.63)$$

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

$$R_k = \frac{R_{kir}}{L - L_{ark}} \quad (3.64)$$

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

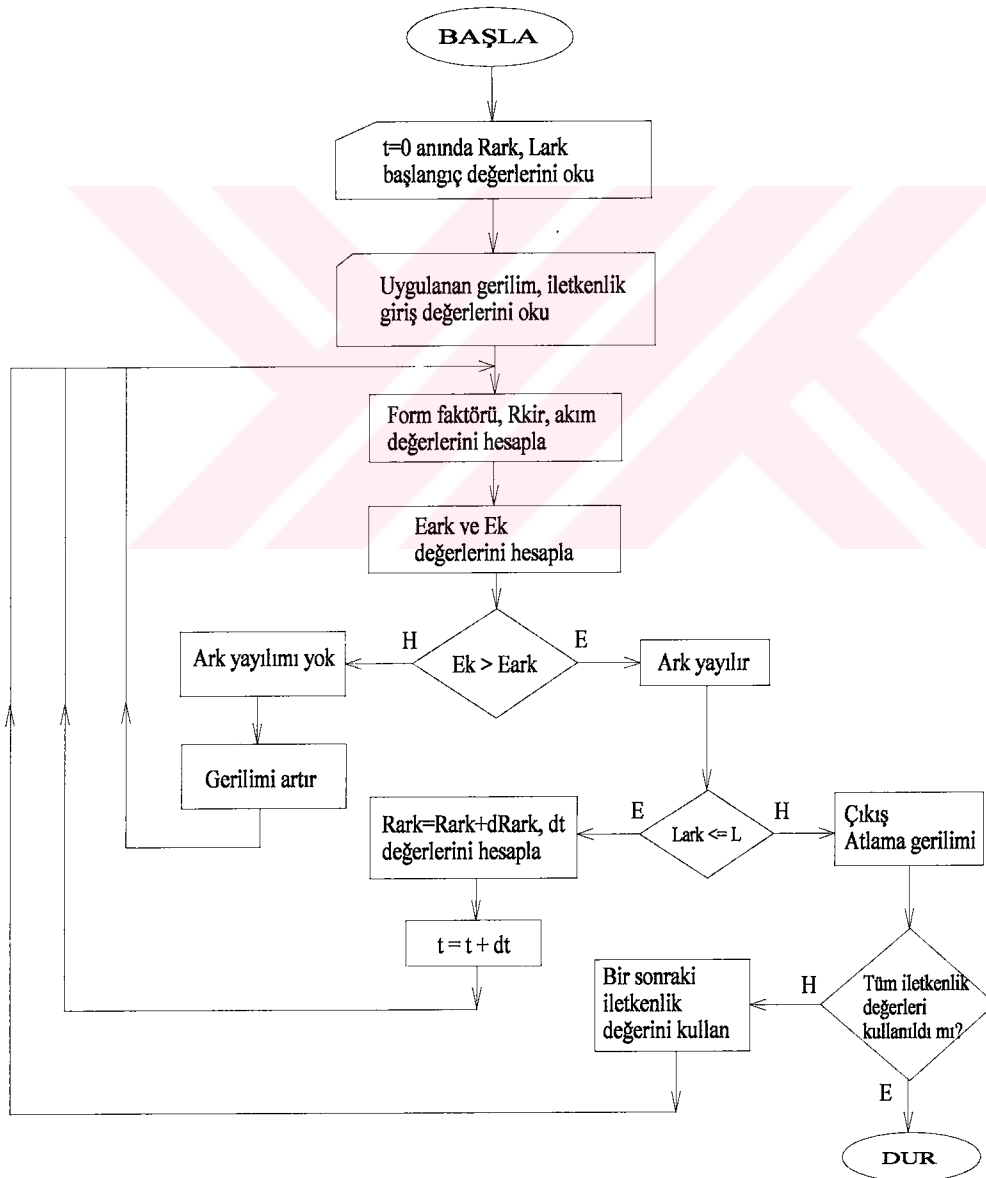
uzunluğu sızma uzunluğundan daha küçük ise ve ark yayılım kriteri sağlanmışsa, ark direncindeki dinamik değişiklik sayısal bir teknik kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\frac{dR_{ark}}{dt} = \frac{R_{ark}}{\lambda} - \frac{R_{ark}^2 \cdot I^{n+1}}{\lambda \cdot N} \quad (3.65)$$

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

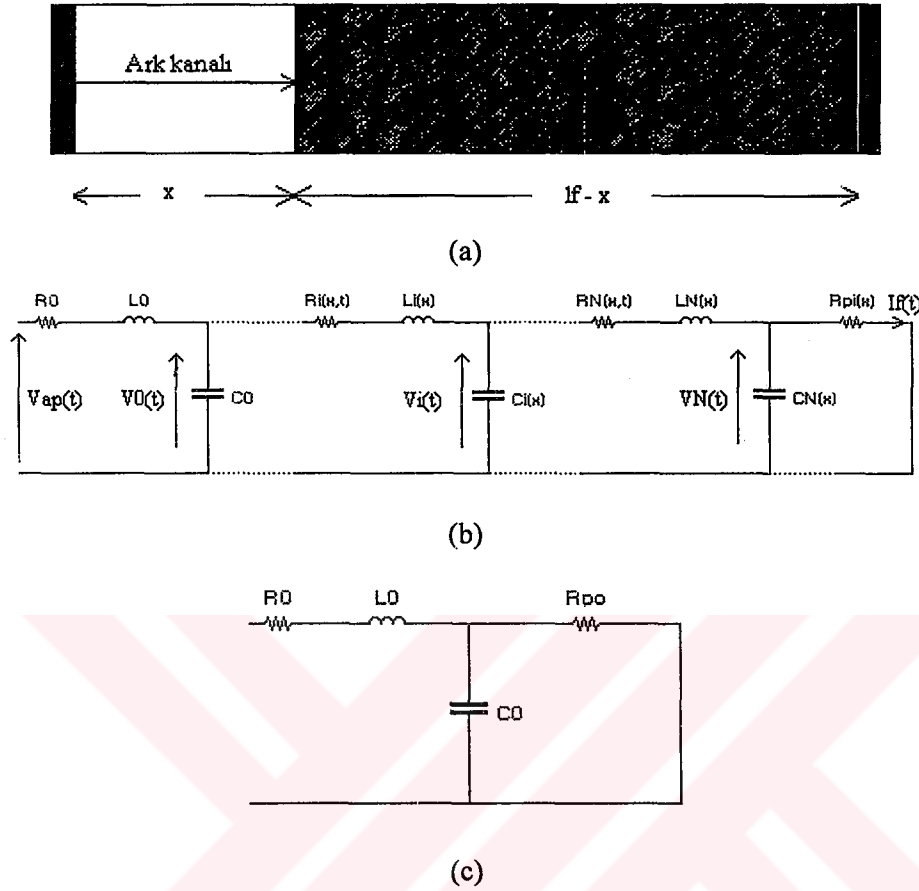
$$R_{ark}(\text{yeni}) = R_{ark}(\text{eski}) + dR_{ark} \quad (3.66)$$

den hesaplanır. Şekil 3.15, bu adımlara ilişkin akış diyagramını göstermektedir [3].



Şekil 3.15. Akış diyagramı

3.4.2. Megriche-Beroual Modeli



Şekil 3.16.

- (a) Deşarj büyümesinin analizi için kullanılan model
- (b) Eşdeğer elektriksel devre
- (c) Tüm deşarj yayılımını tanımlayan elektriksel devre modeli

Bu model deşarj parametrelerinin anlık değişimlerini dikkate alır [1]. Model; verilen gerilim, izolator geometrisi ve kir şiddeti için; akımın zamana bağlı değişimini, ark direncini, yayılım hızını ve atlama zamanını hesaplar.

Şekil 3.16 'da deşarj analizi için kullanılan model, bu modelin elektriksel eşdeğer devresi ve tüm deşarj yayılımını tanımlayan elektriksel devre modeli gösterilmiştir. Bu modelde de tek baskın ark, düzenli kir dağılımı ve düzenli ıslanma kabulleri yapılmıştır. Böylece kirlenmiş izolator ve yüzeyindeki ark yayılımı, Şekil 3.16-b 'de gösterilen eşdeğer devre ile temsil edilmiştir. Elektrod arasında ark yayılımı, r_i yarıçapının ve x_i uzunluğunun silindirik bir kanalı olarak kabul edilmiştir. Ark, Şekil 3.16-b 'de gösterildiği gibi R_i , L_i ve C_i ile tanımlanabilir. Burada V_{ap} uygulanan gerilim, I_f sızma akımı, V_i , R_i , L_i ve C_i sırasıyla i. gerilim, direnç,

indüktans ve kapasite, N ise ark atlamalarının sayısıdır. R_{pi} kısalmamış kir bandının direncidir. Diğer yandan, deşarjın bir R_0 direnci ve buna seri bir L_0 indüktansı ile bir x_0 başlangıç uzunluğuna ve paralel bir C_0 kapasitesine sahip olduğu kabul edilmiştir (Şekil 3.16-c).

Ark yayılım kriterinden [2] faydalananak gerilim ve akım eşitlikleri aşağıdaki gibi belirlenebilir:

$$V_{i-1}(t) - V_i(t) = R_i I_i(t) + L_i \frac{dI_i(t)}{dt} \quad (3.67)$$

$$I_i(t) = I_{i-1}(t) - C_{i-1} \frac{dV_{i-1}(t)}{dt} \quad (3.68)$$

V_i ve I_i sırasıyla i indisine karşılık gelen gerilim ve akımdır. Bu denklem sistemini çözmek için matris formunda yazılan aşağıdaki durum denklemleri kullanılır:

$$\frac{dX(t)}{dt} = AX(t) + BU(t) \quad (3.69)$$

$$Y(t) = CX(t) + DU(t) \quad (3.70)$$

A, B, C ve D sırasıyla sistemin dinamiği, kontrol, inceleme ve direkt iletimi karşılayan durum matrisleridir. $U(t)$ ve $Y(t)$ giriş ve çıkış vektörleridir. Bu durum denklemlerinin çözümü V_0 ve V_i gerilimlerini verir. Ayrıca akımlar ve $X(t)$ durum vektörü de belirlenir. A,B,C,D durum matrisleri eşdeğer devrenin topolojisi ve bileşenlerinin değerleri bilinerek hesaplanır. Bu eşitliklerin çözümü ile her düğümdeki gerilimler elde edilir. N adet atlamadan sonra ark meydana geldiğinde ark akımı

$$I_{ark}(t) = I_N(t) \quad (3.71)$$

olacaktır. Elektrod aralığına enjekte edilen toplam şarj, basit şarjların toplamına eşittir.

$$Q(t) = \sum_{i=1}^N q_i = \sum_{i=0}^N C_i V_i(t) \quad (3.72)$$

Ark gerilimi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$V_{ark}(t) = V_{ap}(t) - V_N(t) \quad (3.73)$$

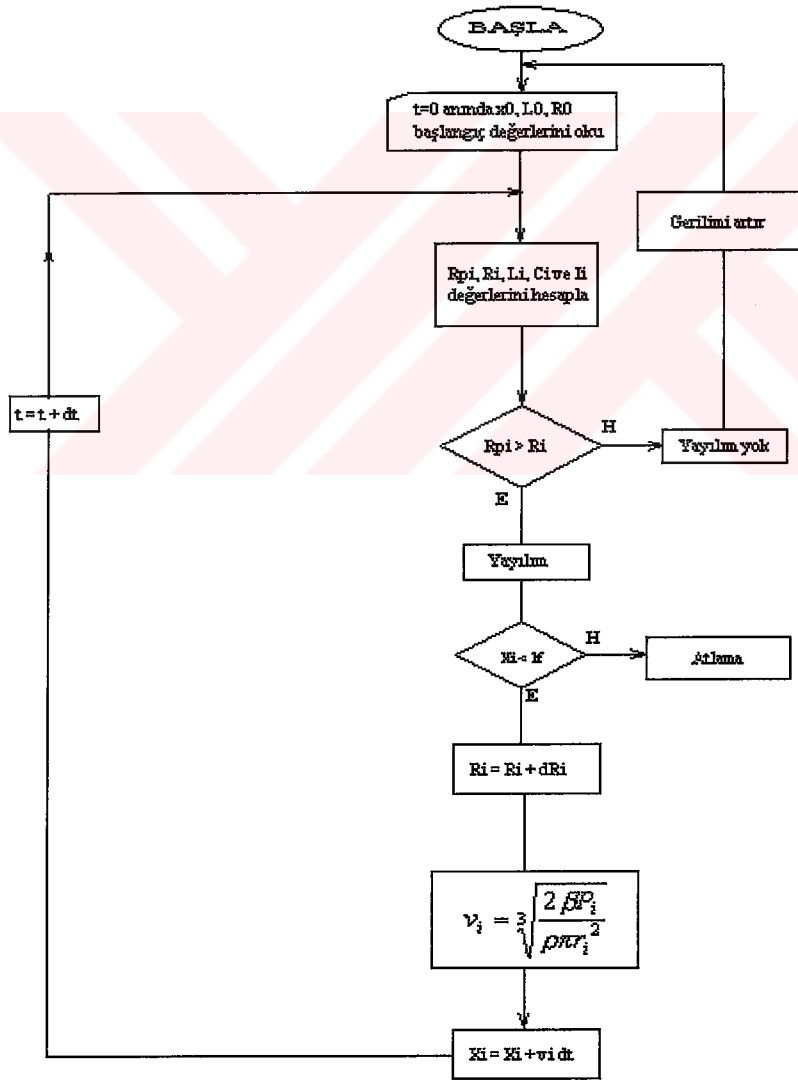
Buna göre P_i gücü ve W_i enerjisi

$$P_i(t) = V_i(t)I_i(t) \quad (3.74)$$

$$W_i(t) = V_i(t)I_i(t)dt \quad (3.75)$$

yazılabilir. R_{pi} , R_i ve C_i devre parametreleri, izolatörün gerçek konfigürasyonu dikkate alınarak hesaplanmıştır [1].

Kir iletkenliği ve izolatör geometrisi gibi sistemin başlangıç şartları bilinerek, önce farklı devre parametreleri hesaplanır. Daha sonra yayılım kriteri test edilir. Eğer kriter tatmin edici değilse, uygulanan gerilim artırılır. Aksi takdirde deşarj yayılır. Eğer ark uzunluğu sızma uzunluğundan daha kısa ve yayılım kriteri tatmin ediciyse, yukarıdaki adımlar tekrarlanır. Eğer ark uzunluğu izolatörün sızma uzunluğuna eşitse, atlama meydana gelir ve bu andaki gerilim atlama gerilimi olarak adlandırılır. Bu hesaplama her kir şiddeti için tekrarlanır.



Şekil 3.17. Ark yayılım modelinin akış diyagramı

Şekil 3.17 'de dinamik atlama gerilimini, atlama zamanını, kir bandının yüzey iletkenliğini ve ark yayılım hızını hesaplayan bilgisayar programının akış diyagramı görülmektedir. Eğer uygulanan gerilim bir atlama oluşturmak için yetersizse, farklı kir iletkenlikleri için sızma akımları hesaplanır ve böylece akımlar deneysel değerlerle karşılaştırılabilir [1].

l_f izolatör uzunluğu, x_i kısmi ark uzunluğu ve r_i ark yarıçapı Wilkins modeline [25] göre hesaplanmıştır. Kirin düzenli olarak biriktiği kabul edilmiş ve silindiriksel konfigürasyon için kir genişliği; D izolatör çapı ve e_p kir kalınlığı olmak üzere denklem (3.76) 'daki gibi verilmiştir.

$$a = \pi \left[\frac{1}{2} D + e_p \right] \quad (3.76)$$

Deşarj kanalının indüktansı belirlenirken, hava aralıklarındaki deşarjlar için Fofana ve Beroual [42] tarafından öne sürülen basitleştirilmiş bir benzetim kullanılmış ve deşarjın son etkileri ihmal edilmiştir. Kanal uzunluğunun L_i per ünit indüktansı iki indüktansın toplamıdır. Kanalda depolanan elektromanyetik enerjiden dolayı oluşan indüktans (iç indüktans)

$$L_1 = \frac{1}{4} \frac{\mu_0}{2\pi} \quad (3.77)$$

ve kanaldan geçen akım akışı tarafından yayılan elektromanyetik alandan dolayı oluşan indüktans

$$L_2 = \frac{\mu_0}{2\pi \left[\ln(D_f / r_i) \right]} \quad (3.78)$$

şeklinde yazılır. Böylece

$$L_i = \frac{\mu_0}{2\pi \left[0.25 + \ln(D_f / r_i) \right]} \quad (3.79)$$

yazılabilir [1].

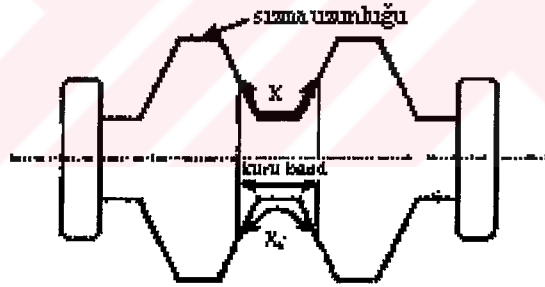
3.4.3. Eşdeğer Silindirik İzolatör Modeli

Şekil 3.18 'de gösterilen izolatör dikkate alınarak, başlangıç kaçak akımı ile izolatörün belirli bölgelerinde kuru bandlar oluştuğu kabul edilmiştir. Kuru band bölgesi hariç, izolatör yüzeyi iletken bir kir tabakası ile kaplanmıştır. Kir tabakasından belirli büyüklükte bir elektrik akımı geçtiğinde bandın içinde ark oluşur. Eğer sızma yolunun toplam uzunluğu L ve kuru bandın genişliği X ise, iletken yolunun uzunluğu $L-X$ olacaktır. Kir tabakasındaki ark uçlarında ve ark köklerinde akım yoğunluğu daha yüksektir. Bununla birlikte, ark köklerindeki bu akım toplanma bölgeleri izolatörün uzunluğuna göre küçük oldukları için ihmal edilebilirler. Şekil 3.18 'de gösterilen izolatör, form faktörü kavramı kullanılarak Şekil 3.19 'daki eşdeğer silindirik bir izolatöre dönüştürülebilir.

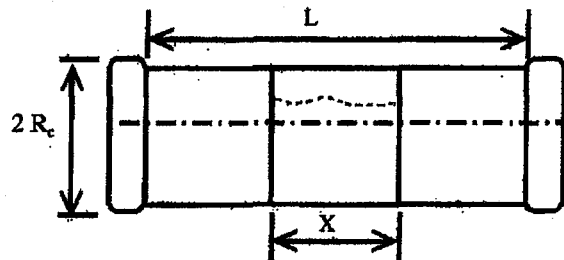
Gerçek izolatörü temsil eden eşdeğer silindir için, Şekil 3.18 'deki izolatör yüzeyi boyunca ölçülen yarıçap; F form faktörü ve L sızma uzunluğu olmak üzere

$$R_c = \frac{L}{2\pi F} \quad (3.80)$$

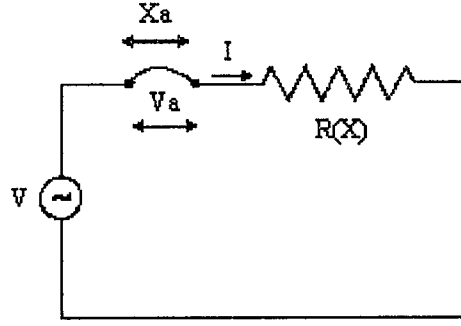
ile verilir. Form faktörü (2.9) eşitliği ile bulunur.



Şekil 3.18. Kirli bir izolatörün yüzeyinde ark oluşumu ve kaçak akım akışı



Şekil 3.19. İzolatörü temsil eden eşdeğer silindirik izolatör



Şekil 3.20. Silindirik izolatör için eşdeğer devre

Uygulanan gerilim tepe değerine ulaşmadan önce her bir kısa zaman aralığında kuru bandların parıldadığı kabul edilmiştir. Kaçak akım darbelerinin tepe değerleri kabaca gerilim tepe değerleriyle çakışır. Kapasitif ve indüktif etkiler göz ardı edildiğinden, hem gerilim hem de akım değişim oranları tepe değerlerinin yanında küçüktür.

Enerjili izolatör, Şekil 3.20 'de gösterilen eşdeğer devre ile temsil edilmiştir. Kuru bandın bir tarafından öbür tarafına olan ark, elektrolitik iletken tabakayı temsil eden lineer $R(x)$ direncine seridir. Devre için Kirchhoff 'un gerilim eşitliği

$$V = V_a + R(X)I \quad (3.81)$$

şeklindedir.

Ark, nonlinear negatif direnç karakteristiğine sahip olduğu için aşağıdaki eşitlik ile gösterilebilir.

$$V_a = AX_a I^{-a} \quad (3.82)$$

Burada; V_a ark gerilimi, A ve a ark sabitleri, X_a ark uzunluğu ve I ark akımıdır.

Ark uzunluğu, X kuru band uzunluğuna mutlaka eşit değildir. X_a ve X arasındaki ilişki

$$X_a = k_a X \quad (3.83)$$

ile verilir. Burada k_a ark uzunluk faktörüdür ($0 < k_a < 1$).

Pratikte $R(X)$ fonksiyonu nonlineerdir. Bununla birlikte, lineer yaklaşık bir fonksiyon ile ilişkilendirilmesi mümkündür.

$$R(X) = \frac{L - X}{2\pi R_C \sigma_s} = \frac{(L - X)F}{L\sigma_s} \quad (3.84)$$

Burada, σ_s ortalama yüzey iletkenliğidir. (3.80) ve (3.84) eşitliklerinin birleştirilmesiyle

$$V = Ak_a XI^{-a} + \frac{(L-X)IF}{L\sigma_s} \quad (3.85)$$

elde edilir [43].

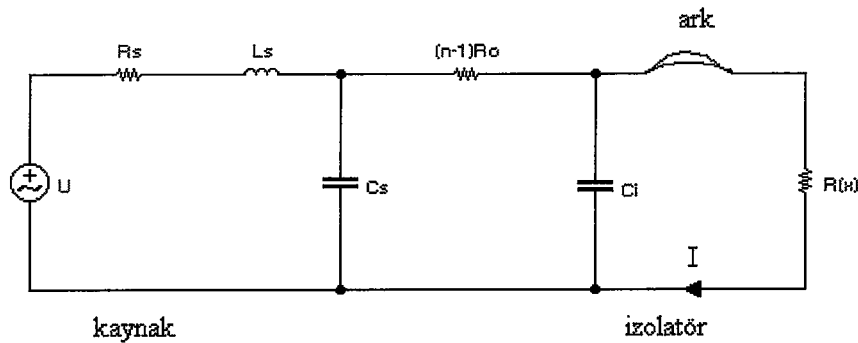
3.4.4. Tekrar Tutuşma Modeli

Rizk 'in dielektrik yeniden tutuşma modelindeki [5] bir kaç yaklaşımı elimine etmek ve kirlenme atlaması üzerinde test kaynağı parametrelerinin etkilerini dikkate almak üzere, Khalifa, Mahdy ve Qureshi basitleştirilmiş bir model önerdiler [44]. Haznadar, Sokolija ve Sadovic tarafından geliştirilen bu model [18], test kaynağı ve izolatörün birlikte gösteriminden (Şekil 3.21) başlar. Bu model düzensiz kir iletkenlikli, değişken dielektrik yeniden tutuşma modelidir. Bu modelde, yüzey iletkenliğinde ısı ve düzensiz ıslanma etkisiyle oluşan değişiklikler dikkate alınmış, üç ortak etkileşimli alanlar sistemi elde edilmiş ve sayısal olarak çözülmüştür.

Bir izolatör boyunca a.a. arkını sürdürmek için gerekli minimum atlama gerilimi, tüm ark uzunlukları için dielektrik iyileşme gerilimini aşan ve akımın sıfır geçişinden sonra görülen geçici iyileşme gerilimi şartından elde edilmiştir. Dielektrik iyileşme gerilimi

$$U_d = \frac{U_{da}(x)}{T(t)} \quad (3.86)$$

ile hesaplanmıştır. Burada; $U_{da}(x)$, ark uzunluğunun bir fonksiyonu olarak normal sıcaklıktaki kıvılcım bozulma gerilimi ve $T(t)$, zamanın fonksiyonu olarak ark çekirdeği ısıdır.



Şekil 3.21. Test devresi

**İC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

$U_{da}(x)$, SEY kullanılarak sayısal olarak hesaplanmıştır. Bunun için gerçek izolatör geometrisi kullanılmıştır. Ark çekirdek sıcaklığı

$$T(t) = \frac{1}{2} \left[300 + \left(e^{-0.8t} + e^{-0.04t} \right) (T_0 - 300) \right] \quad (3.87)$$

ile hesaplanmıştır. Burada; T_0 arkın kesilmesi anında, ark çekirdeğinin mutlak sıcaklığıdır.

Geçici iyileşme gerilimi Şekil 3.21 'deki devreden kolayca hesaplanabilir. Bu gerilimin belirlenmesi için, bilinmeyen sadece izolatör yüzeyinin köprülenmeyen kısmının $R(x)$ direncidir.

Önceki modellerden farklı olarak bu modelde $R(x)$ fonksiyonu izolatörün gerçek şeklini dikkate almaya imkan verecek şekilde sayısal olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, bu amaçla düzensiz ıslanmadan ve sıcaklık etkisinden dolayı oluşan yüzey iletkenliğinin değişimi de dikkate alınmıştır [18].

3.5. Bu Çalışmada Geliştirilen Dinamik Ark Modeli

3.5.1. Modelin Matematiksel Yaklaşımları ve Çözüm Adımları

Kir tabakasında kısmi bir ark meydana gelmiş kirli bir izolatör, Rumeli tarafından teklif edilen ve kirli izolatörü ark 'a seri bir dirençle temsil eden AR modeli kullanılarak modellenmiştir. Bu modelde direnç kir tabakasını temsil eder, deşarj ise başlangıç arkını gösterir. Sızma aralığı üzerinde kısmi arkların oluştuğu, bu arkların çoğalıp sızma uzunluğunu tamamen kaplayarak atlamaya sebep olduğu ve izolatör yüzeyi üzerindeki kir dağılımının homojen bir yapıya sahip olduğu kabulleri yapılmıştır. Ancak iletkenlik değişimi lineer veya üstel olarak göz önüne alınabilir. Ayrıca ark esnasında kir tabakasında meydana gelen sıcaklık değişimleri ve nemin etkisi ihmal edilmiştir.

Bu çalışmada, kirli izolatörlerde görülen kirlenme atlaması problemini inceleyebilmek için dinamik bir model geliştirilmiştir. Kirlenme olayında kuru bantlarda oluşan deşarjlar ve kir tabakasının direnç değişimi önemlidir. Kir tabakasının direnci AR modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

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

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

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

$$W = \int_V \rho E^2 dv \quad (3.88)$$

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

$$We = \int_S \rho_s \left[\left(\frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy \quad (3.89)$$

Burada $\rho_s = \rho/h$ yüzey iletkenliği olup, h kir tabakasının kalınlığıdır. Bu enerji fonksiyonelinin minimizasyonu sonucunda incelenen bölge için potansiyel dağılımı elde edilir [8,45].

Adım 2: İzolatör yüzeyi üzerinde sızma aralığı boyunca alan şiddeti değerleri ve yerleri belirlenir. SEY ile belirlenen düğüm potansiyellerinden, çözüm için kullanılan her bir üçgen elemana ilişkin alan şiddeti değerleri

$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} \quad (3.90)$$

$$E_y = -\frac{\partial V}{\partial y} \quad (3.91)$$

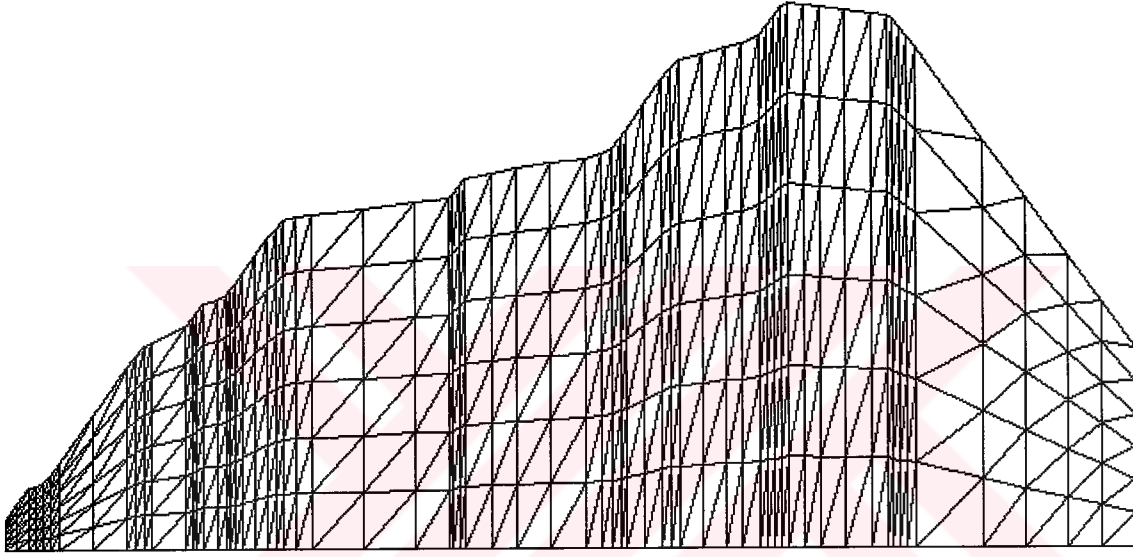
denklemlerinden yararlanılarak

$$|\vec{E}| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (3.92)$$

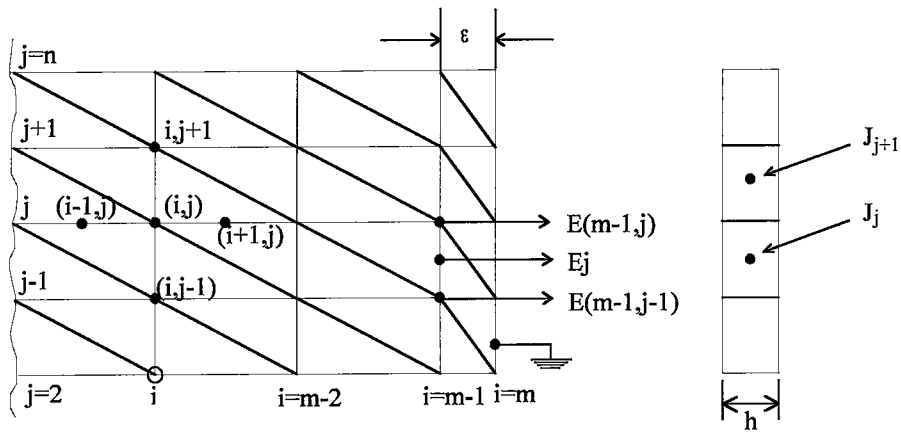
şeklinde hesaplanır. Burada E_x ve E_y alan şiddetinin x ve y doğrultusundaki bileşenleridir. Yöntem uygulanırken, türev hesaplamaları için üçgen elemana ilişkin köşe potansiyelleri, üçgen elemanın alanı ve interpolasyon fonksiyonları kullanılır.

TRTÜRKİYE
T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI
T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI
T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI

Adım 3: SEY yardımıyla ark 'a seri kir direnci ($R(x)$) değerleri AR modeli kullanılarak hesaplanır. Bir izolatöre ait AR modeli üzerinde potansiyeller yardımıyla $R(x)$ değişiminin bulunabilmesi amacıyla, bu çözüm bölgesi üçgen elemanlar ile bölmelenmiş ve izolatörün kapak ve sap kısımlarına başlangıç şartları uygulanarak çözüm elde edilmiştir. Şekil 3.22 'de 80 F 140 W izolatörü için elde edilen AR modelinin üçgenlere bölünmüş hali görülmektedir. Kapak kısmına oldukça yakın olan bölgede üçgenlere bölünmüş dörtgenlerden yararlanılmıştır. İki elektrot arasındaki toplam direnç aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [46,47].



Şekil 3.22. 80 F 140 W izolatörüne ait AR modelinin üçgen elemanlarla bölmelenmiş hali



Şekil 3.23. Direnç hesabı

Şekil 3.23 'de gösterilen, işletme geriliminin uygulandığı (i,2) noktasındaki elektrot (pin) ile sıfır potansiyelindeki (m,j; j=2,...,n) elektrot (kapak) arasındaki toplam direnç, $\nabla^2 V=0$ denkleminin belirlenen sınır şartları altındaki çözümünden bulunur. Rumeli [11], model üzerinde yerleştirilen sondayı sızma aralığı boyunca, sap tarafından kapağa doğru belirli aralıklarla ilerleterek R(x) değişimini hesaplamış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. Geliştirilen bu yeni modelde ise, sonda yerine sızma aralığı üzerindeki noktalara ait potansiyel değerleri hesaba katılmıştır.

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

$$E(m-1, j) = \frac{V(m-1, j)}{\epsilon}, \quad j=2, \dots, n \quad (3.93)$$

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

$$J_j = \chi \cdot E_j = \chi \frac{E(m-1, j-1) + E(m-1, j)}{2} \quad (3.94)$$

veya

$$J_j = \chi \cdot V_{ORT} \quad (3.95)$$

bağıntısı geçerlidir. Burada V_{ORT} , topraklı elektroda yakın sık bölmelenmiş üçgenlere ait komşu iki düğüm noktasının potansiyellerinin ortalaması alınarak elde edilir. h kir tabakasının kalınlığını göstermektedir. I topraklı elektroda geçen akım olmak üzere, gerilimin uygulandığı elektrot ile topraklı elektrot arasındaki toplam direnç

$$R_T = \frac{V}{2 \cdot I} = \frac{V \cdot R}{2 \cdot V_{ORT}} \quad (3.96)$$

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

Adım 4: İzolatör yüzeyi üzerinde atlama kriterini ($E > E_{ark}$) sağlayan kısmi deşarjın meydana geldiği noktalar belirlenir. Bu adımda kir tabakasından akan toplam akım

$$I_{TOP} = \frac{V_{ORT}}{R_T} \quad (3.97)$$

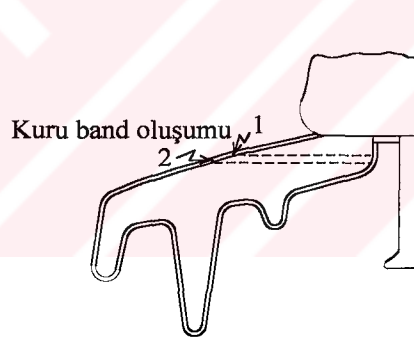
ve E_{ark} ile gösterilen ark gerilim gradyenti

$$E_{ark} = AI_{TOP}^{-n} \quad (3.98)$$

şeklinde hesaplanır. Burada ark 'ın hava ortamında tutuştuğu kabul edilerek, a.a. için $A=63$ ve $n=0.76$, d.a. için $A=46$ ve $n=0.78$ alınmıştır.

Adım 5: İzolatör yüzeyindeki herhangi iki nokta arasında ark meydana gelmesi durumunda bu iki noktanın potansiyelleri eşit kabul edilir ($V_1=V_2$) [48]. Bu durum bir sonraki adım için yapılacak olan hesaplamada başlangıç şartı olarak kullanılacaktır. Bunun için,deşarj kriteri tarafından arkın oluşacağı belirlendiğinde $V_1=V_2$ şartı denklem sistemine enjekte edilmelidir. Bu işlemi yapmanın kolay bir yolu lagrange çarpanlarını kullanmaktır [45,49].

Adım 6: Arkın oluştuğu iki nokta arasındaki bölgede kuru band oluşması nedeniyle, ark 'a seri kir direnci hesabında bu durum dikkate alınır. Şekil 3.24 'de izolatör yüzeyinde 1 ve 2 noktaları arasında kuru band oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Dinamik modelde kuru band oluşumu

Adım 7: Ark yayılma kriteri, kir tabakasının elektrik alanının arkın elektrik alanından daha büyük olmasıdır ($E > E_{ark}$). Kir tabakasının gerilim gradyenti ark gradyentinden daha büyük olursa, akımdaki artış ile ark yolunun iyonizasyonu sağlanacaktır. Bu durumda gerilim gradyenti arkın önünde olacak ve ark yayılacaktır. Aksi takdirde ark sönecektir. Şebeke gerilimi ve yüzey iletkenliği lineer veya üstel olarak artırılmış ve yukarıdaki adımlar tekrarlanarak arkın yayılma durumu incelenmiştir. Eğer $E_{ark} \geq E$ ise ark söner.

$E > E_{ark}$ durumunda, verilen bir kir seviyesi ve uygulanan gerilim için ark uzunluğu izolatörün sızma uzunluğuna eşitse bu bir atlamadır. Eğer ark uzunluğu sızma uzunluğundan küçük ise ve ark yayılım kriteri sağlanmışsa, ark direncindeki dinamik değişim hesaplanır ve

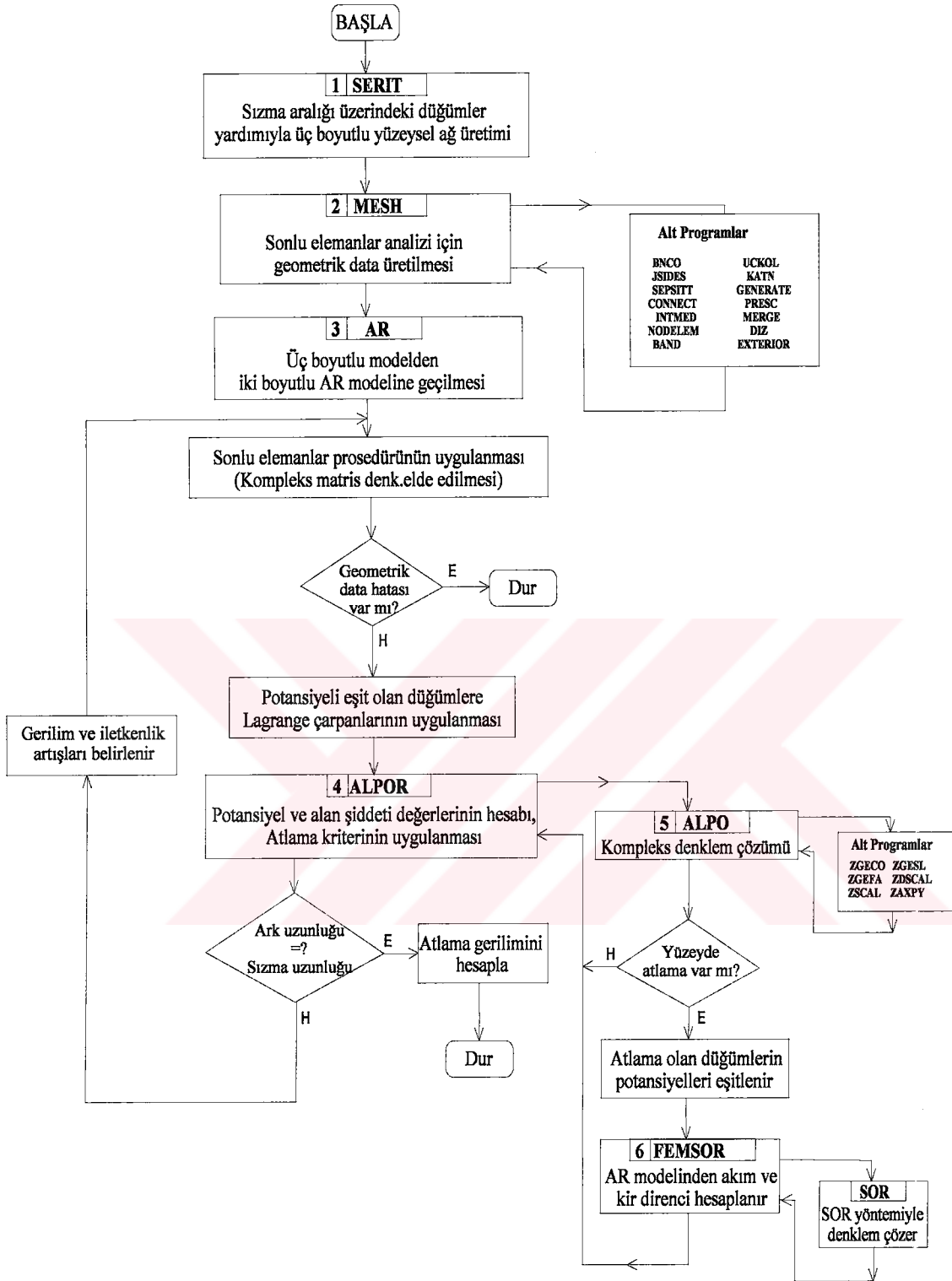
yeni direnç değeri için aynı işlemler tekrarlanır. Eğer ark yayılım kriteri yine sağlanmazsa uygulanan gerilim artırılır ve yukarıdaki adımlar tekrarlanır. Herhangi iki veya daha fazla noktada ark meydana gelirse, 2. adıma geri dönlür ve sızma aralığı üzerindeki tüm düğümlerde ark meydana gelinceye kadar işlem adımları tekrarlanır.

3.5.2. Bilgisayar Programının Yapısı

FORTTRAN dilinde yazılan ATLAMA ana programı, genel olarak 6 alt programa ayrılmıştır. Bunlar da toplam 27 alt programdan yararlanır. Bu alt programlar; sızma aralığı üzerindeki düğümleri kullanarak izolatörün üç boyutlu modeli için yüzey üzerindeki bütün düğümlerin koordinatlarının elde edildiği SERIT alt programı, sonlu elemanlar analizi için gerekli olan bütün verilerin elde edildiği MESH alt programı, üç boyutlu modelden iki boyutlu AR modeline geçişin yapıldığı AR alt programı, başlangıç datasından yararlanılarak sızma aralığı üzerindeki düğümlerin potansiyellerinin ve elektrik alan şiddetlerinin elde edildiği ALPOR alt programı, kompleks denklem çözümü yapan ALPO alt programı ve sızma aralığı üzerindeki kir tabakasının direncinin hesaplandığı FEMSOR alt programıdır.

Kirli bir izolatörün yüzeysel atlama performansının belirlenmesi için; izolatörün çapı ve sızma uzunluğu, izolatör profili, izolatörün kullanılacağı bölgenin kir yoğunluğu, atmosferik şartlar, gerilimin cinsi ve seviyesi vb. büyüklükler giriş datası olarak alınmıştır. SEY 'i kullanan bu program yardımıyla ilk olarak yüzeyi kir ile kaplı bir izolatördeki potansiyel ve alan dağılımları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlere göre, izolatör yüzeyi üzerinde kısmi deşarja neden olabilecek noktalar, atlama kriterleri ile kontrol edilerek belirlenmiştir. Herhangi bir andaki işletme geriliminin değerine ve kir tabakasının iletkenliğine bağlı olarak izolatör yüzeyi üzerindeki bir noktada hesaplanan alan şiddeti, efektif kir gradyan değerinden büyük olursa atlama kriteri sağlanmış olur ve o noktada kısmi deşarj meydana gelir. Kısmi deşarjların zamana bağlı olarak yayılması, kirli izolatör üzerinden akan kaçak akımın artmasına ve olayın yüzeysel atlama ile sonuçlanmasına neden olur. Daha sonra alan şiddeti değişimleri, iletkenliğin artması durumu için bulunmuştur.

Şekil 3.25 'de ATLAMA programının genel bir akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.25. ATLAMA programının akış diyagramı

ATLAMA programında ilk olarak sızma aralığı üzerinde bulunan düğümler ve koordinatları okunur. İzolatör, eksenel simetriye sahip olduğundan, sadece sızma aralığı boyunca bir çizgi halinde noktaların koordinatlarından yararlanılarak, belirtilen bir açı miktarınca bütün düğümler 360^0 döndürülerek izolatör yüzeyi boyunca bütün düğümlerin koordinatları elde edilir ve bu koordinatlar SEY ile yapılacak çözüme uygun formatta düzenlenerek saklanır. Daha sonra el ile yapılan bölmelemeye ait bütün düğüm koordinatları, her bir elemanı belirleyen üç düğüm numarası, fonksiyonun tanımlandığı düğümler ve potansiyelleri, her bir elemana ait dielektrik sabitleri, izolatörü belirleyen sınır noktalarına ait koordinatlar ve sızma aralığı üzerindeki düğümler ve koordinatları okunur. Daha sonra program içinde dielektrik sabiti (ϵ_0, ϵ_r), iletkenlik (σ), π , frekans (f) vb. sabitler belirtilir. Bütün düğümlere ait potansiyeller hesaplanır. Kir tabakasından akan akım hesaplandıktan sonra, yine bütün düğümlere ait alan şiddetleri hesaplanır. Sızma aralığı boyunca, sırasıyla her iki düğüm arasındaki ΔE alan şiddeti farkı kontrol edilir. Bu fark belirli bir değerden daha büyük ise, bu iki düğüm arasında ark meydana geldiği kabul edilir ve potansiyeli küçük olan düğümün gerilim değeri büyük olan gerilime eşitlenir. Arkın meydana geldiği düğüm numaraları ve potansiyel değeri, başlangıçta potansiyeli belli olan düğümlerin oluşturduğu diziye eklenir. Tekrar düğüm potansiyellerinin elde edildiği kısma dönülür ve potansiyel değeri artırılır. Düğümler arasındaki alan şiddeti değerleri tekrar kontrol edilerek arkın oluşup oluşmadığına bakılır. Eğer bütün düğümler arasında ark oluşursa izolatör yüzeyi boyunca atlama meydana gelmiş olur.

Model üzerindeki düğümlerin potansiyelleri ve bu düğümler ile topraklı elektrot arasında bulunan ve yüzey iletkenlik değeri bilinen kir tabakası parçalarından geçen akımlar bulunmuştur. Direnç değeri; sap kısmına uygulanan gerilimin, sızma aralığı üzerindeki noktalardan topraklı elektroda geçen toplam akıma bölünmesi suretiyle hesaplanmıştır. Bu çalışmada, ark 'a seri kir direnci hesabında AR modeli kullanılmıştır.

Kapak üzerine gelen düğümlere sıfır volt ve sap üzerine gelen düğümlere işletme gerilimi uygulanır. Çözüme başlamadan önce katsayılar matrisi ve sağ taraf matrisi sıfırlanır. Daha sonra fonksiyonun başlangıç değerleri katsayılar matrisine yerleştirilir. Kapak üzerine gelen düğümlerin potansiyellerinin eşit olması sağlanır. SEY kullanılarak elde edilen sistem matris eşitliği SOR yöntemi ile çözülür.

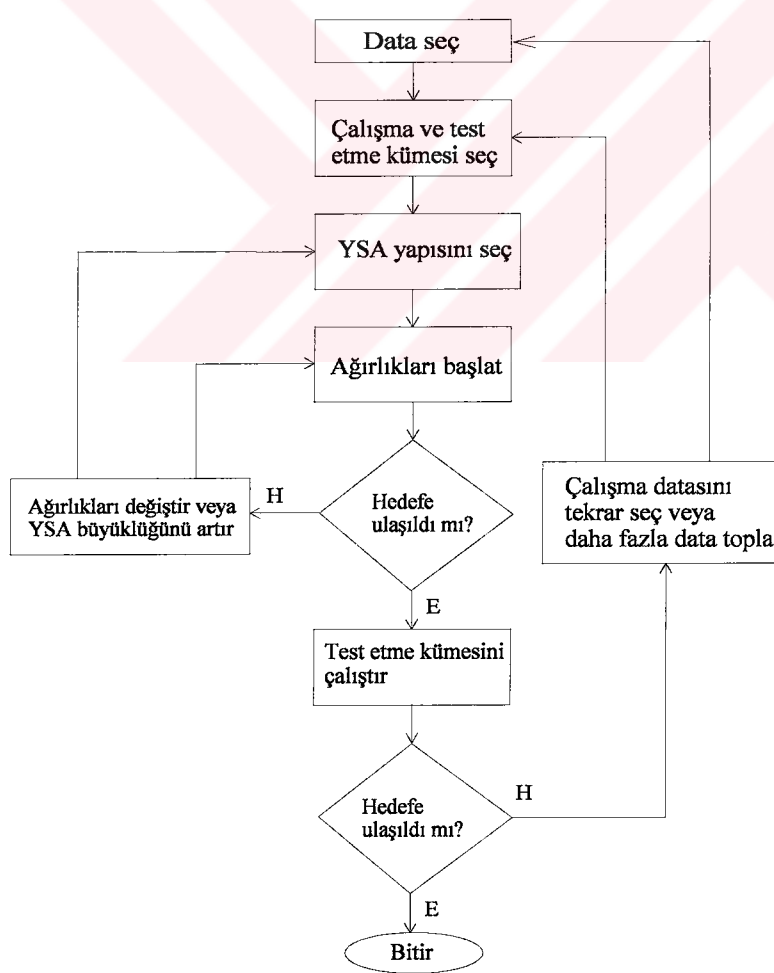
Atlama olayı ile ilgili hesaplamalarda izolatör yüzeyindeki kir tabakasının homojen olduğu kabul edilmiştir. Ancak gerçekte, bu kir tabakasının dağılımı nonlineerdir, dolayısıyla herhangi bir kısmi deşarj anında izolatör yüzeyi farklı ısınma miktarlarına maruz kalır. Kir tabakasının homojen olmadığı dikkate alındığında, atlama olayı matematiksel olarak ifade edilemez duruma gelmektedir. Geliştirilmiş olan yapay sinir ağının, özellikle bu noktada kullanılmasıyla bu zorluk ortadan kaldırılabilir.

4. YAPAY SİNİR AĞLARI

4.1. Giriş

Bir problemi çözmek için YSA uygulanırken belirlenmesi gereken birkaç nokta vardır. Bunlar; test etme datası, hedef data, data skalendirme metodu, çalışma metodu, ağ yapısı ve çalışmanın seçimidir.

Şekil 4.1, YSA çalıştırıldığı zaman takip edilen metodolojiyi gösterir. İlk olarak YSA ‘yı test etmek veya çalıştırmak için kullanılan datalar oluşturulmalı ve seçilmelidir. Bu datalar toplanırken, test kümesi ve çalışma kümesi olarak ayrılmalıdır. Çalışma kümesinin çalışma giriş aralığını kapsamaması gerekir. Eğer belirli şartlar için çalışma datası yoksa, ağın çıkışı güvenilir sonuçlar veremeyebilir. Dataların, çalışma ve test etme dataları olarak bölünmesi bu yöntemin ve deneme yanılma prosedürünün önemli bir bölümüdür. Çalışma kümesi küçük tutulursa çalışma daha hızlı olur.



Şekil 4.1. Yapay sinir ağı çalışma akış şeması

4.2. Yapay Sinir Ağı Yapıları

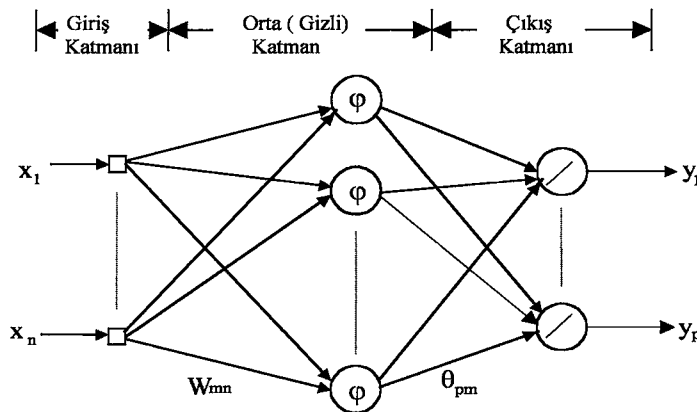
Bu bölümde verilen temel YSA yapılarının dışında radyal tabanlı fonksiyon ağları (RTFA), fonksiyonel link ağları (FLA), beyinsel model bağlantılı denetleyiciler (BMBD) ve B-Spline ağları gibi çok çeşitli YSA yapıları da geliştirilmiş ve çeşitli problemlerin çözümünde kullanılmıştır.

4.2.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

İleri beslemeli YSA 'da, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta (gizli) katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Bu yapısı ile ileri beslemeli ağlar doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirirler. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA 'nın, orta katmanında yeterli sayıda hücre olmak kaydıyla, herhangi bir sürekli fonksiyonu istenilen doğrulukta yaklaştırabileceği gösterilmiştir. Geriye yayılım öğrenme algoritması, bu tip YSA 'ların eğitiminde etkin olarak kullanılmakta ve bazen bu ağlara geriye yayılım ağları da denilmektedir. Şekil 4.2 'de giriş, orta ve çıkış katmanı olmak üzere 3 katmanlı ileri beslemeli bir YSA yapısı verilmiştir.

İleri beslemeli 3 katmanlı ve çıkış katmanı doğrusal olan YSA 'nın matematiksel modeli, x giriş vektörünü, o orta katman çıkış vektörünü, y ağ çıkış vektörünü göstermek üzere denklem (4.1) 'deki gibi yazılır. x_0 ve o_0 girişleri polarma ya da eşik girişleridir.

$$\begin{aligned} v_j &= \sum_{i=0}^n W_{ji} \cdot x_i, \quad o_j = \varphi(v_j) \quad j = 1, 2, \dots, m \\ y_\ell &= \sum_{j=0}^m \theta_{\ell j} \cdot o_j, \quad \ell = 1, 2, \dots, p \end{aligned} \quad (4.1)$$



Şekil 4.2. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA

İleri beslemeli YSA, katman sayısı ve orta katmandaki hücre sayısı gibi kesin belirlenememiş bilgilere rağmen, nesne tanıma ve sinyal işleme gibi alanların yanı sıra, sistemlerin tanınması ve denetiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır [50].

4.2.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

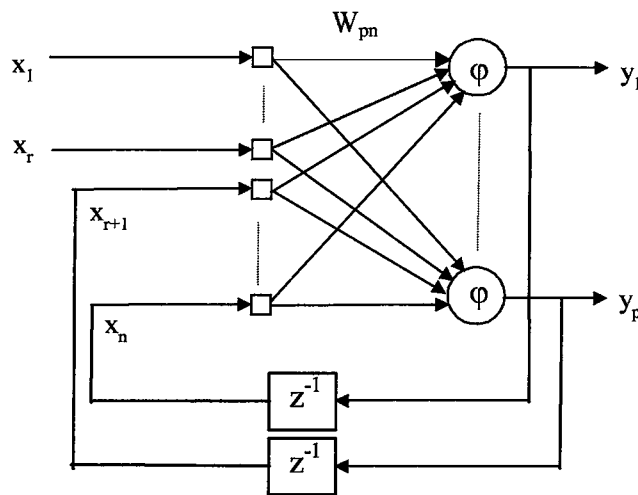
Geri beslemeli YSA 'da, en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücrelere giriş olarak verilir ve genellikle geri besleme bir gecikme elemanı üzerinden yapılır. Geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olabileceği gibi katmanlar arasındaki hücreler arasında da olabilir. Bu yapısı ile geri beslemeli YSA, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterir. Şekil 4.3 'de iki katmanlı ve çıkışlarından giriş katmanına geri beslemeli bir YSA yapısı görülmektedir.

Şekil 4.3 'de verilen geri beslemeli YSA 'da giriş vektörü, r adet dış giriş ve p adet gecikmiş ağ çıkışlarından oluşmaktadır. Buna göre YSA 'nın giriş vektörü aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_r, y_1(-1), y_2(-1), \dots, y_p(-1)) \quad (4.2)$$

Toplam $n = r + p$ adet ağ girişine göre YSA 'nın çıkışları denklem (4.3) 'deki gibi yazılabilir [50].

$$y_j = \phi\left(\sum_{i=0}^n W_{ji} \cdot x_i\right) \quad j=0,1,2,\dots,p \quad (4.3)$$



Şekil 4.3. Geri beslemeli 2 katmanlı YSA

4.2.3. Gauss Merkezci Taban Fonksiyonlu Yapay Sinir Ağları

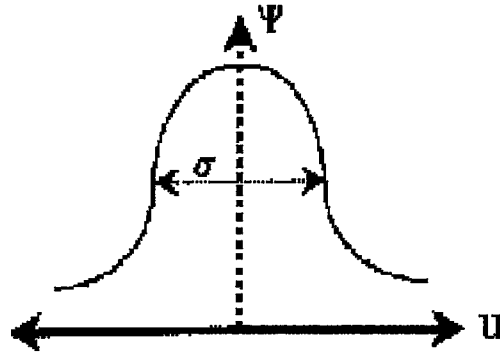
Gauss merkezci taban fonksiyonlu sinir ağı yapısal olarak ileri sürümlü sinir ağına benzerler. Tek bir gizli katmanları vardır ve bu gizli katmanda özel bir nonlinear aktivasyon fonksiyonuna sahip nöronlar bulundurulur. Özellikle, giriş vektörünün tanımlı olduğu uzayı alt uzaylara bölerek verilen eşleştirmeyi, bu alt uzaylar üzerinde gerçekleştirmek suretiyle yerel özelliklerin çıkarsanmasında oldukça başarılı mimarilerdir. Çalışma felsefesi olarak belli koşullar sağlandığında nöronların sahip olduğu özel fonksiyonların belirlediği alt uzaylar bulanık mantıkta karşılaşılan kuralların belirlediği alt uzaylara eşdeğerdir [51].

Şekil 4.4 'de denklem (4.4) ile tanımlanan gauss merkezci taban fonksiyonu gösterilmiştir. Her bir fonksiyonun özelliklerini merkez (c) ve varyans (σ) olmak üzere iki parametre belirler. (4.4) denkleminden de anlaşılabileceği gibi varyans arttıkça eğri daha da yayvanlaşmakta ve fonksiyonun sayısal olarak duyarlı olduğu bölge genişlemektedir. Buradan alt uzayların ne şekilde büyüyebileceği ya da küçülebileceği hakkında bir sonuç çıkarmak mümkündür.

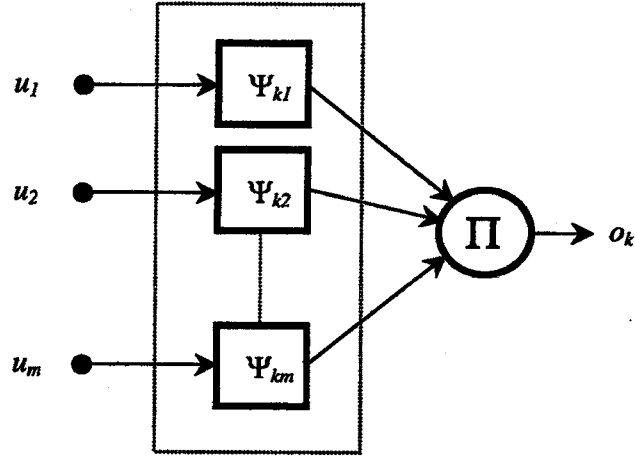
$$\Psi(u, c, \sigma) = \exp\left\{-\left(\frac{u - c}{\sigma}\right)^2\right\} \quad (4.4)$$

Gauss merkezci taban fonksiyonlu sinir ağlarının ileri yönde veri akışı denklemlerine geçmeden önce sistemi oluşturan nöron yapısını ve nöron bazında matematiksel denklemleri vermek yerinde olacaktır. Şekil 4.5 ile gösterilen nöron yapısı ele alınırsa gizli katmanda yer alan nöronların çıkış değerleri (4.5) denklemindeki gibi hesaplanır.

$$o_k = \prod_{i=1}^m \Psi(u_i, c_i, \sigma_i) \quad (4.5)$$



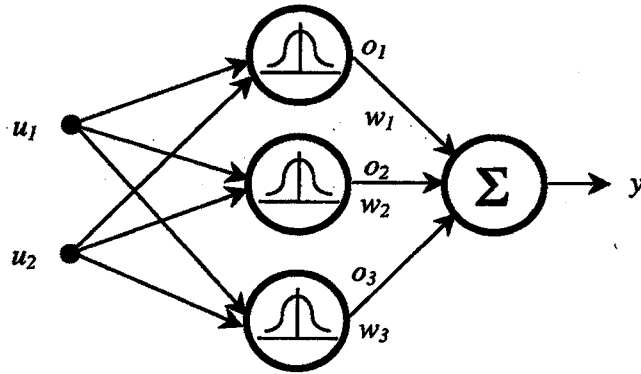
Şekil 4.4. Gauss merkezci taban fonksiyonu



Şekil 4.5. Gauss merkezci taban fonksiyonlu bir ağ yapısının gizli katmanında k. nöron

Şekil 4.6 'da 2 girişli ve 3 gizli nörona sahip bir ağ yapısı gösterilmiştir. Her bir nöronun çıkışı (4.5) denklemiyle verilen bağıntıya göre hesaplanır ve bu çıkışların (4.6) denklemindeki ağırlıklı toplam içerisinde kullanılması ile ağ cevabı bulunur. Burada w_i ağırlık parametresini, H ise gizli katmandaki nöron sayısını göstermektedir [52].

$$y = \sum_{i=1}^H w_i o_i = \sum_{i=1}^H \left(w_i \prod_{j=1}^m \Psi(u_j, c_{ij}, \sigma_{ij}) \right) \quad (4.6)$$



Şekil 4.6. 2 girişli ve 3 gizli nörona sahip bir gauss merkezci taban fonksiyonlu YSA

4.2.4. Dinamik Yapay Sinir Ağları

Bu bölümde ele alınan nöronlar ve bu nöronlar ile oluşturulan ağ yapısı, nöron içerisinde geri besleme yollarının ve bellek elemanlarının var olması dolayısıyla dinamik bir davranış göstermektedirler. İlk olarak Gupta ve Rao tarafından önerilmiş olan bu yapı [53] sistem tanılama ve denetimi alanlarında başarılı sonuçlar verebildiğinden günümüzde bu alanlarda sıkça kullanılmaktadır.

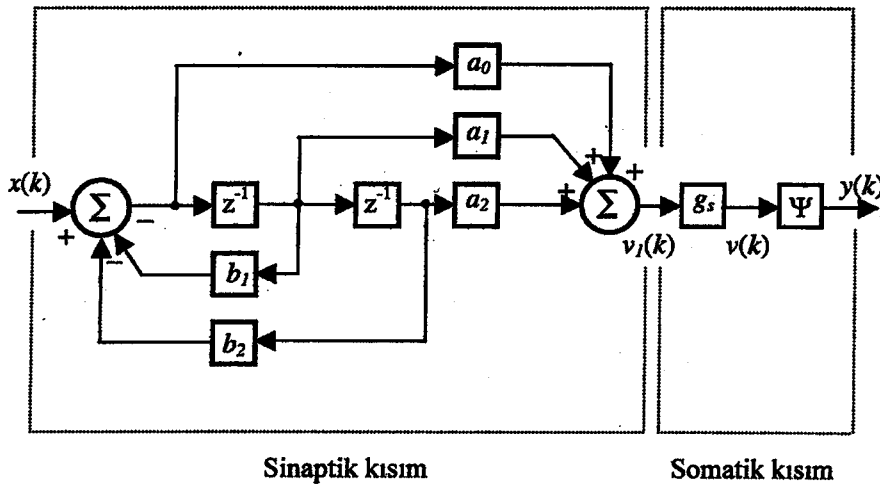
Dinamik sinir ağlarında kullanılan nöronlar yapısal olarak sinaptik ve somatik olmak üzere iki ayrı parçadan oluşur. Sinaptik kısımda ayrık zamanlı bir transfer fonksiyonu gerçekleşir, somatik kısımda ise eğim kazancı ve bir aktivasyon fonksiyonu vardır. İkinci dereceden ayrık zamanlı bir transfer fonksiyonuna sahip olan tek girişli, tek çıkışlı bir nöron yapısı şekil 4.7 'de gösterilmiştir. Gösterilen nöron, uyarlanabilir parametre kümesi olarak üç adet ileri yön kazancı, iki adet geri besleme kazancı ve bir adet eğim belirleyici kazanç katsayısı içermektedir.

Şekil 4.7 'de gösterilen dinamik nöron yapısında ileri yönde veri akışı sinaptik ve somatik olmak üzere iki işlemi gerektirir. Sinaptik işlemin davranışını belirleyen fark denklem (4.7) ile, somatik işlem ise (4.8) ve (4.9) denklemleri ile verilmiştir.

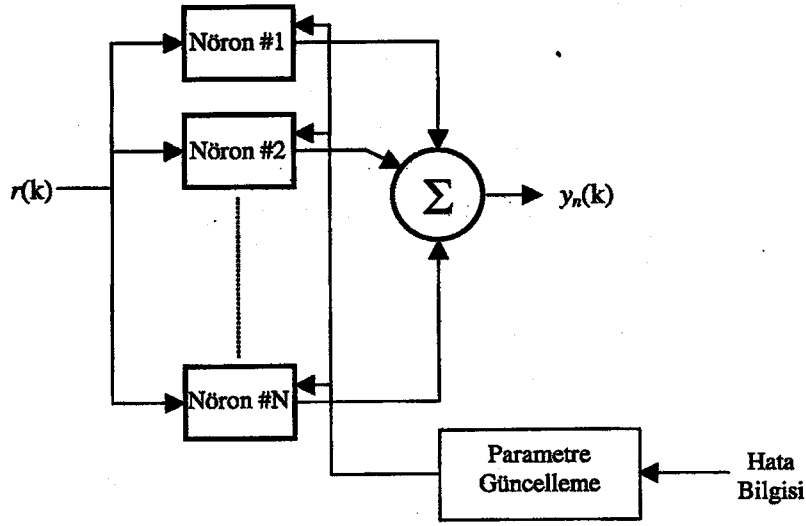
$$v_1(k) = -b_1 v_1(k-1) - b_2 v_1(k-2) + a_0 x(k) + a_1 x(k-1) + a_2 x(k-2) \quad (4.7)$$

$$v(k) = g_s v_1(k) \quad (4.8)$$

$$y(k) = \Psi(v_1(k)) = \tanh(g_s v_1(k)) \quad (4.9)$$



Şekil 4.7. Dinamik sinir ağlarında kullanılan nöronların yapısı



Şekil 4.8. Dinamik ağ birimlerinin katman oluşturması

Dinamik nöronlar kullanılarak oluşturulan bir ağ yapısı Şekil 4.8 'de gösterilmiştir. Şekil 4.8 'e göre katman içerisindeki nöronlar aynı girdiyi almakta ve her biri yukarıdaki denklemlere göre bir çıkış üretmektedir. Katman çıkışında elde edilen değer ise (4.10) denkleminde verildiği gibi her bir nöron cevabının toplamından oluşmaktadır [54].

$$y_n(k) = \sum_{i=1}^N y_i(k) \quad (4.10)$$

4.3. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları

YSA 'nın sahip olduğu bilgi, işlem elemanları arasındaki bağlantı hatları üzerinde saklanır ve ağırlıklar vasıtası ile gösterilir. Ağ, olaylar hakkındaki girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi, elde bulunan mevcut örneklerden genellemeler yaparak öğrenir ve bu genelleme ile yeni oluşan ve ortaya çıkan daha önce hiç görülmemiş olaylar hakkında karar verir. Yani ağa bir örnek olay gösterildiğinde, girdi katmanından alınıp ara katmanlarda işlenerek, ağın o olay hakkında ürettiği sonuç, çıktı katmanına sunulur. Bu bilgiyi işleme, ağın sahip olduğu tecrübeye göre, bilginin ara katmanlarda çağrıştırılması ile gerçekleştirilir. Kısaca belirtmek gerekirse öğrenme kuralları, bir işlem elemanının örnekleri gördükçe kazandığı tecrübeye göre, ilgili bağlantı ağırlıklarını nasıl değiştireceğini belirleyen algoritmalarıdır. Öğrenme yöntemleri temelde üç grupta toplanır [54].

1) Eğitici Öğrenme : Bu yöntemde, dışarıdan bir eğiticinin sinir ağına müdahalesi söz konusudur. Eğitici, sinir ağının ilgili girdi için üretmesi gereken sonucu sinir ağı sistemine verir.

Yani yapay sinir ağına girdi/çıktı ikilisinden oluşan örnekler sunulur. Bu ikili, ağın öğrenmesi gereken özellikleri temsil eder. Ağ girdi kısmını alır ve o anki bağlantı ağırlıklarının temsil ettiği bilgi ile bir çıktı oluşturur. Bu çıktı, olması gereken çıktı ile mukayese edilir ve aradaki hata tekrar ağa aktarılarak ağırlıklar bu hatayı azaltacak şekilde değiştirilir.

2) Eğitici-siz Öğrenme : Bu durumda hiç bir eğiticiye ihtiyaç yoktur. Bu nedenle çoğu zaman buna kendi kendine organize olma (self-organized learning) da denilmektedir. Ağ, kendine gösterilen örnekleri alır ve belli bir kritere göre sınıflandırır. Bu kriter önceden bilinmeyebilir. Ağ, kendi öğrenme kriterlerini kendisi oluşturmaktadır.

3) Takviyeli Öğrenme : Bu yöntemde de yine eğiticiye ihtiyaç vardır. Yukarıdaki yöntemden farkı ise, bu durumda eğiticinin, ağın üretmesi gereken sonuç yerine, onun ürettiği sonucun sadece doğru veya yanlış olduğunu söylemesidir. Bu ise ağa bir takviye sinyalinin gönderilmesi ile gerçekleştirilir. Bu yöntem, ilgili örnek için beklenen çıktının oluşturulamadığı durumlarda çok faydalıdır.

Öğrenme işleminin, başlangıçtaki rastgele seçilmiş ağırlıkların, belirli bir kurala göre değiştirilmesine dayandığı belirtilmişti. Bu öğrenme kurallarının önemli olanlarından bazıları aşağıda yer almaktadır. Bu algoritmalarda, $w_i = [w_{i1} \ w_{i2} \ ... \ w_{im}]$ vektörü ağdaki i. hücreye gelen n tane girişin ağırlık katsayılarını, $x = [x_1 \ x_2 \ ... \ x_n]$ vektörü ağa gelen n tane girişi, y_i ve d_i 'de sırasıyla i. hücrenin hesaplanan ve istenen çıkışını temsil etmektedirler.

Hebb Öğrenme Algoritması :

Hebb öğrenme algoritmasında temel fikir, hücrenin çıkış üretmesi için gerekli olan bağlantıların ağırlık katsayılarını büyütürken etkilerini artırmaktır. Buna göre değişim aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \varepsilon \cdot f(w_i(t) \cdot x(t)) \cdot x(t) \quad (4.11)$$

veya

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \varepsilon \cdot y_i(t) \cdot x(t) \quad (4.12)$$

Burada ε öğrenme katsayısı veya öğrenme oranıdır. Dışarıdan istenilen bir çıkış uygulanmadığından, eğitici-siz bir öğrenme algoritmasıdır.

Algılayıcı (Perceptron) Öğrenme Algoritması :

Rosenblatt tarafından önerilen algılayıcı öğrenme algoritmasında w değişimi, nöron çıkışı ve istenilen çıkışın farkı ile orantılıdır. Dolayısıyla eğitici bir öğrenme algoritmasıdır.

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \varepsilon \cdot [d_i(t) - \text{sgn}(w_i(t) \cdot x(t))] \cdot x(t) \quad (4.13)$$

Ağın ürettiği çıkış istenen çıkıştan farklı ise, hata azaltılacak yönde hareket edilmektedir. Hata sıfır olduğunda w değişimi durmaktadır.

Delta Kuralı (Eğim düşme) Öğrenme Algoritması :

Eğim düşme öğrenme algoritması, sadece türetilbilir fonksiyonlara sahip olan ağlara uygulanabilmektedir. Eğiticili bir öğrenme algoritmasıdır. w değişimi, hata eğiminin tersi yöndedir. Böylece, hata fonksiyonunun minimum olduğu yere doğru hareket edilmektedir.

$$w_i(t+1) = w_i(t) - \varepsilon \cdot \frac{\partial E(t)}{\partial w(t)} \quad (4.14)$$

E(t), hata fonksiyonunu temsil etmektedir ve aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$E(t) = \frac{1}{2} (d_i(t) - y_i(t))^2 \quad (4.15)$$

$$E(t) = \frac{1}{2} [d_i(t) - f(w_i(t) \cdot x(t))]^2 \quad (4.16)$$

$$\frac{\partial E(t)}{\partial w(t)} = -[d_i(t) - f(w_i(t) \cdot x(t))] \cdot \frac{\partial f(w_i(t) \cdot x(t))}{\partial (w_i(t) \cdot x(t))} \cdot x(t) \quad (4.17)$$

Widrow-Hoff Öğrenme Algoritması :

Widrow-Hoff öğrenme algoritması, eğiticili bir öğrenme algoritmasıdır. w değişimi ağın çıkışından bağımsızdır.

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \varepsilon \cdot (d_i(t) - w_i(t) \cdot x(t)) \cdot x(t) \quad (4.18)$$

İlintili Öğrenme Algoritması :

Hebb öğrenme algoritmasının eğiticili uyarlamasıdır. $f(w_i(t) \cdot x_i(t))$ yerine $d_i(t)$ istenen çıkış alındığında aşağıdaki denklem elde edilir.

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \varepsilon \cdot d_i(t) \cdot x(t) \quad (4.19)$$

Yarışmacı Öğrenme Algoritması :

Bu algoritmada esas, giriş işaretine en yakın olan bağlantı ağırlık katsayılarını bulmaktır. Bu, w 'lara ilişkin nöron, kazanan nöron olarak adlandırılmaktadır. Sadece kazanan nöron bir

çıkış üretmekte ve bu nörona ilişkin w 'lar değişime uğramaktadır. Eğitici-siz öğrenmenin tipik bir örneği olan bu algoritma sonuçta ağa gelen girişleri sınıflandırmaktadır.

$$w(t+1) = w(t) + \varepsilon \cdot (x(t) - w_m(t)) \quad (4.20)$$

Burada w_m kazanan hücrenin bağlantı ağırlık katsayısı olup aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$w_m \cdot x = \max(w_i \cdot x) \quad \text{ve} \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (4.21)$$

dir.

Outstar Öğrenme Algoritması :

Eğitici-li bir öğrenme algoritması olan bu öğrenme algoritmasında amaç, w 'ları istenen çıkışa benzetmektir [55].

$$w(t+1) = w(t) + \varepsilon \cdot (d_i(t) - w(t)) \quad (4.22)$$

4.4. Geriye Yayılım Öğrenme Algoritması

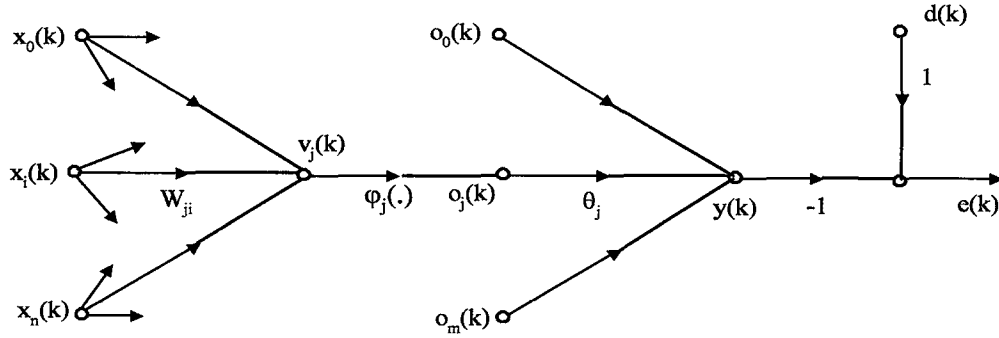
Geriye yayılım öğrenme algoritması eğim düşme algoritmasının katmanlı YSA 'ya uyarlanmış halidir. Algoritmada geçen sinyaller ayrık zamanda gösterilmiş ve ayrık zaman değişkeni k olmak üzere $x(k)$ ağ giriş vektörü, $o(k)$ orta katman çıkış vektörü, $d(k)$ arzu edilen çıkış vektörü, $y(k)$ gerçek ağ çıkış vektörü ve W ve θ ağırlıklar matrisini göstermektedir. Eğim düşme esasına dayanan geriye yayılım algoritmasında, seçilen amaç ölçütünün (performans kriteri) bir katmandaki ağırlığa göre doğru eğiminin hesaplanması gerekir. Bu nedenle, ağ çıkışındaki hata sinyali, katmanlardan geriye doğru yayılır. Algoritma, çıkış katmanı doğrusal olan 3 katmanlı tek çıkışlı ileri beslemeli YSA 'ya göre çıkarılmıştır. Çıkış katmanı doğrusal olan ileri beslemeli 3 katmanlı YSA 'nın sinyal akış şeması şekil 4.9 'daki gibidir.

Şekil 4.9. 'daki sinyal akış şemasından YSA 'nın ileri yöndeki matematiksel modeli aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$v_j = \sum_{i=0}^n W_{ji} \cdot x_i, \quad o_j = \varphi(v_j) \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (4.23)$$

$$y_\ell = \sum_{j=0}^m \theta_j \cdot o_j$$

Tek çıkışlı bir YSA için ağ çıkış hatası, hataların kareleri (örneksel amaç ölçütü) ve hataların karelerinin ortalaması (toplam amaç ölçütü) aşağıdaki gibi tanımlanır.



Şekil 4.9. İleri beslemeli 3 katmanlı YSA sinyal akış şeması

$$e(k) = d(k) - y(k), \quad E(k) = \frac{1}{2} e^2(k), \quad J = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N E(k) \quad (4.24)$$

Toplam amaç ölçütü, N adet eğitim örneği için hataların karelerinin ortalaması olduğundan örneksel ya da toplu amaç ölçütünün ağırlıklara göre eğimi bulunarak geriye yayılım algoritması gerçekleştirilebilir. Hatalarının karelerinin eğimine göre, her bir eğitim örneğinin uygulandığında ağırlıklar yenilenirse örneksel öğrenme kuralı elde edilir. Toplam amaç ölçütünün eğimine göre, N adet eğitim örneğinin uygulandıktan sonra ağırlıklar yenilenirse toplu öğrenme kuralı elde edilir. Buna göre, hataların karelerinin doğrusal çıkış katmanındaki bir ağırlığa göre eğimi, zincir kuralına göre kısmi türevlerle belirlenebilir.

$$\frac{\partial E(k)}{\partial \theta_j(k)} = \frac{\partial E(k)}{\partial z(k)} \cdot \frac{\partial z(k)}{\partial y(k)} \cdot \frac{\partial y(k)}{\partial \theta_j(k)} \quad (4.25)$$

Denklem (4.23) ve sinyal akış şeması kullanılarak,

$$\delta^2(k) = \frac{\partial E(k)}{\partial z(k)} \cdot \frac{\partial z(k)}{\partial y(k)} = -e(k) \quad (4.26)$$

ve

$$\frac{\partial y(k)}{\partial \theta_j(k)} = o_j(k) \quad (4.27)$$

elde edilir. Buna göre çıkış katmanındaki ağırlıklara uygulanacak düzeltme ve yeni ağırlıklar aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\Delta \theta_j(k) = \alpha \cdot \delta^2(k) \cdot o_j(k), \quad \theta_j(k+1) = \theta_j(k) - \Delta \theta_j(k) \quad (4.28)$$

Çeşitli sistemler üzerinde yapılan çalışmalarda n_1 örnekle gerçekleştirilen öğrenme algoritmasının, örneksel öğrenmeye göre yakınsama hızı açısından daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Yapay-toplu olarak da isimlendirilen bu algorithmada ağırlıklar her eğitim örneğinde yenilediğinden hatalı duruma düşen geçmişteki n_1-1 adet eğitimlerin etkisini azaltmak için genellikle üstel bir unutma katsayısı $0 < \zeta < 1$ kullanılır [50].

4.4.1. Geriye Yayılım Öğrenme Algoritmasının Sakıncaları

Geriye yayılım öğrenme algoritması, çok boyutlu ağırlık uzayında hata yüzeyinin eğimine de bağlı olarak yüzeyin en azına birinci dereceden yaklaşımdır. Bu nedenle, hata yüzeyinin en azına doğrusal yönde salınımlarla ulaşılır ve sonuçta öğrenme yavaş olur.

Geriye yayılım algoritmasında öğrenmenin yavaş olmasının iki temel nedeni vardır.

a) Ağırlık uzayı boyunca hata yüzeyi oldukça düzgün olduğunda, hata yüzeyinin bir ağırlığa göre türevi çok küçüktür. Dolayısıyla ağırlığa uygulanacak düzeltme çok küçük olacağından ağırlık öz yeteneğinin iyileşmesi uzun zaman alacaktır. Diğer taraftan, hata yüzeyi çok girintili-çukuntulu olabilir ve hata yüzeyinin ağırlığa göre türevi büyük olacağından yüzeyin en azından uzaklaşılabilir.

b) Hatanın ağırlıklara göre negatif eğim vektörü, hata yüzeyinin en azından uzaklaşan bir yönü verebilir ve ağırlıklar hatalı yönde düzeltilir.

Doğrusal olmayan YSA 'da hata yüzeyinin diğer bir özelliği, küresel en az ile birlikte yöresel en azları da ihtiva etmesidir. Geriye yayılım algoritmasında, hata yüzeyinin eğimine göre en aza yaklaşıldığından bir yöresel en azda, ağırlıklara uygulanacak düzeltme amaç ölçütünü artırabilir. Böyle bir yöresel en azda öğrenmeyi durdurmak gerekebilir ve özellikle yöresel en az, küresel en azdan uzak bir noktada ise YSA, arzu edilmeyen bir davranış gösterebilir.

4.4.2. Geriye Yayılım Algoritmasında Momentum Katsayısı

Geriye yayılım algoritmasında, yukarıda açıklanan nedenlerle öğrenmenin uzun zaman aldığı ve yöresel en aza yakalanma olasılığının bulunduğu bilinmektedir. Öğrenme oranı küçük seçilirse öğrenme yavaşlayacak, büyük seçilirse ağırlık değişimleri salınımlı ve kararsız olacaktır. Bu sakıncaların etkisi, geriye yayılım algoritmasında ağırlıklara uygulanacak düzeltme miktarını belirleyen denklemlere momentum (β) terimi eklenerek azaltılabilir.

$$\begin{aligned}\Delta\theta_j(s) &= \alpha\delta^2(s).o_j(s) + \beta.\Delta\theta_j(s-1) \\ \Delta W_{ji}(s) &= \alpha.\delta_j^1(s).x_i(s) + \beta.\Delta W_{ji}(s-1)\end{aligned}\tag{4.35}$$

Momentum katsayısı 0-1 arasında ($0 < \beta < 1$) seçilir. Amaç ölçütünün bir ağırlığa göre eğimi, ardışıl iki iterasyonda aynı işaretli ise ağırlıklara uygulanacak düzeltme artar, aksi halde azalır. Momentum katsayısı ile YSA'nın öğrenme oranında belirli bir hızlanma elde edilebilir [50].

4.5. Yapay Sinir Ağlarının Güç Sistemlerinde Kullanım Alanları

Elektrik güç sistemleri son derece karmaşık ve doğrusal olmayan yapıları içermektedirler. Güç sisteminin kontrolü, gözlemlenmesi ve analizi için, ölçümlerle sadece çok azının elde edilebileceği yüzlerce değişken gereklidir. Güç sistemlerinde kullanılan işlemlerden bazıları milisaniye seviyesindeki bir zaman aralığı içerisinde cevap verme zorunluluğundadır.

YSA, doğrusal olmayan problemlere çözüm getirebilecek şekilde tasarlanabilirler. YSA'ların veriler arasındaki fonksiyonel bağımlılıkları öğrenebilecek kabiliyetleri vardır. Adaptif bir yapıya sahip olduklarından, herhangi bir model olmamasına karşın, son derece karmaşık ilişkileri öğrenebilirler. Yanlış ve bozulmuş bilgiler sistemde yanlışlıklara neden olmaz.

Klasik yaklaşımlar ile güç sistemlerine ilişkin problemler çözülmeye kalkışıldığında, matematiksel olarak güç sistem modellerinin çıkarılması gerekmektedir. Uzman sistemlerde ise yine bilginin, kurallar haline getirilerek bir çeşit model oluşturma zorunluluğu vardır. Bir çok YSA sistemde genelleştirme yaptıklarından dolayı, güç sistemlerinin işletim noktalarındaki değişimlerinden ve yanlış verilerden kolay kolay etkilenmezler. Klasik metotlarda ise doğru modele ve doğru veriye ihtiyaç vardır [56]. Mühendislik uygulamalarında YSA'nın geniş çaplı kullanımının en önemli nedeni, klasik tekniklerle çözümü zor problemler için etkin bir alternatif oluşturmaktır. YSA, geniş bir alana yayılmış bilim ve mühendislik problemlerinin çözümü için matematiksel modeller kullanmak yerine, gözleme dayalı ve deney sonucu ile elde edilen verilere dayanan simülasyonlar kullanır [57].

Tablo 4.1. YSA'nın güç sistemlerindeki örnek uygulama alanları

YSA yeteneği	Uygulama alanı
Örnek sınıflandırması	Güvenilirlik değerlendirmesi, önceden tahmin etme
Hızlı cevap verme	Alarm işlemi, hattaki arıza analizleri
Genelleştirme	Makine modelleme ve analizleri

Önceden tahmin eğilimi	Yük tahmini
Güvenilirlik	Nükleer güç santralleri

YSA ‘nın güç sistem araştırmaları arasında popülaritesi hızla artmaktadır. Elektrik güç sistem problemlerinde YSA ‘nın uygulama sayısı son yıllarda büyük bir artış göstermiştir. Güç sistem mühendisleri, mevcut verilerden öğrenerek karmaşık konularla başa çıkmak için eğitilmiş olan uygun sistemlerin tasarımına ilaveten, optimizasyon problemlerine ve kontrol uygulamalarına kadar pek çok alanda YSA ‘yı kullanmaktadırlar. Tablo 4.1 ‘de YSA ‘nın güç sistemlerindeki genel uygulama alanları tanımlanmıştır.

YSA ‘nın ortaya çıkması, güç mühendislerine güç sistem problemlerinin çözümü için umut verici bir gelişme olmuştur [58]. YSA, yeterli eğitimden sonra hızlı ve etkili bir şekilde örnek tanıma, tahmin ve optimizasyon sapma yeteneğine sahip olduğundan, bu özelliklerinden faydalanılarak değişik konularda çalışmalar yapılmıştır. Güç sistemlerindeki YSA uygulamalarının yaklaşık %70 ‘i çok katmanlı perceptron ağ modeliyle yapılırken, geriye kalan %30 ‘u ise Hopfield ağları, Kohonen ağları, Boltzmann machine ve diğer tip ağlarla yapılmıştır. Elektrik güç sistemlerindeki konuyla ilgili uygulamalar; güvenlik değerlendirmesi, yük tahmini, arıza tespiti, alarm işleme, optimal kondansatör anahtarlama, güç sistem stabilize ayarı vb. konu başlıklarını içermektedir. YSA ‘nın güç sistemlerindeki uygulama alanları aşağıda özet olarak verilmiştir. Bu uygulamalar 4 ana başlık altında sınıflandırma yapılarak özetlenmiştir.

1) Tahmin ve Kontrol

- Geçici kurallılık analizi
- Yük ve güç talep tahmini
- Statik ve dinamik güvenlik değerlendirme
- Senkron makine modelleme ve analizi
- Senkron generatör analizi
- D.a. motor kontrolü
- Durum tahmini
- Güç sistem kararlılığı
- Sürekli hal kararlılığı
- Güç dönüştürücü kontrolü
- Turbogeneratör regülatör kontrolü
- Nükleer santrallarda güç tahmini
- Dağıtım sistemi servis yenileme arıza yeri tahmini

2) Tanıtma

- Harmonik kaynaklarının tanınması ve analizi

- Arıza analizi, indüksiyon makinelerinin başlangıç arızalarını bulma
- Koruma
- Turbogeneratör parametrelerini tanıma

3) Optimizasyon

- Ağ topolojisi analizi
- Optimal güç akışı
- Ünite paylaşımı
- Kondansatör ünitelerinin optimal kontrolü

4) Sınıflandırma

- Olasılık (beklenmedik olay) analizleri
- Alarm işleri

Aşağıda YSA 'nın güç sistemlerinde kullanımına ilişkin bazı uygulama örnekleri verilmiştir.

Güvenilirlik Değerlendirmesi : Bir güç sisteminin güvenilirliği, en kötü ve en yakın beklenmedik olaya katlanma yeteneğidir. Güvenilirlik değerlendirme başlangıçtan itibaren YSA uygulamalarının en üst sıralarında yer almaktadır. Güvenilirlik değerlendirmesinin amacı, uygun önleyici etkileri üzerine alabilsin diye işlem durumlarının tipini güvenli veya güvenli olmayan operatörlerle yerine getirmektir. Sistemin önemli parametrelerinden biri olan kritik temizleme zamanı sentez edilmiş ve YSA çıkışlarının kritik temizleme zamanı parametrelerinin gerçek değerleriyle uyduğu gözlenmiştir. Benzer bir yaklaşım kullanarak güç sistemlerinin dinamik güvenilirliğini değerlendirmek için üç katmanlı bir perceptron ağı kullanılmış ve tatminkar sonuçlar elde edilmiştir [57].

a) Güç Sistemlerinde Statik Güvenlik Analizi : Statik güvenlik analizinin yapılmasındaki en büyük sebeplerden biri, güç sisteminin o anki çalışma durumunun normal olup olmadığına, baraj gerilimi, aktif ve reaktif güç ve yük akışı gibi değerlere bakarak karar vermektir. Ayrıca statik güvenlik analizi; sistemin, barajlarda, transformatörlerde, hatlarda veya generatörlerde oluşabilecek önceden tahmin edilemeyen arızalarda, kararlı kalıp kalmayacağını analizinin de yapılmasını sağlar. Bu şekilde her bir arızanın analizinin yapılması, hesaplamalarda üstel bir artışa neden olur. İhtimal sıralama ve hassasiyet katsayı metotları gibi gelişmiş yaklaşımlar, tek bir baz durum için gerçek zamanda çıkabilecek beklenmedik önemli arızaların sayısının belirlenmesinde büyük ölçekte azalmalar sağlamaktadırlar. Bu yöntemler hızlı sonuçlar vermelerine karşın, sistemin bütününde arıza meydana gelecek durumlarda yetersiz kalabilirler. Uzman sistemlerde de, insan bilgilerini kurallar haline sokmak yolu ile bir takım arızaların sisteme etkileri formüle edilebilir duruma getirilmektedir.

Geleneksel metotlarda daha çok her bir durum için değişik bir çözümün üretilmesi gerekmektedir. YSA ile yapılan analizde ise genelde global bir çözüm üretilmektedir. YSA 'nın örnek tanıma özelliklerini kullanmak suretiyle, sistemin güvenlik içinde çalışabileceği değerler verilerek bir çalışma uzayı tanımlanır. Bu uzay içerisindeki çalışma noktaları; bara gerilimleri ve hat güçleri gibi güç sistemindeki değişkenlerle tanımlanırlar. Elbette tanımlanan bu sistemin işletme uzayında bir çok işletme noktası mevcuttur. Bütün bu çalışma noktalarını bu uzay içerisinde tanımlamak ve her bir çalışma noktasına ilişkin çoklu beklenmedik arıza analizlerini yapmak oldukça güçtür. Bu yüzden planlanmış işletme noktasının bölgesel komşuluğuna kısıtlamalar getirmek gerekli görülmüştür. Bu da genel olarak üç ana kısımdan oluşmaktadır:

- 1- YSA, verilen bir çok işletme noktası için işletme uzayının güvenli bölgesinin sınırlarını tahmin edebilir. YSA, bu işletme noktaları arasındaki güvenlik sınırını interpolasyon yaparak belirleyebilir ve bu güvenlik sınırları içerisinde herhangi bir bilinmeyen işletme noktasının bulunup bulunmadığını gösterebilir.
- 2- Bu yaklaşım ise önemli bazı değişkenleri seçerek sistemin boyutlarını azaltmak ve böylece YSA 'nın daha rahat bir şekilde eğitilmesine imkan vermektedir. Elbette bu değişkenlerin, jenerasyon ve yük baraları gibi sistemin güvenlik seviyelerini etkileyebilecek bir yapıda olmaları gerekmektedir.
- 3- YSA işletim uzayı sınırlandırılmış güvenlik bölgelerine ayrılmıştır. Böylece her bir bölge için bir örnek işletim noktası bulunabilmektedir. Bir kere bu işletim noktası elde edildikten sonra normal metotları uygulayarak analizler yapılabilir [56].

b) Güç Sistemlerinde Dinamik Güvenlik Analizi : Dinamik güvenlik analizi, güç sisteminin zamana bağımlı davranışı ile ilgilenir. Bu davranışlar arasında; gerilim, sürekli hal ve geçici hal kararlılığı yer almaktadır. Gerilim kararlılığı, yükün admitansı değiştiği zaman güç sisteminin gerilimini aynı seviyede koruyabilme kabiliyetidir. Sürekli hal kararlılığı, frekans osilasyonlarından doğan küçük rahatsızlıklarda, güç sisteminin kararlı ve kontrol edilebilir olma kabiliyetini koruyabilmesidir. Geçici hal kararlılığı ise oluşan herhangi bir rahatsızlıktan sonra güç sisteminin kabul edilebilir bir çalışma noktasına dönme kabiliyeti olarak tanımlanabilir. Geçici hal kararlılık analizi genellikle kritik temizleme zamanı tespit edilmek suretiyle yapılır. Burada kritik temizleme zamanı, sistemde oluşan rahatsızlığın süresinin tespit edilmesi ile bunun sisteme olan etkisi anlamında kullanılmıştır. Bütün bu analizleri yapabilmek için sisteme ait doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerin nümerik metotlar ile çözülmesi gerekmektedir. Bu ise hesaplamalarda çok zaman ve uzun çalışma gerektirecek bir yaklaşımdır [56].

YSA 'nın gerilim kararlılık uygulamalarında; Jacobian matrisinin minimum tekil değerler kümesinin interpolasyonu yapılmak suretiyle, gerilim kararlılık sınırlarının tahmin edilmesi, çok tabakalı ileri sürümlü YSA 'nın eğitilmesi ile mümkün olur. YSA 'nın geçici hal analizindeki

kullanımında ise daha çok bir kararlılık indeksi oluşturmak suretiyle, sınıflandırıcı veya kararlılık fonksiyonu benzeri bir sistemle çalışılmaktadır. Sistem için dinamik güvenlik değerlendirmesi yapılırken, işletim noktasının bir sistem ölçümler kümesi tarafından tanımlanması gerekmektedir. Eğer sistem, kararlılığı etkileyen değişkenler tarafından iyi bir şekilde tanımlanırsa, o zaman sistemin karakteristiği iyi bir şekilde elde edilmiş olur. Bu ise YSA için çok büyük miktarda giriş demektir. Diğer bir metot ise YSA 'nın içindeki akışı ters yöne çevirmek suretiyle çıkışlar ile girişler arasında bir duyarlılık analizi yapmaktır. Bu şekilde kararlılığı etkileyen en önemli girişi bulmanız mümkün olmaktadır. Aynı metot güç sisteminin kararlılığını kuvvetlendirecek en etkili işletme noktasının bulunmasında da kullanılabilir. YSA bir defa eğitildiğinde, sistemin karşılaştığı her bir durumu sınıflandırabilir, kararlılık sınırlarını tahmin edebilir, gerçek zamanda kritik temizleme zamanlarını bulabilir ve online olarak sistemle birlikte çalıştırılabilir. YSA ile dinamik güvenlik analizinin yapılmasındaki tek dezavantaj çok boyutlu bir işletim uzayına ve çok sayıda konfigürasyona sahip olmasıdır. Her bir yük için değişik birim ayırma alternatifleri ve topolojik konfigürasyonlar düşünülerek sistemi karakterize edecek eğitim dosyalarının oluşturulması gerekmektedir. Bununla birlikte sisteme ait bütün konfigürasyonları üretmek hemen hemen mümkün değildir. Bu yüzden YSA 'nın genelleştirme karakteristiğinden yararlanarak, değişik konfigürasyonlara ait analizleri interpolasyon özelliğini kullanarak yapması mümkün olmaktadır [58].

Yük Tahmini : Güç üretimi ve dağıtımında yük tahmininin büyük önemi vardır. Çok önemli kararlar yük tahmininden elde edilen verilerle alınır. Yük tahminindeki doğruluk, ilerisi için şimdiden verilecek kararlarda ekonomik açıdan büyük kazançlar sağlayabilir. Yük tahmininde genellikle, zaman serileri ve regresyon modelleri olmak üzere iki değişik metot kullanılmaktadır. Burada yükü etkileyecek tahminler, ısı, nem, rüzgar hızı, bulutluluk oranı ve yağmur gibi etkenler modellerde kullanılmıştır. Geleneksel metotların dezavantajı tüketicilerin elektrik kullanımındaki davranışlarının tam olarak modeller tarafından tahmin edilememesidir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için uzman sistemler bu modellere monte edilmişlerdir.

YSA, veriler arasındaki ilişkileri modelleme kabiliyetinden dolayı yük tahminlerinde geleneksel metotlara göre büyük bir üstünlük sağlamıştır. Hatta bu veriler arasındaki ilişkiler insanlar tarafından dahi anlaşılamamaktadır. YSA 'nın diğer bir üstünlüğü ise sadece istatistiksel veriye ihtiyaç duymasıdır. Bu verilere göre herhangi bir model oluşturulmasına gerek duyulmamaktadır. Bu modeller kurulacak yapay sinir hücreleri tarafından oluşturulacak bir öğrenme dosyasıdır ve bunlar istatistiki veriler yolu ile elde edilecektir. Yük tahmininde genellikle çok tabakalı ileri sürümlü ve Kohonen tipi YSA kullanılmaktadır. İstatistiksel veri olarak belli bir zaman içerisindeki sıcaklık, değişik hava bilgileri, tüketilen güç, hafta içi, hafta

sonu veya bayram günleri gibi tüketicinin davranışının değiştiği günleri de bir değişken olarak girmek mümkün olacaktır. Burada YSA 'nın eğitimi için oluşturulacak veri tabanı süresi, birkaç günden bir kaç yıla değişen bir zaman dilimini içerebilir.

Sinir ağları, elektrik güç sistemlerinde kısa süreli yük tahmini için uygulanmıştır. Ağın girişleri sadece geçmiş yük datalarından oluşur. Hava değişkenleri (sıcaklık, nem vb.) kullanılmamıştır. YSA 'nın çıkışı gelecek saatin yük tahminidir. Hem eğitim, hem de test data setleri için elde edilen ortalama hata %2 'den daha azdır [59]. YSA 'nın özellikle kısa dönemli yük tahminlerinde çok daha etkili olduğu görülmüştür. Uzun dönemde ise aşırı hava değişimleri, tatiller, mevsimlerdeki değişimler halinde yine YSA 'nın, uzman sistemler kullanılmak suretiyle daha iyi sonuç vereceği öngörülmektedir [58].

YG 'de a.a. tanılamaları için uzman sistemlerin uygulaması üzerine ticari yapılardaki enerji kullanım oranlarının tahmininde YSA kullanılmıştır. YSA, sistemden her saat başı alınan ortalama değerler kullanılarak tüketicilerin enerji kullanımını iyi bir doğrulukla belirlemek amacıyla kullanılmıştır [61].

Arıza Analizi : Güç sisteminde herhangi bir olay olduğu zaman, sistemi işletenlerin çok kısa bir süre içerisinde ne olduğunu anlamaları ve karar vermeleri gerekmektedir. Alarm ve güç sistem arıza tayininde, güç sisteminin durumu ve güç sisteminde bulunan elemanların durumu ile ilgili bir çok sinyaller ve alarmlar gelmektedir. Problem bunların tanınmasından ibarettir. Genel olarak bu işlem basit lojik kapıları kullanarak gelen arıza ve alarm sinyallerini operatörlerin anlayabileceği dile çevirmek ile mümkün olur.

Geleneksel arıza tespitleri konusu, uzman sistemlerin yerine YSA tarafından da analiz edilmiştir. Ancak bu konuda, uzman sistemler YSA 'ya göre daha üstündür. Uzman sistemlerin açıklayıcı yetenekleri ve daha fazla kullanıcı ortak yüzleri, uzman sistemleri YSA 'ya göre daha fazla alternatif duruma getirmektedir. Ancak hızlı cevap gerektiren kesin alanlarda YSA, kullanıma hala açıktır. Arızalanmış iletim hattı bölümünü tanımak için üç katmanlı perceptronun bir kaskat yapısı sunulmuş olup, YSA, geriye yayılım algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Bu metod %98.4 doğruluğa ulaşabilmiştir [62].

YSA 'nın en büyük avantajlarından biri, bir kere öğretim işlemi tamamlandıktan sonra gelen sinyalleri yüksek işleme hızlarına sahip olmasıdır. YSA 'lar yapısal olarak dağıtılmış olduklarından ve paralel olarak işlev gördüklerinden, büyük miktarlardaki sinyalleri çok rahat bir şekilde anında işleme imkanına sahiptirler. YSA 'lar, yapısal özelliklerinin bir sonucu olarak arıza ve alarm sinyallerindeki bozulmalardan etkilenmezler. Alarm verme ve arıza tayini gibi işlemlerde, sinyaller genelde koruyucu rölelerden ve devre kesicilerinden ikilik sayı düzeninde ve ayırık zamanda gelmektedir. Burada çok tabakalı geri beslemeli tip YSA kullanılmaktadır.

YSA bir defa belli bir güç sistemi için eğitildiğinde, o sistem için gerekli işlemleri en iyi şekilde yapacaktır. Güç sisteminin konfigürasyonu değiştirildiğinde YSA tekrar eğitilmek durumunda kalır. Fakat bu dezavantaj YSA 'yı modüler yapılara dönüştürmek suretiyle giderilmiştir. Büyük bir sistemin her bir kısmı değişik YSA ile modellenir, eğer bu sistemde bir değişiklik yapılırsa buna ilişkin modül değiştirilir ve diğer kısımlarda bir değişiklik yapılmaz. Sonuç olarak geleneksel metotlar ile yapılan sinyallerin işlenmesi, YSA ile yapılanlarından çok daha yavaş olmaktadır. Üstelik sinyallerin bozulması durumunda geleneksel metotlar doğru sonucu vermemektedirler. YSA ise bozulmuş sinyalleri tanıma olanağına sahip olup doğru sonucu operatöre bildirmektedir [56].

YSA, indüksiyon motorlarının başlangıç halindeki arıza aramalarında da başarılı olmaktadır. Bu metodoloji uygun değişikliklerle diğer dönen makinaların çoğuna da uygulanabilmektedir. YSA simülasyon verileri kullanılarak eğitilmiştir. Kombine bozulma ve gürültü filtresi ile arıza dedektörü, %95-%99 doğrulukta arıza tespitleri üretmişlerdir [63].

Kondansatör Anahtarlama : Dağıtım ağlarındaki anahtarlanabilir kondansatörlerin gerçek zaman kontrolü, gerçek zamanlı optimizasyona ihtiyaç duyar. Bu problemin çözümünde gerçek zaman kontrollü kapasitörler için iki aşamalı bir YSA ve iki adet üç katmanlı perceptron kullanılmıştır. İlk aşamada, yük profili ölçülmüş aktif ve reaktif güçlerden gerilim ve akım, kapasitör gruplarına önceden bildirilir. İkinci aşamada, optimal kapasitör bağlantı grupları, yük profiline dayanarak hesaplanır. Bu YSA yaklaşımı, bir simülasyon paketiyle elde edilmiş sonuçlarla birbirine çok yakın kapasitör grupları üretir. Burada YSA 'nın asıl avantajı işlem hızıdır [64].

Güç Stabilizör Ayarı : Güç sistem stabilizörlerinin gerçek zaman ayarı karmaşık bir konudur. Bu amaç için dört katmanlı bir perceptron ağ önerilmiştir. Bu ağ, iki giriş düğümü, her biri dört düğümlü iki gizli katman ve iki çıkış düğümünden oluşmuştur. Bu YSA için girişler generatör gerçek güç çıkışı ve güç faktörüdür. YSA çıkışları güç sistem stabilizörünün kazanç gruplarıdır. YSA için eğitime seti çevrim dışı simülasyonlar vasıtasıyla üretilir. YSA sonuçları, sayısal simülasyonlara çok yakın bulunmuştur [57].

Girdap Akımı Analizleri : Girdap akım kayıplarının analizleri integral-diferansiyel denklemlerinin sayısal çözümünü gerektirir. Bu denklemleri SEY kullanarak çözmek çok zordur. Bu denklemlerin çözümü için daha kolay, basit ve hızlı bir üretim sağlayan hücresel YSA metodu kullanılmıştır. Hücresel ağlar SPICE kullanılarak simüle edilmiştir. Hücresel ağ, değişken bir manyetik alandaki iletken materyal ve akım taşıyan bir iletken maddesindeki girdap akımlarını ve girdap akım kayıplarını hesaplar. Hücresel ağın sonuçları, SEY

kullanılarak elde edilen sonuçlara çok yakın bulunmuştur. Bu yapısal analizler, elektromanyetik alan hesaplamalarında da geniş bir uygulama alanı bulmuştur [57].

Harmonik Kaynağını İzleme : YSA, nonlinear yükler içeren güç sistemlerindeki harmonik kaynaklarını izlemek ve tanımak için de kullanılmıştır. Bu yaklaşım, sistemdeki harmoniklerin direkt ölçümelerini yeterli görmüştür ve üç katmanlı perceptron kullanılmıştır. Bu YSA, değişik yük şartları için simülasyon sonuçları kullanarak eğitilmiştir. YSA, harmoniklerin kaynağını göstermek için bir durum değerlendiricisiyle birlikte kullanılmıştır. Bu yaklaşım önceden tanımlanmamış olan bir harmonik kaynağını tanıyabilmektedir [65].

Durum Tahmini : YSA sistem tanınmasında, parametre tahmininde ve analizlerinde çok başarılı olmuştur. Güç sistem topolojik görünürlüğü, üç katmanlı perceptron ağı kullanılarak ele alınmıştır. YSA, bir test sisteminin çevrim dışı simülasyon verileri kullanılarak eğitilmiştir. Durum tahminine dayanan YSA 'nın sonuçları, Kalman filtresiyle karşılaştırılmıştır ve sonuçlar olumlu bulunmuştur [57].

Beklenmedik Olay Analizi : Sistem güvenilirliğini değerlendirmek için, olası beklenmedik olayların büyük bir kısmı değerlendirilir ve sıralanır. Geleneksel sıralama metodları uzun hesaplama zamanı alır. Bir sistemin işletme tarihi, veri tabanında mevcut olduğu için beklenmedik olayları birkaç alt sınıf şeklinde gruplandırmak mümkün olabilecektir. Farklı yüklenme ve beklenmedik olay şartları altında doğru bir şekilde güç sistem güvenilirliğini sınıflandırabilen iki katlı bir perceptron ağı önerilmiştir. Bu YSA, simülasyon sonuçları ve geriye yayılım algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Ancak güç sisteminin bütün alanını kapsamak için yeterli eğitim setleri üretmek mümkün değildir. Bu nedenle beklenmedik olay koruması için Hopfield ağı da önerilmiştir. Perceptron ağlarının öğrenme metodunun aksine YSA 'nın ağırlıklarını ve eşik değerlerini bulmak için bir optimizasyon metodu kullanılmıştır. Optimizasyon metodu beklenmedik olayların doğru sınıflandırma olasılıklarını artırmak için lineer programlama teknikleri kullanır. Bu işlem, sınır ihlal tipine ve sayısına göre beklenmedik olayları sınıflandırır. Metod, komple güvenlik izlemede ve korumada ilginç uygulamalara sahiptir.

Elektrik Makinası Kontrol ve Analizleri : Bir senkron makinanın modellenmesi için üç katmanlı bir perceptron ağı önerilmiştir. YSA, farklı işlem şartları altında senkron makinanın davranışını açıklamak için çevrim dışı simülasyon verileri ile eğitilmiştir. Gizli katmanın iki farklı yapısı bu amaç için karşılaştırılmıştır. İlk yapı, gizli katmanda 10 düğüm içerirken, ikinci yapı, gizli

katmanda 20 düğüm içermektedir. Başka bir çalışmada senkron makina kararlı durum analizleri için değiştirilmiş Nilsson öğrenme makinası kullanılmıştır. Generatör çıkışları, güç sistem stabilizörü parametreleri gibi sistem değişkenleri YSA 'ya giriş olarak verilir. YSA bu bilgileri makinanın kararlılığını dinamik kararlı veya dinamik kararsız şeklinde değerlendirmek için kullanır.

YSA ile öğrenme, kontrol işlemlerinde de oldukça verimlidir. Geleneksel kontrol tasarımı, YSA 'nın gelişiyle yeni bir dönüşüm sağlamıştır. Geliştirilen model, sistem parametrelerini ve uygun kontrol stratejisini örneklerden öğrenebildiği için güç sistemlerinin birçok kontrol alanlarında uygulama alanı bulmuştur. D.a. motor kontrolörüne dayanan bir YSA önerilmiştir. YSA, motor hızının yörünge kontrolü için sistem değişkenlerini referans alan modelle uygulanmıştır. YSA, bu uygulamada iki gizli katman kullanır ve geriye yayılım yöntemi kullanılarak eğitilir. Geçici stabilite değerlendirmesi için de çok katmanlı perceptron kullanılmıştır. YSA, dış devrenin herhangi bir noktasında simetrik bir arıza için tek makinalı bir sistemde test edilmiştir. YSA, kritik temizleme zamanı parametrelerini çok doğru bir şekilde tahmin etmede başarılı olmuştur [66].

Ünite Paylaşımı ve Planlama : Ünite paylaşımı, kesin olmayan planlama vb. birçok güç sistem uygulamalarında ayrıntılı bir araştırma gerekir. Ünite paylaşımı için üç katmanlı perceptron ağı, tipik yük eğrileri ve ünite paylaşım programı göz önüne alınarak eğitilmiştir. Bütün durumlar için YSA, uygun çözüm sağlamıştır. Kesin olmayan üretim büyüme planlaması için bir YSA tasarımı da gösterilmiştir. Burada ısı, su, nükleer gibi değişik türdeki enerji kaynaklarının optimal oranlarını ve özel katkılarını tanıma için çok katmanlı bir YSA önerilmiştir. Bu planlamadaki temel zorluk, planlama işleminde kullanılan değişik parametrelerin kesin olarak bilinmemesidir. Giriş verileri; geçmiş ekonomik faktörler, yakın geçmişteki yıllar üzerine enerji gelişimindeki bilgiler, yük gelişimindeki bilgiler, umulan kaynakların bulunması gibi sistem verilerinden oluşturulur.

Nükleer Güç İstasyonlarında Uygulamalar : Son zamanlarda nükleer güç santrallarının güvenilirlik ve işlerliğini iyileştirmede YSA 'nın potansiyel uygulamaları araştırılmaktadır. Araştırma durumundaki alanlar şunlardır:

- Anormal şartların belirlenmesi.
- İşletme model değişiminin aranması.
- Santral termo dinamiklerinin modellenmesi.
- Santral parametrelerinin izlenmesi.
- Santral titreşimlerinin analizi.

Nükleer güç sisteminin termal gücünü önceden bildirmek YSA için bir başka uygulama alanıdır. Bu uygulamada YSA 'nın gürültülü işaret şartlarında bile çok başarılı olduğu gösterilmiştir. Bu tasarım, farklı durumlar altında da ağı uygulanabilme çalışmaları için kullanılmıştır [67].

Enerji Tüketim Optimizasyonu: Ticari ölçekli bir YG A.a. sisteminin enerji tüketiminin optimizasyonu için YSA 'nın nasıl kullanılabileceği gösterilmiştir [68]. Bu çalışma için, sistemin tüm fiziksel sınırlamaları dikkate alınarak, enerji tüketim optimizasyonu için denenen bir sinir ağı gerçek sistemden alınan datalarla eğitilmiştir. Daha sonra, YSA tabanlı enerji yönetim sistemi, gerçek bir YG A.a. sisteminde başarıyla kullanılmıştır. Sinir ağı, enerji tahminini geleneksel gerileme tekniklerinden daha iyi yapabilir ve enerji yönetim sistemini diğer sabit set noktalı veya temel sıcaklık yenileme algoritmasından daha az enerji kullanarak, daha rahat sürdürebilir [69].

Rüzgar Hızı Tahmini : Dataların elde edilemediği bir bölgedeki aylık ortalama rüzgar hızının tahmini için uygun bir YSA eğitilmiştir. Ağı eğitimi için 1986 ile 1996 yılları arasındaki 11 yıllık datalar kullanılırken, ağı doğruluğu için 1997 yılına ait datalar kullanılmıştır. Hem öğrenme, hem de tahmin kabul edilebilir bir doğruluk ile gerçekleştirilmiştir. Biri giriş katmanında 5 nöronlu, diğeri 11 nöronlu iki katmanlı YSA mimarileri denenmiştir. 11 giriş ağı için eklenen giriş dataları, meteoroloji istasyonlarının x ve y koordinatlarıdır. 5 giriş ağına sahip olan YSA 'nın ortalama rüzgar tahmininde daha başarılı olduğu kanıtlanmıştır [69].

Termik Santral : Elektriksel ısıtılmalı bir buhar generatöründen elde edilen, su devresi için ters akış yönünde sürekli dolaşan buhar yardımıyla çalışan bir ısı değiştiricisinden oluşan bir termik santralin kontrolünde YSA kullanılmıştır [70]. Kontrol girişi olarak buhar akışını kullanan buhar santrallerinin kontrolü için, YSA modellerinin uygun olduğu ve santral davranışının online tahminleri daha hızlı elde edilebildiği için basit ağ yapılarının karmaşık olanlara göre tercih edilebilir olduğu bulunmuştur [69].

Evrensel Solar Radyasyon Tahmini: 41 toplama istasyonundan elde edilen datalar kullanılarak bir YSA uygulaması yapılmıştır. 31 istasyondan alınan datalar sinir ağını eğitmek için ve diğer 10 istasyondan alınan datalar ise ağı test etmek için kullanılmıştır. Ağı giriş değerleri; enlem, boylam, rakım ve güneş ışığı süresidir. Test istasyonları için sonuçlar %16.4 içerisinde elde edilmiş ve solar radyasyonun uzaysal modellenmesi için bu yaklaşımın uygulanabilirliği gösterilmiştir [71].

Güneş Enerjili Ev Tipi Su Isıtma Sistemlerinin Modellenmesi: 1.81 ve 4.38 m² arasındaki kollektör alanlarından elde edilen değişken sistemlerin 30 bilinmeyen durumuna dayanan bir YSA eğitilmiştir. Açık ve kapalı sistemler, hem yatay hem de dikey depolama tankları ile dikkate alınmıştır. Ayrıca, hava şartlarının değişimini dikkate alan bir deneme de yapılmıştır. Bu yolla, anormal durumların kullanıldığı kabul edilerek ağ eğitildi. Kollektör alanı, depolama tankı ısı kayıp katsayısı, tank tipi, depo hacmi, sistemin tipi, günlük toplam güneş ışınlamının gerçek deneyinden elde edilen 10 okuma, çevrenin ortalama hava sıcaklığı ve bir günün başlangıcındaki depolama tankındaki su sıcaklığı ağın giriş datalarını oluşturur. Ağ çıkışı, sistemden elde edilen faydalı enerji ve depo edilen su sıcaklığındaki artıştır. Yeni datalar tahminin doğruluğunu incelemek için kullanılmıştır. Bu dahili sistemler, farklı hava koşulları ve tamamen bilinmeyen sistemler altında sinir ağının eğitimi için dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, sistemden elde edilen faydalı enerjinin ve depo edilen su sıcaklığındaki artışın tahmini için önerilen metodun başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir. Geleneksel algoritmik metodlar ile karşılaştırıldığında bu yaklaşımın avantajları; hız, basitlik ve ağın örneklerden öğrenme kapasitesi olarak sıralanabilir [69].

Güç Sistem ve İşletim Planlaması : Planlama, güç sisteminin ekonomik ve güvenli bir şekilde işletilmesi için gereklidir. İşletim planlaması termal birimlerin donanım ve bakımı, birim ayırma ve ekonomik yük dağıtımı gibi konuları kapsamaktadır. Generatör bakım ve onarım planlaması ise termal birimlerin bakım ve onarım çalışmalarının sürelerine karar vermektedir. Böylece toplam işletim, bakım ve onarım maliyetleri minimize edilmişlerdir. Ekonomik yük dağıtımı, hat akışları ve elektrik üretim maliyetlerinin değişimi gibi eşitsizlik sınırlandırmaları ve güç dengesi gibi eşitlik sınırlandırmalarına bağlı olarak, toplam yakıt maliyeti minimize edilir ki böylece her bir termal birim için en optimal çıkışa karar verilsin. Ekonomik yük dağılımının dışındaki planlama işlemleri, çeşitli metotlar kullanılarak matematiksel olarak formüle edilir. Planlama işlemlerinin çoğu değişik olasılıklara sahip optimizasyon problemlerinin çözümüne indirgenmiştir. Birim ayırma, üretim planlaması ve generatör bakım ve onarım planlaması gibi problemlerin olası çözümlerinin, özellikle büyük bir güç sistemi için çok fazla hesaplama zamanı harcayacağı açıktır. Bu yüzden değişik metotlar ve özellikle de YSA 'nın kullanımı büyük çaptaki olasılıklı optimizasyon problemlerinin çözümünde yeni ufuklar açmaktadır [56].

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

5. UYGULAMA

5.1. Giriş

Bu çalışmada; atlama gerilimlerinin hesaplanması için, FORTRAN dilinde yazılan IZBOL ve ATLAMA programı olmak üzere birbirleriyle bağlantılı iki program kullanılmıştır. Ayrıca izolatörün Sonlu Eleman ağının ve AR modelinin çizdirilebilmesi amacıyla C++ 'da yazılan programlardan da yararlanılmıştır.

Başlangıçta, milimetrik kağıda çizilen izolatörün ölçekli şekli, üçgen elemanlar ile bölünerek, tüm üçgenlerin köşe koordinatlarının, dielektrik sabitlerinin, kir iletkenliklerinin vb. bulunduğu başlangıç dosyası hazırlanmıştır. Daha sonra, eleman sayısını istenilen oranda artırmayı sağlayan ve izolatörün sızma uzunluğu üzerindeki noktaların koordinatlarını, malzemenin sınır noktalarının koordinatlarını ve tüm elemanların koordinat ve elektriksel özelliklerini belirleyen IZBOL programı çalıştırılmıştır. Son olarak potansiyel ve elektrik alan şiddeti değerlerini, ark 'a seri kir direncini ve atlama gerilimini hesaplayan ana program (ATLAMA programı) çalıştırılarak değişik tip izolatörlerin atlama davranışları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada; bir izolatörün yüksekliğini (H), çapını (D), toplam sızma uzunluğunu (L), yüzeyel kir iletkenliğini (σ), zincir sayısını (n) ve diş sayısını (d) dikkate alarak o izolatörün atlama gerilimini hesaplayan, YSA üzerine kurulmuş $V_C = f(H, D, L, \sigma, n, d)$ modellemesi gerçekleştirilmiştir. V_C kritik atlama geriliminin bu modellemesi, SEY 'ni kullanan ATLAMA programı ile hesaplanan verilerden yararlanmaktadır. Kritik atlama geriliminin değerini etkileyen fiziksel parametreler;

- a) Kirlenmiş izolatörün deşarj uzunluğuna,
 - b) Kir tabakasının iletkenliğine,
 - c) Değişen kir direnci için yapay kirliliğin yüzeyel öz direncine
- bağlıdır.

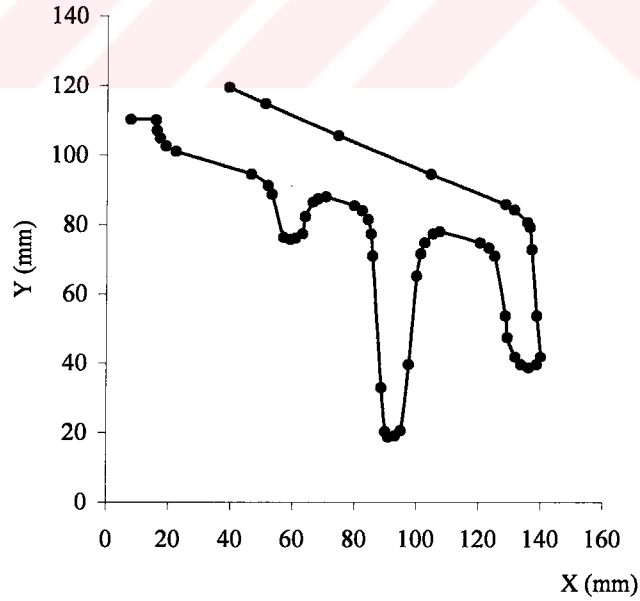
5.2. Atlama Gerilimlerinin Hesaplanması

Tablo 5.1 'de, bu çalışmada göz önüne alınan farklı kasket tipteki izolatörlerin yükseklik, çap, sızma uzunluğu, zincirdeki eleman sayısı ve diş sayısı gibi karakteristik değerleri verilmiştir.

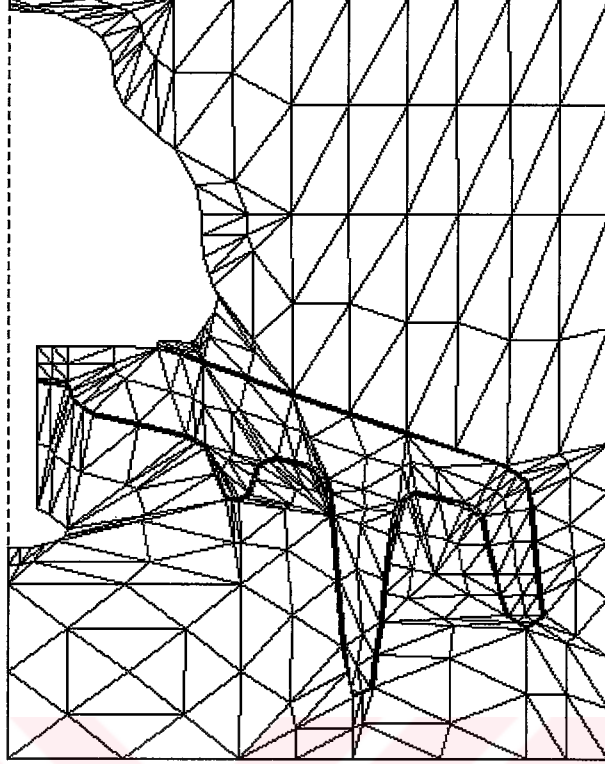
Tablo 5.1. Atlama gerilimleri hesaplanan izolatörlerin karakteristik değerleri

İzolatör tipi		Yükseklik H (mm)	Çap D (mm)	Sızma uzunluğu (Bir eleman için) L (mm)	Diş sayısı (d)	Zincirdeki eleman sayısı (n)
A	F 7	146	255	311	4	9
B	7 K3	185	288	304	4	7
C	BULLERS	140	290	418	3	9
D	80 AL 146 W	146	355	300	2	9
E	80 F 140 W	140	280	415	3	9
F	U 100 L	146	255	300	4	9
G	U 40 BL	110	175	185	3	6
H	U 70 BL	146	255	280	4	9
I	U 160 BL	170	280	390	5	9
J	U 100 BLP	146	280	432	4	9

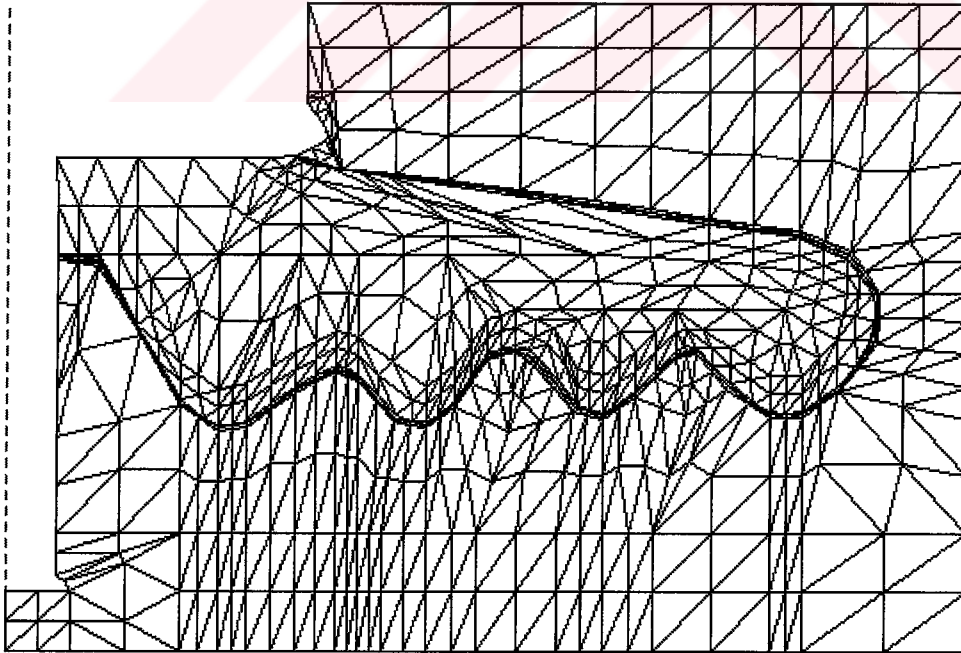
Şekil 5.1 ve 5.2 ‘de, incelenen izolatörlerden biri için (80 F 140 W- E tipi) başlangıçta sızma aralığı üzerinde alınan noktalar ve sonlu elemanlar bölmelemesi gösterilmiştir. Şekil 5.3 ‘de ise daha sık bölmelenmiş B izolatörü görülmektedir.



Şekil 5.1. E izolatörü için sızma aralığı üzerinde alınan noktalar



Şekil 5.2. E izolatörüne ait sonlu eleman bölmelemesi

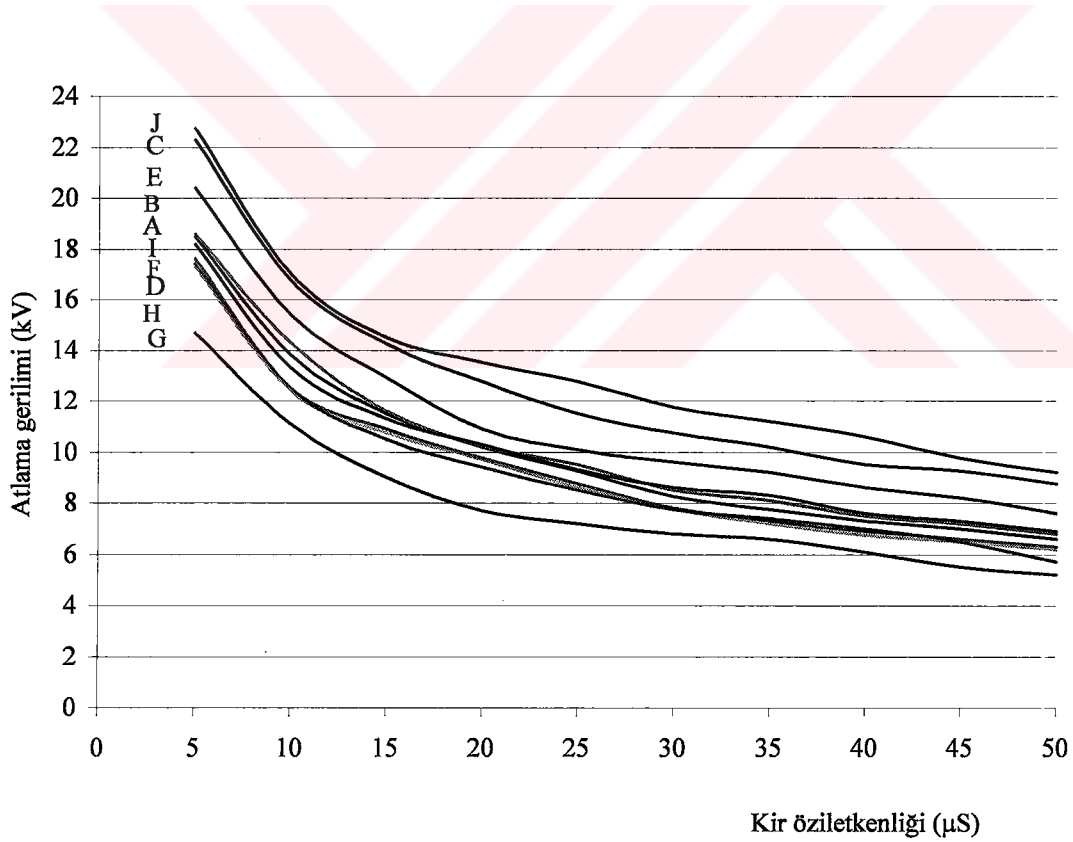


Şekil 5.3. B izolatörüne ait sonlu eleman bölmelemesi

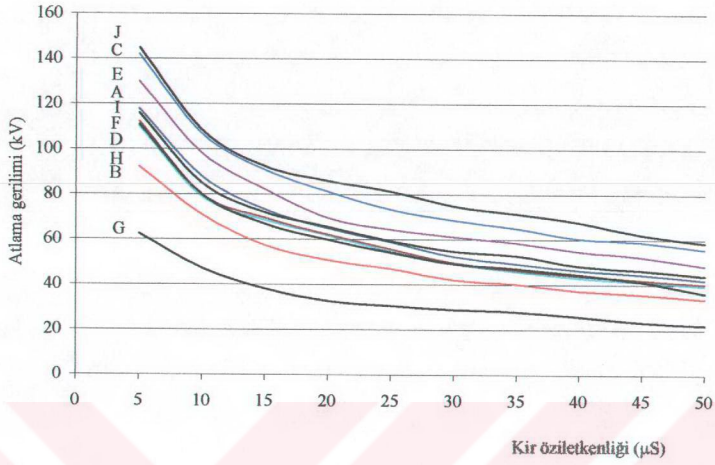
5.2.1. Alternatif Akım Atlama Gerilimlerinin Hesaplanması

İzolatöre uygulanan gerilim şeklinin deşarj yayılımı üzerindeki etkisi, Nosseir ve diğ. [72] tarafından incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda, A ve n deşarj sabitleri için verilen farklı değerler (d.a. için, A = 46, n = 0.45 ve a.a. için, A = 68, n = 0.7) kullanılarak, aynı ark gradyent akım karakteristiği ($E = A \cdot I^{-n}$) elde edilmiştir [73]. İzolatör yüzeylerinde oluşan deşarjların hava ortamında tutuştuğu dikkate alınarak, $A \cdot I^{-n}$ deşarj gerilim gradyeni V/cm olmak üzere, A=63 ve n=0.76 alınmaktadır [7,11]. Bu çalışmada da, a.a. atlama gerilimlerinin hesabında A=63 ve n=0.76 sabit değerleri kullanılmıştır.

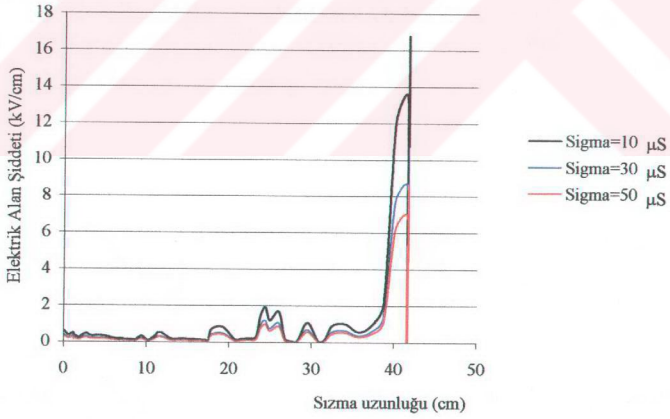
Şekil 5.4 ve 5.5 'de, bu çalışmada geliştirilen dinamik model yardımıyla hesaplanan, izolatörlerin a.a. atlama gerilimi değerleri verilmiştir. Şekil 5.6 'da, C izolatörü için farklı kir iletkenliklerinde hesaplanan elektrik alan şiddetinin sızma aralığına bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.7 'de ise bir eleman için hesaplanan a.a. atlama gerilimlerinin izolatör tipine göre grafikleri çizdirilmiştir.



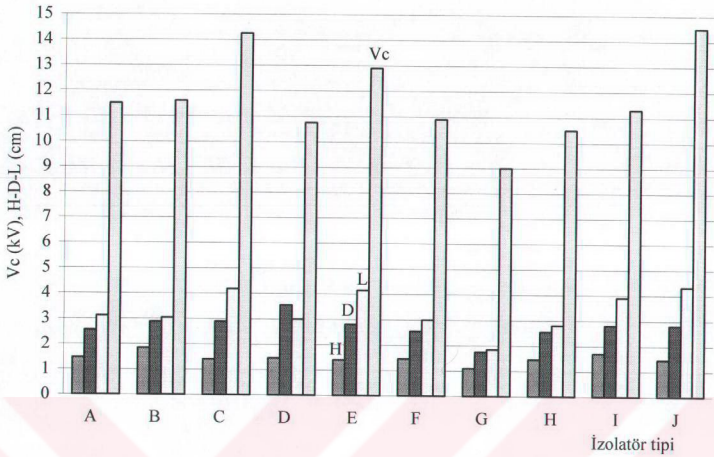
Şekil 5.4. Hesaplanan a.a. atlama gerilimi değerleri (bir eleman için)



Şekil 5.5. Hesaplanan a.a. atlama gerilimi değerleri (tüm zincir için)



Şekil 5.6. C izolatörü için alan şiddetinin sızma aralığı boyunca değişimi

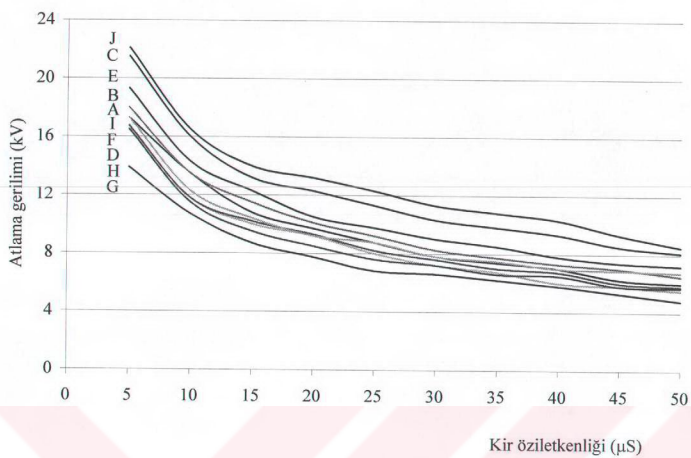


Şekil 5.7. İzolator tipine göre atlama gerilimleri (bir eleman için)

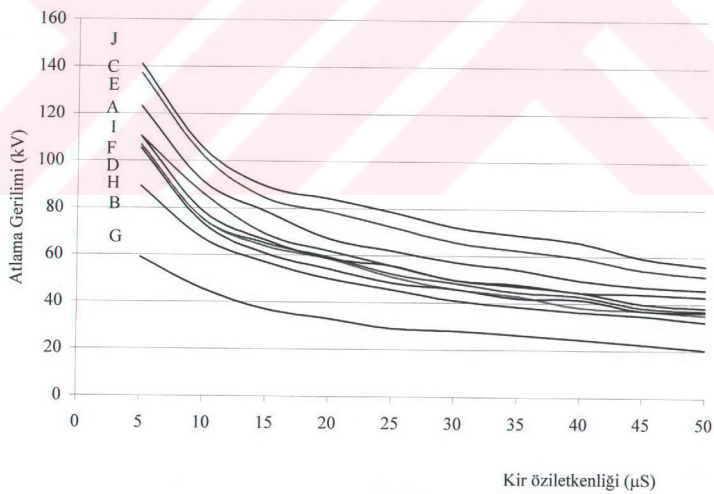
5.2.2. Doğru Akım Atlama Gerilimlerinin Hesaplanması

Literatür incelemeleri, doğru akımda havada tutuşan arklar için farklı araştırmacılar tarafından ölçülen veya kullanılan A ve n değerlerinin $0.45 \leq n \leq 1.30$ ve $A \leq 200$ aralığında değiştiğini göstermiştir [5]. Bu çalışmada, d.a. atlama gerilimlerinin hesabında $A=46$ ve $n=0.78$ değerlerinin kullanılması halinde en iyi sonuçların elde edildiği bulunmuştur.

Şekil 5.8 ve 5.9, bu çalışmada geliştirilen dinamik model kullanılarak, Tablo 5.1 'deki tüm izolatorler için hesaplanan d.a. atlama gerilimi değerlerine ilişkin eğrileri göstermektedir.



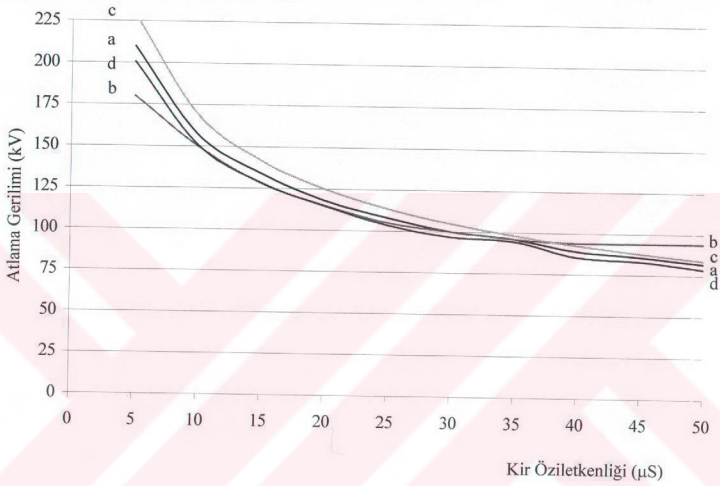
Şekil 5.8. Hesaplanan d.a. atlama gerilimi değerleri (bir eleman için)



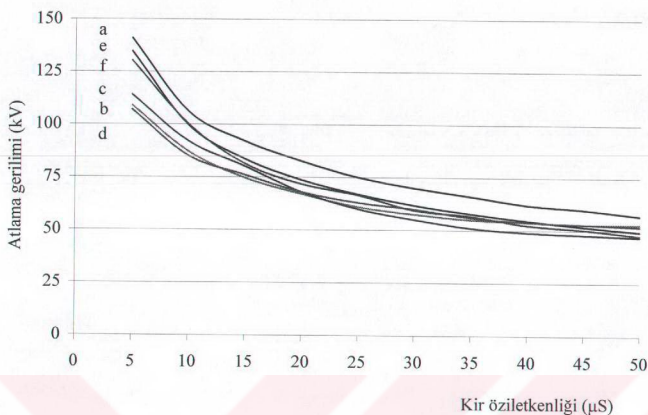
Şekil 5.9. Hesaplanan d.a. atlama gerilimi değerleri (tüm zincir için)

5.3. Sonuçların Karşılaştırılması

Şekil 5.10 'da C izolatörü için, Şekil 5.11 'de ise B izolatörü için bu çalışmadaki dinamik model ile hesaplanan a.a. atlama gerilimi değerlerinin çeşitli araştırmacılar tarafından hesaplanan veya deneysel olarak bulunan değerlerle karşılaştırması verilmiştir.

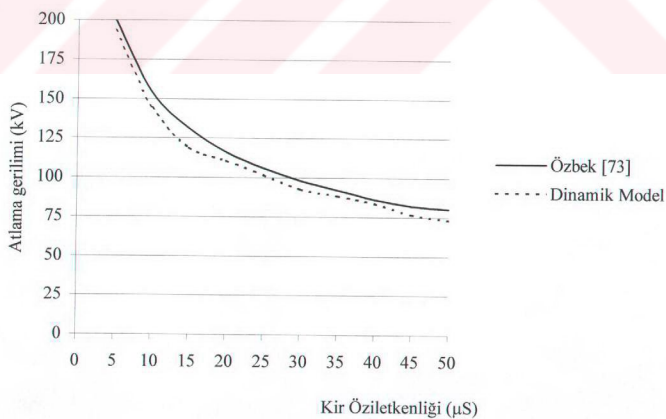


Şekil 5.10. C izolatörü için a.a. atlama gerilimi değerlerinin karşılaştırılması (9 elemanlı zincir için)
(a: AR2 [7] b: Cron [7] c: Özbek [73] d: Dinamik Model)

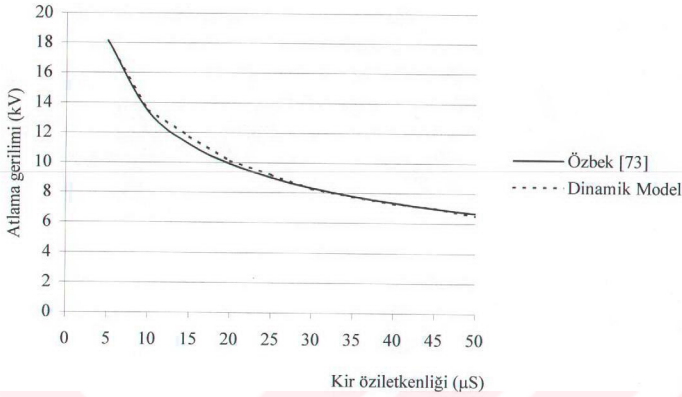


Şekil 5.11. B izolatörü için a.a. atlama gerilimi değerlerinin karşılaştırılması (7 elemanlı zincir için)
(a: AR2 [7] b: Cron [7] c: Özbek [73] d: Dinamik Model e: Wilkins [25] f: Sundararajan [3])

Şekil 5.12 'de C izolatörü için, Şekil 5.13 'de ise B izolatörü için dinamik model yardımıyla hesaplanan d.a. atlama gerilimi değerlerinin Özbek[73] tarafından hesaplanan sonuçlarla karşılaştırması gösterilmiştir.



Şekil 5.12. C izolatörü için d.a. atlama gerilimi değerlerinin karşılaştırılması (9 elemanlı zincir için)



Şekil 5.13. B izolatörü için d.a. atlama gerilimi değerlerinin karşılaştırılması (bir eleman için)

5.4. Yapay Sinir Ağı İle İzolatörün Modellenmesi

YSA, kendisine verilen örnekleri inceleyerek farklı girişler için yeni çıkışlar verebilen sistemlerdir. Atlama olayının karmaşıklığı, deşarj parametrelerinin çokluğu ve farklılığı göz önüne alındığında, YSA ‘nın deşarj yayılımı süresince meydana gelen karmaşık olayları açıklamak ve deşarj parametrelerindeki değişimleri dikkate alabilmek amacıyla kullanılabileceği düşünülebilir. Ancak kullanılacak YSA önceden elde edilmiş örnekler yardımıyla iyi bir şekilde eğitilmelidir.

Bir izolatör için kritik akım, kritik gerilim, seri kir direnci, dayanım gerilimi, atlama gerilimi, uygulanan gerilim gibi karakteristik değerler ve kir yoğunluğu, yüzeyel kir iletkenliği, sızma uzunluğu, kritik deşarj uzunluğu, iletkenlik faktörü, izolatör boyutları gibi bilinen değerler, YSA ‘yı eğitmek amacıyla kullanılabilir. Bu değerler kullanılarak deşarj yayılımı konusunda eğitilen bir YSA, atlama olayının aydınlatılmasında faydalı olabilecektir. Bu sayede, YSA ‘nın kullanılma amacına göre farklılık göstermekle birlikte, istenen çıkış değerleri kolaylıkla bulunabilir. Mesela; YSA ‘ya, uygulanan gerilim, izolatörün kullanıldığı bölgenin kir yoğunluğu, kir iletkenliği ve izolatör boyutları gibi giriş değerleri verilerek, bu izolatörün atlama geriliminin ne olacağı veya izolatörde atlama olup olmayacağı çıkış olarak istenebilir. Hatta, bölgenin ve enerji iletim sisteminin detaylı bilgileri verilmek suretiyle oldukça kapsamlı olarak eğitilmiş bir YSA ‘dan, bu bölgede kullanılabilecek izolatör tipini seçmesi istenebilir.

5.4.1. YSA Modelinin Yapısı

Bu çalışmada kullanılan YSA, tüm YSA uygulamalarının yaklaşık %90 'ında tercih edilen çok katmanlı ileri beslemeli YSA 'dır. YSA modelinin eğitimi için kullanılan öğrenme algoritması ise, hata geriye yayılım öğrenme algoritmasıdır. Uygulama için MATLAB ortamında programlar geliştirilmiştir. Kullanılan YSA; 6 nöronlu bir giriş katmanı, 50 nöronlu bir gizli katman ve 1 nöronlu bir çıkış katmanından oluşan, ileri beslemeli çok katmanlı bir YSA 'dır. YSA 'nın eğitim parametreleri ve yapısı Tablo 5.2 'de gösterilmiştir. Eğitim parametreleri ve YSA yapısı bir kaç farklı deneme sonucunda bulunmuştur. Gizli katman sayısı, gizli katmandaki nöron sayısı, momentum ve öğrenme oranlarının değerleri ve etkinleştirme fonksiyonlarının türleri, en iyi başarımlar için seçilmiştir.

Tablo 5.2. Bu çalışmada kullanılan YSA modelinin yapısı ve eğitim parametreleri

YSA yapısı	
YSA modeli	Çok katmanlı ileri beslemeli
Katman sayısı	3
Katmanlardaki nöron sayısı	Giriş : 6
	Gizli : 50
	Çıkış : 1
Başlangıç ağırlıkları ve eşik değerleri	Nguyen-Widrow metoduna göre hesaplandı
Etkinleştirme fonksiyonları	Logaritmik sigmoid
YSA eğitim parametreleri	
Öğrenme kuralı	Hata geriye yayılım
Adaptif öğrenme oranı	Başlangıç : 0.01
	Artış katsayısı : 1.05
	Azalış katsayısı : 0.7
Momentum sabiti	0.9
Toplam karesel hata	0.001

Çok katmanlı ağlarda veriler, giriş katmanı tarafından kabul edilirler. Ağ içindeki işlemler sonucunda, çıkış katmanında oluşan cevap ile giriş verisine karşı istenen cevap karşılaştırılır. Hesaplanan cevap ile istenen cevap arasında farklılık varsa, katmanlar arasında bulunan ağırlıklar, bu farkı azaltacak şekilde yeniden düzenlenir. Yapay sinir ağının girişindeki veriler, ağırlıklar uygun noktaya ulaşana kadar değişmez. Hesaplanan çıkış cevapları, istenen cevaplarla karşılaştırılarak, sonuçta hata işareti elde edilir. Hata işareti, ara katmanlardan çıkış katmanına olan ağırlıkları değiştirmede de kullanılır. Çok sayıda ara katmana sahip sistemlerde her katmanın hata işaretleri, bir önceki katmanın düzeltilmiş hata işaretlerinden çıkartılarak işlem tekrarlanır. Sonuç olarak ağırlık düzeltme işlemi çıkış seviyesine bağlı ağırlıklardan başlar ve işlem ters yönde giriş seviyesine ulaşana kadar devam eder. Sistem, sonuçta yine hatalar yapar,

fakat bu hatalardan bir şeyler öğrenip istenen cevabı bulana kadar işlem tekrarlanır. Bu yöntemde hatanın geriye yayılma algoritması denir. Denklem (5.1) 'de bu algoritmanın öğrenme sürecinde kullanılan matematiksel yapısı verilmiştir.

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \varepsilon \cdot h_j \cdot y_i + \alpha \cdot (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1)) \quad (5.1)$$

Burada, momentum katsayısı $0 < \alpha < 1$ ve öğrenme oranı $0.001 < \varepsilon < 10$ dur. h_j ise j . katmandaki hata işaretidir. Bu değer ağıya verilen giriş için istenen çıkış değerindeki sapmadan kaynaklanmaktadır [74].

Hata geriye yayılım algoritması eğiticili bir öğrenmedir. Eğiticili öğrenmede, dışarıdan bir eğiticinin sinir ağına müdahalesi söz konusudur. Eğitici, sinir ağının ilgili girdi için üretmesi gereken sonucu, sinir ağı sistemine verir. Yani YSA 'ya girdi-çıkıktı ikilisinden oluşan örnekler sunulur. Bu ikili, ağı öğrenmesi gereken özellikleri temsil eder [75,76]. Hata geriye yayılım öğrenme algoritmasının başarımını etkileyen önemli birkaç faktör aşağıda sıralanmıştır:

1- Başlangıç ağırlıkları : Çok katmanlı ileri beslemeli ağların başlangıç ağırlıkları, sonuca ulaşmak açısından oldukça kuvvetli bir etkidir. Başlangıç ağırlıklarının küçük rastgele değerler seçilmesi yerine, etkinleştirme fonksiyonları üzerinden hesaplanması öğrenme sürecinin hızlı olmasına katkıda bulunur [77].

2- Öğrenme oranı : Geriye yayılım öğrenme algoritmasının yakınsama etkinliği açısından diğer önemli bir parametresi öğrenme oranıdır. Bu oran büyük seçildiğinde ağırlıkların değişimleri büyük salınımlar yapacaktır ve dolayısıyla eğitim sürecinde bir kararsızlık oluşmasına neden olacaktır. Küçük seçildiğinde ise, öğrenme süreci yavaşlayacaktır. Uygun bir öğrenme oranı seçimi için, belirli bir kriter yoktur. Çoğu zaman ilgili sınıflama probleminin bir çok denemesinden sonra en uygun öğrenme oranı belirlenir. Bunun yerine Vogl ve diğ. [78] ve Jacobs [79] tarafından önerilen adaptif öğrenme oranını kullanmak daha etkili bir yaklaşımdır. Bu metotta, hatanın değişimine bağlı olarak öğrenme oranı belirli katsayılar ile çarpılarak artırılacak veya azaltılacak yönde değiştirilir.

3- Momentum katsayısı : Öğrenme oranı çok geniş bir aralıkta değişim sergilemektedir. Bundan dolayı, öğrenme oranının seçiminden kaynaklanan problemlerin etkisini azaltmak için, ağırlıkların düzenlenmesinde ikinci bir parametre olarak momentum katsayısı kullanılır.

4- Gizli katman ve nöron sayısı : Eğitimin verilen hata sınırında hızlı bir şekilde gerçekleşebilmesi için, gizli katman sayısı ve bu katmanlardaki nöron sayıları önem arz eden bir başka unsurdur. Bunların sayısını belirlerken amacımız, verilen girişe karşılık istenen çıkışı elde

etmeye yönelik bir doğrusallaşmayı sağlamaktır. Birden çok gizli katman kullanmak yerine, bir tek gizli katmandaki nöron sayısının denemelerle artırılması, çok katmanlı ağların başarımı açısından daha uygun olacaktır [80].

5- **Etkinleştirme fonksiyonları** : Etkinleştirme fonksiyonunun seçimi, genellikle tecrübelere ve deneysel çalışmalara bağlı olarak yapılmaktadır [81]. Etkinleştirme fonksiyonu, YSA 'nın işlem elemanlarının çok geniş aralıktaki çıkışını belirli aralıklara çekmektedir. Böylece her bir işlem elemanının tepkisi yumuşak olmaktadır ve bağlantı ağırlıklarının değişimlerinin daha küçük değerlerde kalması sağlanmaktadır. Dolayısıyla YSA 'nın eğitimi sırasında, hata değişiminin ıraksaması engellenerek kararlılığa ulaşmasına yardımcı olunur. Adım, rampa, signum, logaritma ve tanjant fonksiyonları yaygın olarak kullanılan bazı etkinleştirme fonksiyonlarıdır.

5.4.2. Normalizasyon

Bu çalışmada YSA, bir fonksiyon tahmincisi olarak kullanılmak suretiyle yeni bir yaklaşım geliştirilmiş ve verilen H izolatör yüksekliği, D izolatör çapı, L sızma uzunluğu, σ kir yoğunluğu, n zincir sayısı ve d diş sayısının V_c kritik atlama gerilimi ile olan ilişkisini doğru olarak modellemek için kullanılmıştır. Bu amaçla çok katmanlı, ileri beslemeli bir YSA tercih edilmiştir. Daha iyi yakınsama ve öğrenme işleminin doğruluğu için, YSA 'nın eğitimine başlamadan önce giriş-çıkış datası normalize edilmiştir. Nöronlar arasındaki bağlantı ağırlıklarını belirlemek için; öğrenme işleminde ilk olarak, bir gizli katman ile η sabit öğrenme oranı α momentum sabiti ile geleneksel geriye yayılım momentum öğrenme tekniği kullanılmıştır. Farklı öğrenme oranlarının ve momentumun, öğrenme işleminin yakınsama özelliği üzerindeki etkisi kapsamlı olarak araştırılmış ve en iyi kombinasyon tespit edilmiştir. Ayrıca, öğrenme oranı üzerindeki etkisini görmek amacıyla gizli katmandaki düğümlerin sayısı da değiştirilmiştir. Yakınsama karakteristikleri üzerinde birden fazla gizli katmanın etkisini değerlendirmek için yapılan denemelerden, en iyi sonucun bir gizli katman kullanılması durumunda elde edildiği görülmüştür.

Geliştirilen YSA, Bölüm 5.2 'de dinamik modeli kullanan ATLAMA programı yardımıyla hesaplanan ve Bölüm 5.3 'de diğer araştırmacıların teorik ve deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılarak doğruluğu ispatlanan datalar ile eğitilmiştir. Bir defa eğitilen YSA 'nın, verilen H, D, L, σ , n, ve d değerleri için V_c 'yi %1 'den daha az bir ortalama mutlak hata ile bulmak için yetenekli olduğu görülmüştür.

Her nöronun eşik değerinin, diğer ağırlıklar gibi aynı yolla öğrenilmiş olması önemlidir. Bir çıkış değerine sahip olan bir nöronun eşik değeri, daima bu nöron ile bir önceki katmandaki hayali bir nöron arasındaki uyarlanabilir bir bağlantı ağırlığı olarak düşünülmüştür.

Giriş-çıkış datası iki farklı yolla normalize edilmiştir. Denklem (5.2) - (5.9) 'da $i=1,...,N_i$ ve $k=1,...,N_k$ olmak üzere eğitim setindeki örneklerin sayısı $p=1,...,N_p$ 'dır.

Birinci metotta, önce girişin maksimum değerleri ve çıkış vektör bileşenleri belirlenmiştir.

$$n_{i,\max} = \max(n_i(p)) \quad (5.2)$$

ve

$$O_{k,\max} = \max(O_k(p)) \quad (5.3)$$

Bu maksimum değerlerin normalize edilmesiyle, giriş ve çıkış değişkenleri

$$n_{i,nor(p)} = n_i(p)/n_{i,\max} \quad (5.4)$$

ve

$$O_{k,nor(p)} = O_k(p)/O_{k,\max} \quad (5.5)$$

olur. Normalizasyondan sonra, giriş-çıkış değişkenleri (0,1) arasında sıralanır.

İkinci metotta, sırasıyla (5.2) ve (5.3) eşitlikleri kullanılarak girişin maksimum değerleri ile çıkış vektörü bileşenleri belirlenmiştir. Ayrıca

$$n_{i,\min} (n_i(p)) \quad (5.6)$$

ve

$$O_{k,\min} = \min(O_k(p)) \quad (5.7)$$

eşitlikleri ile de girişin minimum değerleri ve çıkış vektörü bileşenleri belirlenmiştir. Bu maksimum ve minimum değerlerin normalize edilmesiyle, giriş ve çıkış değişkenleri

$$n_{i,nor(p)} = \frac{n_i(p) - n_{i,\min}}{n_{i,\max} - n_{i,\min}} \quad (5.8)$$

$$O_{k,nor(p)} = \frac{O_k(p) - O_{k,\min}}{O_{k,\max} - O_{k,\min}} \quad (5.9)$$

şeklinde elde edilir [82]. Normalizasyondan sonra, giriş-çıkış değişkenleri (0,1) arasında sıralanır. Her bir giriş-çıkış değişkeni ayrı ayrı normalizasyona tabi tutulmuştur.

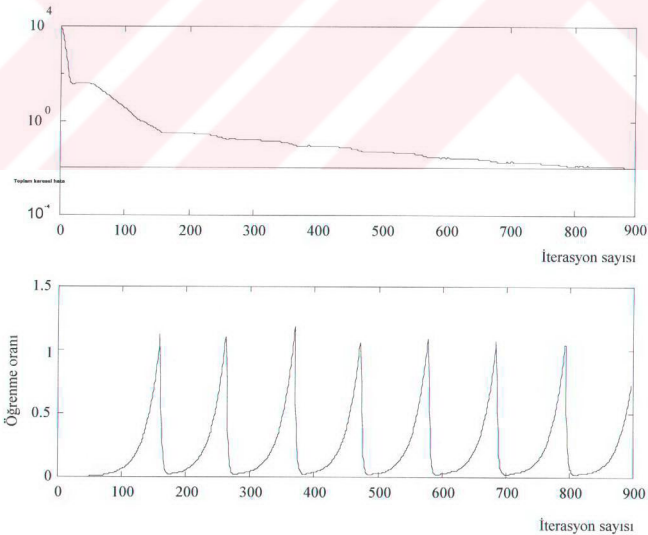
5.4.3. Dinamik Model Tabanlı YSA Modeli

Dinamik bir model, izolatörün şekli, sızma uzunluğu ve çapı gibi detaylara ihtiyaç duyar. Bu parametreleri bilgisayar ile hesaplamak uygundur. İzolatör üzerinde, sızma uzunluğu boyunca farklı noktaların koordinatları tespit edilir. Sızma aralığı uzunluğu ve çap hesaplanır. Hassas sonuçlar elde etmek amacıyla Tablo 5.1 'de verilen her bir izolatör için sızma aralığı üzerinde yaklaşık 80 nokta alınmıştır.

Eğitim işleminde 200 giriş-çıkış örnekli eğitim seti kullanılmıştır. Eğitim setinin her bir örneği; H , D , L , σ , n , d , fiziksel parametrelerini karakterize eden altı giriş ve V_C kritik atlama gerilimini temsil eden değeri sağlayan bir çıkış içerir. Eğitim örneklerindeki tüm giriş-çıkış değişkenleri, sinir ağı eğitim ve test işlemlerinde kullanılmadan önce kendi dizileri içerisinde normalize edilmişlerdir.

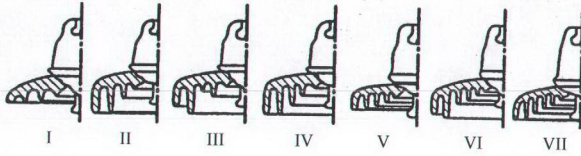
Geliştirilen YSA, 200 eğitim seti kullanılarak bir kez eğitilmiş ve eğitim örneklerinin giriş işaretlerinin dizisi içerisinde test verisi olarak ayrılan rastgele seçilmiş örnekler kullanılarak test edilmiştir. Daha sonra Kimoto vd. [83] tarafından atlama gerilimleri deneysel olarak belirlenen 7 zincir tipi izolatöre ait değerlerle de test edilmiştir.

Şekil 5.14 'de, 200 eğitim datası ile bir kez eğitilen YSA 'nın eğitim süreci görülmektedir.



Şekil 5.14. 886 iterasyon için YSA 'nın eğitim süreci

Şekil 5.15 'de Sundararajan ve Gorur [83] tarafından da incelenen yedi tip izolatörün şekilleri, Tablo 5.3 'de ise bu izolatörlerin karakteristik değerleri verilmiştir.



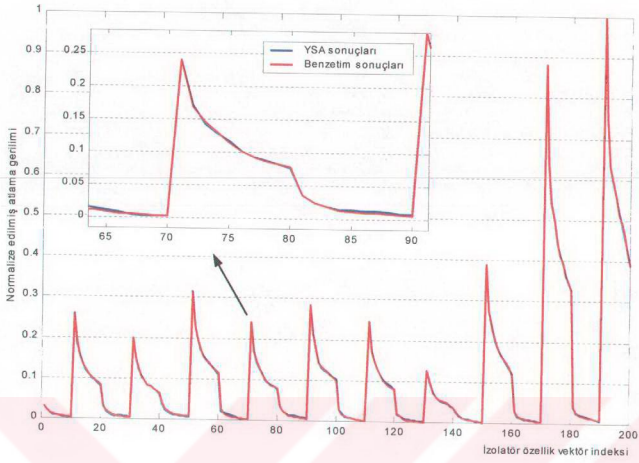
Şekil 5.15. İzolatörün YSA modelinin testi için kullanılan izolatörler

Tablo 5.3. Test için kullanılan izolatörlerin karakteristik değerleri

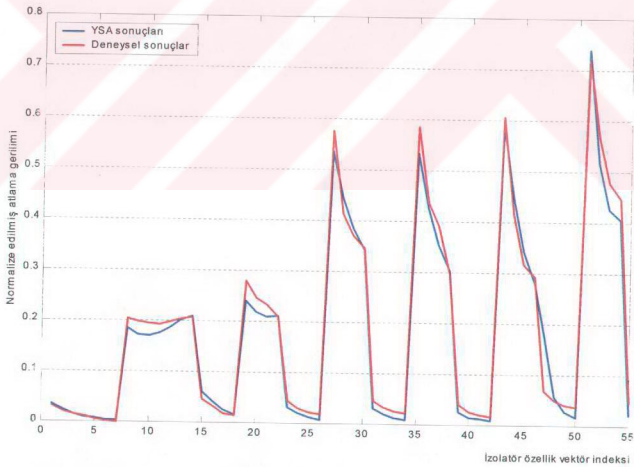
İzolatör tipi	H (mm)	D (mm)	L (mm)	d
I	146	254	280	4
II	146	254	432	4
III	165	320	512	5
IV	180	320	545	5
V	197	320	457	5
VI	197	400	686	6
VII	250	420	718	6

Şekil 5.16 'da, eğitim örneklerinin dizisi içerisinde seçilen örnekler kullanılarak test edilen YSA sonuçlarının ATLAMA programı ile hesaplanan sonuçlarla karşılaştırması verilmiştir. Şekil 5.17 'de YSA ile bulunan sonuçların deneysel sonuçlarla [83] karşılaştırması, Şekil 5.18 'de ise YSA ile bulunan sonuçların Sundararajan ve Gorur tarafından geliştirilen model sonuçları [83] ile karşılaştırması gösterilmiştir.

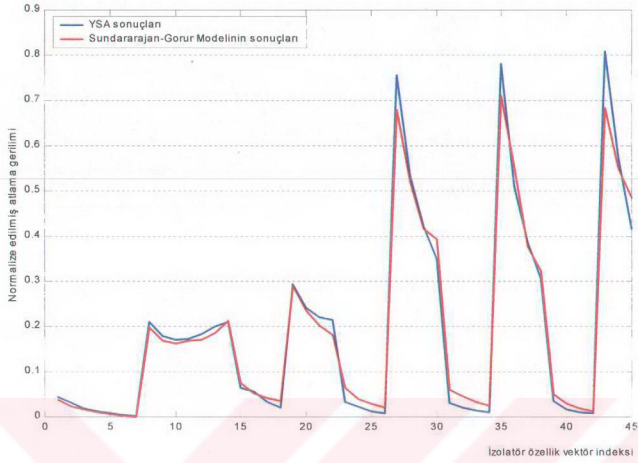
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Şekil 5.16. İzolatörün YSA modelinin elde edilme başarımı

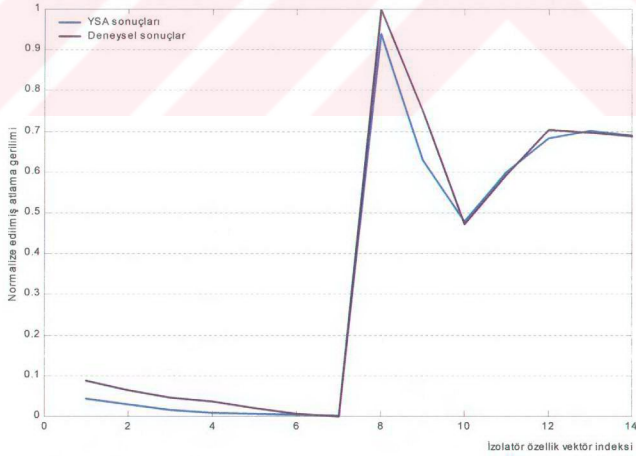


Şekil 5.17. İzolatörün YSA modelinin deneysel sonuçlarla [83] karşılaştırılması

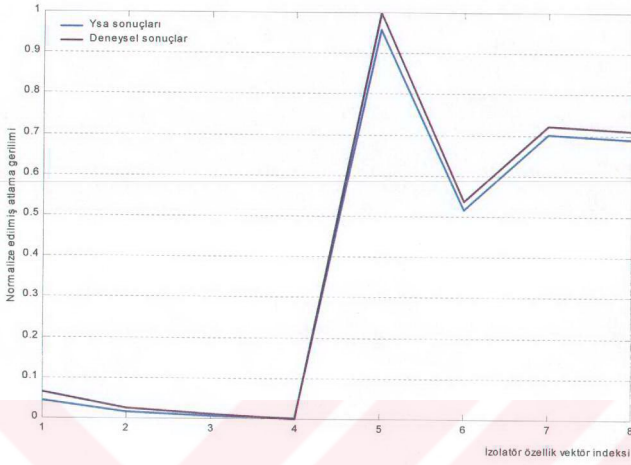


Şekil 5.18. İzolatörün YSA modelinin diğer bir model sonuçlarıyla [83] karşılaştırılması

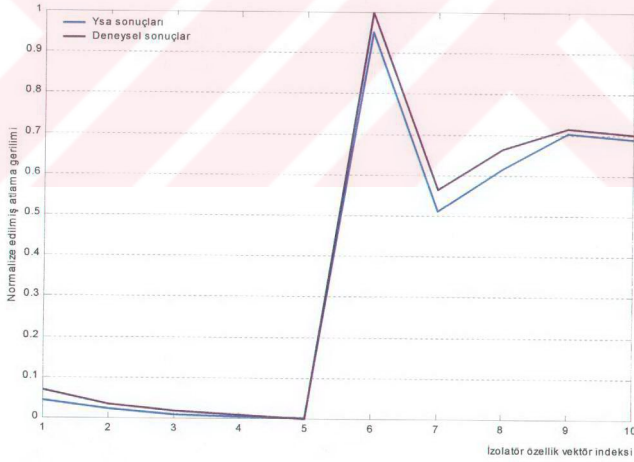
Şekil 5.19-5.25 'de, izolatörün YSA modeli ile elde edilen sonuçların, Şekil 5.15 'de gösterilen izolatörlere ait deneysel sonuçlarla karşılaştırması verilmiştir.



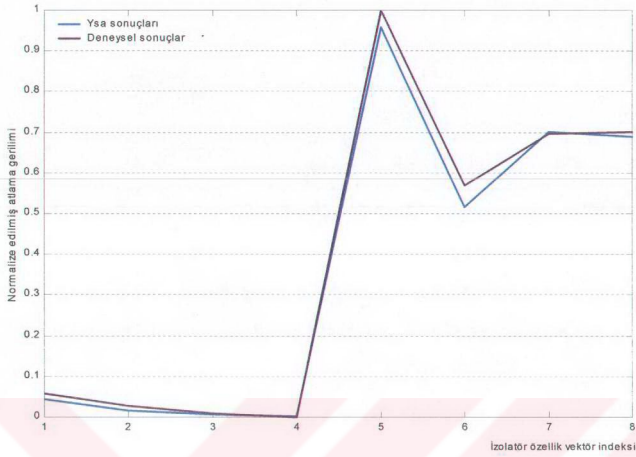
Şekil 5.19. I izolatörü için YSA modelinin deneysel sonuçlarla [83] karşılaştırılması



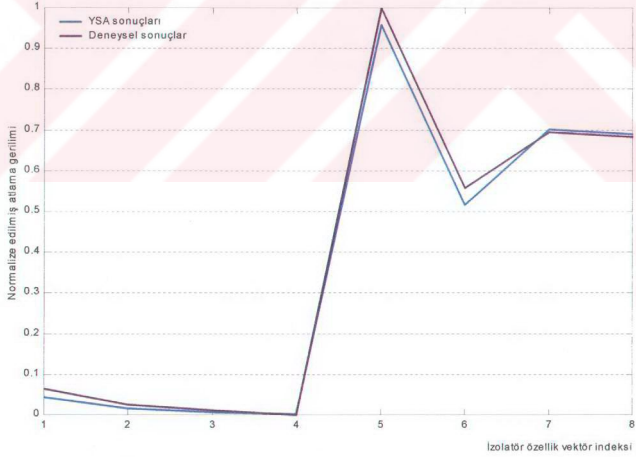
Şekil 5.20. II izolatörü için YSA modelinin deneyisel sonuçlarla [83] karşılaştırılması



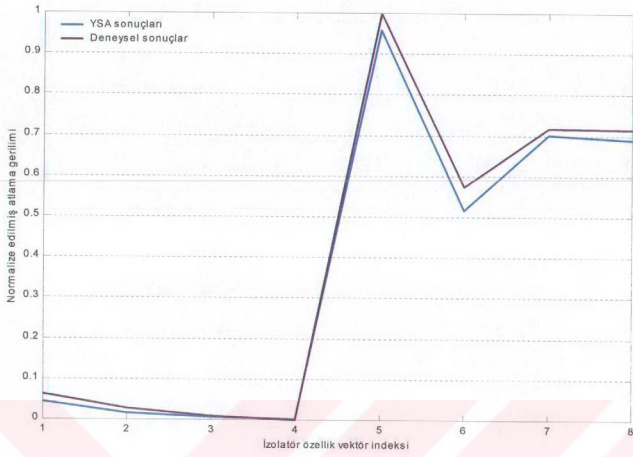
Şekil 5.21. III izolatörü için YSA modelinin deneyisel sonuçlarla [83] karşılaştırılması



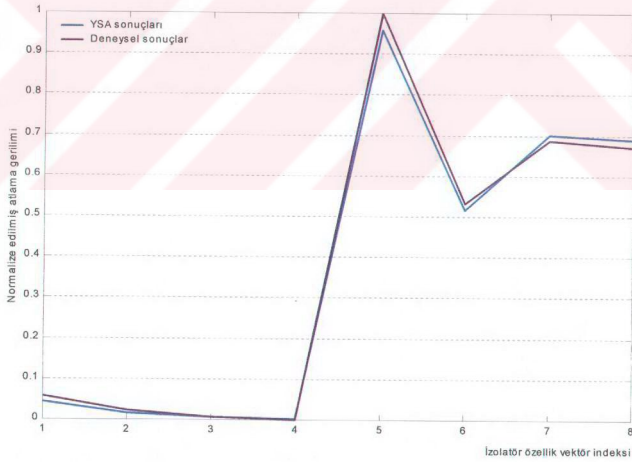
Şekil 5.22. IV izolatörü için YSA modelinin deneyisel sonuçlarla [83] karşılaştırılması



Şekil 5.23. V izolatörü için YSA modelinin deneyisel sonuçlarla [83] karşılaştırılması



şekil 5.24. VI izolatörü için YSA modelinin deneyisel sonuçlarla [83] karşılaştırılması



şekil 5.25. VII izolatörü için YSA modelinin deneyisel sonuçlarla [83] karşılaştırılması

5.5. Değerlendirme

Hesaplanan atlama gerilimi değerlerinden (Şekil 5.4, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8), J izolatörünün en büyük, G izolatörünün ise en küçük atlama gerilimine sahip olduğu görülmektedir. Burada sızma uzunluğu bakımından J izolatörünün en büyük ve G izolatörünün de en küçük olduğuna dikkat edilmelidir. J izolatörünün en iyi atlama performansına sahip olduğu söylenebilir. En küçük yükseklığe, çapa, sızma uzunluğuna ve en az diş sayısına sahip olan G izolatörü atlama açısından en kötü performansı gösterir. İzolatör geometrisi ve izolatör boyutları açısından benzerlik gösteren J, C ve E izolatörlerinin performansları da benzerdir. Sızma uzunlukları birbirine yakın olan B, A, I, D, F ve H izolatörleri benzer atlama davranışları göstermiştir. Şekil 5.5 ve Şekil 5.9 'da verilen, izolatör zinciri boyunca hesaplanan atlama gerilimi değerinde, zincirdeki eleman sayısı önemli olduğundan, tek eleman için elde edilen sıralama değişmiştir.

Şekil 5.10-5.13 'den bu çalışmada gösterilen dinamik model kullanılarak hesaplanan atlama gerilimi değerlerinin, çeşitli araştırmacılar tarafından bulunan sonuçlarla uyumlu olduğu görülmektedir.

Şekil 5.16 'dan izolatörün YSA modelinin büyük bir başarımla elde edildiği ve Şekil 5.17 ve Şekil 5.18 'den farklı tipteki zincir izolatörlerin atlama gerilimlerini bulmak için yetenekli olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.19-5.25 'de görülen her izolatör için ayrı ayrı karşılaştırma sonuçları da tatmin edicidir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

6. SONUÇ

Kirli izolatörlerde atlama olayı, iletim hattında büyük bir alanı kaplayan ve uzun süren enerji kesintilerine neden olduğu için, güç iletim sistemlerinin güvenli çalışmalarını etkileyecek ciddi bir tehdit olma özelliğini hala korumaktadır. İzolatörlerin kir performansının izolasyon koordinasyonunda kılavuz faktör olması ve iletim hatları gerilimlerindeki artışlar nedeniyle izolatör kirliliği üzerindeki araştırmaların önemi gün geçtikçe artmaktadır. Kirlenme atlaması üzerine çok sayıda araştırma yapılmış ve atlama gerilimlerini hesaplamak için bir çok metod ortaya konulmuştur. Aslında kirlenme atlaması üzerindeki araştırmalar doğrudan doğruya deşarj büyümesinin fizığının anlaşılmasına ve kritik atlama gerilimini önceden doğru olarak belirleyebilecek matematiksel bir model geliştirmeye yöneliktir. Fakat oldukça kapsamlı saha ve laboratuvar çalışmalarına rağmen, kirlenme atlamasının temel mekanizması hala tam olarak anlaşılamamıştır. Atlama olayı ile ilişkilendirilmiş parametrelerin çokluğu, çalışmaları daha karmaşık bir hale getirmektedir. Atlama geriliminin; gerilimin polaritesi, düzensiz ıslanma, yüzey iletkenliği, yıkama, rüzgar, uzunluk, çap ve izolatör şekli gibi pek çok büyüklüğe bağlı olduğu servis şartlarında gözlenmiştir.

YSA, özellikle matematiksel çözümü olmayan veya zor olan problemler için idealdir. Kirlenme atlaması olayının karmaşıklığından dolayı matematiksel izahının tam olarak yapılamaması, bu problemin çözümünde YSA 'nın kullanılmasının çok uygun olacağını göstermektedir. Bu gerçekten hareketle; atlama olayının YSA ile incelenmesi halinde, henüz açığa kavuşmamış bir takım noktaların aydınlatılabileceği düşünülmüştür. Bu amaçla geliştirilen YSA modelinin, izolatörlerin atlama performanslarını incelemede oldukça başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, deneysel yaklaşım yerine, YSA üzerine kurulu $V_C = f(H, D, L, \sigma, n, d)$ modellemesi önerilmiştir. Deneysel ilişkiler sadece dizayn edilen giriş değişkenlerinin dizisi içerisinde geçerli olduğundan, bu modellemeye ihtiyaç duyulmuştur. Öğrenme oranı ve momentin, geriye yayılım öğrenme algoritmasının verimi üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak araştırılmış ve geleneksel algoritmanın yakınsama oranının, öğrenme oranı ve momentum ile önemli ölçüde etkilendiği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen yeni dinamik model yardımıyla hesaplanan atlama gerilimi değerleri, diğer araştırmacıların deneysel olarak buldukları ve teorik olarak hesapladıkları sonuçlarla karşılaştırılmış ve modelin geçerliliği ispatlanmıştır. Bu yeni dinamik model kullanılarak geliştirilen YSA modeli, dinamik model kullanılarak elde edilen sonuçlarla, 0,001 gibi çok küçük bir toplam karesel hatayla eğitilmiş ve test edilmiştir. Ayrıca, eğitilmiş YSA farklı tip zincir izolatlara ait deneysel sonuçlarla da test edilmiş ve böylece YSA

modellemesinin geçerliliği ispatlanmıştır. İzolatörün YSA modeli ile zincir tipi izolatörlerin atlama gerilimleri kolayca bulunabilir ve izolatörlerin atlama performansları incelenebilir.

Bu çalışmadan destek almak suretiyle aşağıdaki alanlarda çalışma yapılabilir:

a) Yüzeydeki kir tabakası iletkenliğinin (soğuk ve sıcak kir iletkenliği) ark öncesinde ve ark başlangıcındaki değişimlerinin belirlenerek hesaplara katılması (Böylece bir izolatörde ark oluşana kadar geçen süre içerisinde yüzeyin her bir noktasındaki direnç değişimleri ve öndeşarjların oluşacağı bölgeler belirlenerek, tasarım açısından bu değişimlerin izolatör şekli ile olan ilişkileri incelenebilir),

b) YG 'de kullanılan izolatörleri çok iyi tanıyan bir YSA geliştirilerek, hangi bölgede hangi tip izolatörün kullanılacağıının otomatik olarak belirlenmesi,

c) YG 'de atlama performansı yüksek izolatörlerin tasarımı.

KAYNAKLAR

1. Dhahbi-Megriche, N. and Beroual, A., 2000, "Flashover dynamic model of polluted insulators under ac voltage", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 7, No. 2, pp. 283-289.
2. Dhahbi-Megriche, N., Beroual, A. and Krahenbühl, L., 1997, "A new proposal model for flashover of polluted insulators", J. Phys. D:Appl. Phys. Vol. 30, No. 5, UK, pp. 889-894.
3. Sundararajan, R. and Gorur, R. S., 1993, "Dynamic arc modeling of pollution flashover of insulators under dc voltage", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 28, No.2, pp. 209-218.
4. Rahal, E.H.A.M., 1979, "Sur les mecanismes physiques du contournement des isolateurs haute tension", These de doctorat es Sciences Physiques, Universite Paul Sabatier, Toulouse, France.
5. Rizk, F.A.M., 1981, "Mathematical models for pollution flashover", Electra, Vol. 78, pp. 71-103.
6. Looms, J. S. T., 1988, "Insulators for high voltages", Peregrinus, P., p. 276.
7. Rumeli, A., 1973, "Yüksek gerilim izolatörlerinin kirlenme atlama gerilimlerinin hesaplanması", Tübitak Müh. Araştırma Grubu, Proje No: MAG-294, Ankara, 168 s.
8. Çanakçı, M., 1993, "Sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla yüksek gerilim izolatörlerinde yüzey alan dağılımının hesabı", Yük. Lis. tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., Elazığ, 72 s.
9. Rumeli, A., 1973, "Kırlı izole yüzeylerdedeşarjların yayılımı ve atlama", Elektrik Mühendisliği, 199, s. 419-427.
10. Bendapudi, S. R., 1988, "Flashover voltage of contaminated insulators", Conference Record of the 1988 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston.
11. Rumeli, A., 1979, "Homojen kirlle kaplı yüksek gerilim izolatörlerinin dayanım gerilimlerinin hesaplanması", Profesörlük Tezi, ODTÜ, Ankara, 53 s.
12. Zhicheng, G., 1984, "The theoretical analysis and experimental study of criteria for flashover of polluted insulators under dc and ac voltages", Ph. D. Thesis, Tsinghua University.
13. Zhicheng, G. and Renyu, Z., 1990, "Calculation of dc and ac flashover voltage of polluted insulators", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 25, No. 4, pp. 723-729.
14. TS-IEC, 1995, *Kirlenme şartlarına göre izolatörlerin seçilme kuralları kılavuzu*.
15. *Tests on indoor and outdoor post insulators of ceramic material or glass for systems with nominal voltages greater than 1kV*, IEC 60168:1994 / A1:1997.
16. *Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1000 V, Part 1: Ceramic or glass insulator units for ac systems – definitions, test methods and acceptance criteria*. 1993.

17. *Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1000 V, Part 2: Insulator strings and insulator sets for ac systems – definitions, test methods and acceptance criteria*, 1993.
18. Haznadar, Z., Sokolija, K. and Sadovic, S., 1989, "Dynamic model of pollution flashover", Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans, LA, USA, 12.09.
19. Rodriguez, A., Wang, F. and Cheng, T.C., 1989, "Time-dependent stochastic modeling of surface flashovers on contaminated insulators", Sixth International Symposium on HV Engineering, Paper no.12.04.
20. Gellert, B.C. and Rasmussen, J.K., 1989, "Finite element modeling of dry zone formation on polluted outdoor HV insulators" Sixth International Symposium on HV Engineering, Paper no.24.07.
21. Jolly, D.C., Cheng, T.C. and Otten, D.M., 1974, "Dynamic theory of discharge growth over contaminated insulator surfaces", Conf. Paper No.74-068-3, IEEE PES Winter Power Meeting.
22. Anjana, S. and Lakshminarasimha, C. S., 1989, "Computation of flashover voltages of polluted insulators using dynamic arc model", Sixth International Symposium on High Voltage Engineering, New Orleans, LA, USA, Paper No.30.09.
23. Alston, L.L. and Zoledziowski, S., 1963, "Growth of discharges on polluted insulation", Proc. IEE, Vol. 110, pp. 1260-1266.
24. Hampton, B., 1964, "Flashover mechanism of polluted insulation", Proc. IEEE, London, Vol. 111, pp. 985-990.
25. Wilkins, R., 1969, "Flashover voltage of HV insulators with uniform surface pollution films", Proc. IEE, Vol. 116, No.3, pp. 457-465.
26. Obenaus, F., 1958, „Fremdschichtüberschlag und Kriechweglänge“, Deutsche Electrotechnik, Vol. 4, pp. 135-136.
27. 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.
28. Obenaus, F., 1960, "Kriechüberschlag von isolatoren mit fremdschichten. Elektrizitätswirtschaft", Vol. 24, pp. 878-882.
29. Alexandrov, G.N. and Kizevter, V.E., 1962, "Development of discharges along the conducting surface of high voltage insulation in electrical networks", IZV VUZ Energetika No. 5, pp. 20-27.
30. Wilkins, R. and Al-Baghdadi, A., 1971, "Arc propagation along and electrolyte surface", Proc. IEE, Vol. 118, pp. 1886-1892.
31. Rizk, F.A., 1970, "Application of dimensional analysis to flashover characteristics of polluted insulators", Proc. IEE, Vol. 117, pp. 2257-2260.

32. Claverie, P. and Porcheron, Y., 1973, "How to choose insulators for polluted areas", IEEE Transactions on Power Apparatus Systems, Vol. 92, pp. 1121-1131.
33. Zoledziowski, S., 1968, "Time to flashover characteristics of polluted insulation", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-87, pp. 1397-1404.
34. Higginbottom, L., Zoledziowski, S. and Calderwood, J.H., 1979, "The dynamic model of flashover along a conductive surface", Third International Symposium on High Voltage Engineering, Milan, Paper No.54.03.
35. Astorga, O.A.M. and Do Prado, A.J., 1994, "The flashover phenomenon : An analysis with influence of the thickness of the layer pollution of the high voltage polluted insulators", Conference Record of the 1994 IEEE Int. Symposium on Electrical Insulation, Pittsburgh, PA USA, pp. 546-549.
36. Chen, T.C. and Nour, H.I.M., 1989, "A study on the profile of HVDC insulators", IEEE Transactions Electrical Insulation, Vol. 24, pp. 113-117.
37. Chen, T.C., Nour, H.I.M. and Wu, C.Y., 1984, "Dc interfacial breakdown on contaminated electrolytic surfaces", IEEE Transactions Electrical Insulation, Vol. 19, pp. 536-542.
38. Abdel-Salam, H.A.H., Nagat, M.K.A. and Bahaa, A.A., 2002, "Effect of desert environmental conditions on the flashover voltage of insulators", Energy Conversion and Management, Vol. 43, Iss. 17, pp. 2437-2442.
39. Karady, G.G., Amarh, F. and Sundararajan, R., 1999, "Dynamic modeling of ac insulator flashover characteristics", High Voltage Engineering Symposium, Conference Publication No. 467.
40. Kraus, J.D., 1984, *Electromagnetics*, (3rd Edit.) International Student Edition.
41. McElhannon, W. and McLaughlin, E., 1975, "Thermal conductivity of simple dense fluid mixtures", Fourteenth International Conference on Thermal Conductivity, New York.
42. 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, Vol. 3, No. 2, pp. 273-282.
43. Holtzhausen, J.P. and Vosloo, W.L., 2001, "The pollution flashover of ac energized post type insulators", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 8, No. 2, pp. 191-194.
44. Khalifa, M., Mahdy, A. and Qureshi, A.H., 1987, "A simplified model for a.c. flashover of polluted insulators", Fifth International Symposium on High Voltage Engineering, Braunschweig.
45. Cebeci, M., 1992, "Zincir izolatörlerde elektrik alan dağılımının incelenmesi", Doktora tezi, Fırat Üniv. Fen Bil. Enst., Elazığ, 123 s.
46. Gençoğlu, M.T. ve Cebeci, M., 2001, "İzolatörlerde kirliliğin yüzeyel atlama performansına etkisi", NEU-CEE 2001 Electrical-Electronic & Computer Engineering Symposium, Lefkoşa, TRNC, 59-63.

47. Gençoğlu, M.T., 1997, "Yüksek gerilim izolatörlerinin kirlenme atlama davranışlarının sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla belirlenmesi", Yük. Lis. tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., Elazığ, 81 s.
48. Aydoğmuş, Z., 2000, "Yüksek gerilim izolatörlerinde kirlenme atlama dinamik ark modeli", Doktora tezi, Fırat Üniv. Fen Bil. Enst., Elazığ, 92 s.
49. Cebeci, M., Kürüm, H. and Akpınar, S., 1998, "Lagrange Multipliers for the intermediate metallic regions in the computation of the potential distribution of insulator chains by FEM", Electric Machines and Power Systems, Vol. 26, No. 5, pp. 495-505.
50. Gökbulut, M., 2000, *Yapay sinir ağları ve uygulamaları*. F.Ü. Tek.Eğt.Fak. Elektronik ve Bilg.Eğt.Böl. Ders Notları, Elazığ, 59 s.
51. Jang, J.S.R., Sun, C.T. and Mizutani, E., 1997, *Neuro-fuzzy and soft computing*. PTR Prentice Hall, Upper Saddle River.
52. Efe, M.Ö. ve Kaynak, O., 2000, *Yapay sinir ağları ve uygulamaları*. Boğaziçi Üniv., İstanbul, 141 s.
53. Gupta, M.M. and Rao, D.H., 1993, "Dynamical neural units with applications to the control of unknown nonlinear systems", Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, Vol. 1, No.1, pp. 73-92.
54. Zurada, J.M., 1992, *Introduction to artificial neural systems*. West Publishing Company, Inc, New York, USA, 683p.
55. Türkoğlu, İ., 1996, "Yapay sinir ağları ile nesne tanıma", Yüksek Lisans tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., Elazığ, 93 s.
56. Niebur, D., 1995, "Artificial neural networks for power systems", Electra, No. 159.
57. İnanc, A., 1999, "Yapay sinir ağlarının güç sistemlerinde kullanım alanları", Kaynak Elektrik, sayı 119, s. 104-114.
58. Bhattacharya, K., Chakravorti, S. and Mukherjee, P.K., 2001, "Insulator contour optimization by a neural network", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 8, No. 2, pp. 157-161.
59. Eşiyok, E., 1996, "Güç sistemlerinde yapay zeka uygulamaları", 3e Enerji, Elektrik, Elektromekanik, sayı 22, s. 64-70.
60. Mandal, J.K., Sinha, A.K. and Parthasarathy, G., 1995, "Application of recurrent neural network for short term load forecasting in electric power system", In: Proc. of the IEEE Int. Conf. ICNN '95, Vol. 5, Perth (Western Australia), pp. 2694-2698.
61. Kreider, J.F. and Wang, X.A., 1995, "Artificial neural network demonstration for automated generation of energy use predictors for commercial buildings", In: Haberl JS, Nelson RM, Culp CC. editors. The use of artificial intelligence in building systems. ASHRAE, pp. 193-198.
62. Kanoh, H., Kaneta, M. and Kanemaru, K., 1991, "Fault location for transmission lines using inference model neural networks", Electrical Eng. Japan., Vol. 3, No. 7, pp. 84-93.

63. Chow, M.Y. and Yee, S.O., 1990, "Real-time application of artificial neural networks for incipient fault detection of induction machines", Proc. Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems (IEA/AIE), Charleston, USA.
64. Santoso, N.I. and Tan, O.T., 1990, "A neural network based real-time control of capacitors installed on distribution systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 1, pp. 266-272.
65. Dash, P.K., Liew, A.C. and Rahman, S., 1996, "An adaptive linear combiner for on-line tracking of power system harmonics", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 4, pp. 1730-1735.
66. Chen, C.R. and Hsu, Y. Y., 1990, "Synchronous machine steady-state stability analysis using an artificial neural network", IEEE PES Summer Power Meeting, Paper No. 90 SM 430-9 EC.
67. Roh, M.S., Chean, S.W. and Chang, S.H., 1991, "Thermal power prediction of nuclear power plants using neural network and parity space model", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 38.
68. Curtis, P.S., Brandemuehl, M.J. and Kreider, J.F., 1995, "Energy management in central HVAC plants using neural networks", In: Haberl JS, Nelson RM, Culp CC. editors. The use of artificial intelligence in building systems. ASHRAE, pp. 199-216.
69. Kalogirou, S.A., 2000, "Applications of artificial neural-networks for energy systems", Applied Energy, Vol. 67, pp. 17-35.
70. Milanic, S. and Karba, R., 1996, "Neural network models for predictive control of a thermal plant", In: Proc. of the Int. Conf. EANN '96, London, UK, pp. 151-154.
71. Mohandes, M., Rehman S. and Halawani, T.O., 1998, "Estimation of global solar radiation using artificial neural networks", Renewable Energy, Vol. 14, No. 1-4, pp. 179-184.
72. Nosseir, A., Zarzoura, H. and El-Sharkawi, E., 1983, "Dynamic characteristic of propagating arcs on polluted insulators", Fourth International Symposium on High Voltage Engineering, Athens, Greece.
73. Özbek, M.E., 2002, "Computer-aided estimation of the flashover performance of polluted high voltage insulators", A Thesis Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of the Middle East Technical University, Ankara, 154 p.
74. Türkoğlu, İ., 2002, "Durağan olmayan işaretler için zaman-frekans entropilerine dayalı akıllı örüntü tanıma", Doktora Tezi, Elazığ, 112 s.
75. Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and Williams, J.R., 1986, "Learning internal representations by error propagation", Parallel Distributed Processing, Vol. 1, MIT Press MA, pp. 318-362.
76. Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and Williams, J.R., 1986, "Learning representations by back-propagating errors", Nature, 323, pp. 533-536.

77. Nguyen, D. and Widrow, B., 1990, "Improving the learning speed of 2-layer neural networks by choosing initial values of the adaptive weights", *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, 3, pp. 21-26.
78. Vogl, T.P., Mangis, J.K., Rigler, A.K., Zink, W.T. and Alkon, D.T., 1988, "Accelerating the convergence of the back-propagation method", *Biol. Cybern.*, Vol. 59, pp. 257-263.
79. Jacobs, R.A., 1988, "Increased rates of convergence through learning rate adaptation", *Neural networks*, Vol. 1, pp. 295-307.
80. Freeman, J.A. and Skapura, D.M., 1991, "Neural Networks: Algorithms, Applications and Programming Techniques", Reading, MA, Addison-Wesley.
81. Narayan, S., 1999, "The Generalized Sigmoid Activation Function Competitive Supervised Learning", Elsevier Science Inc. *Information Sciences*, pp. 69-82.
82. Ghosh, P.S., Chakravorti, S. and Chatterjee, N., 1995, "Modelling of critical flashover voltage characteristics of contaminated electrolytic surfaces of insulators using artificial neural network", *Journal of the Institution of Engineers (India)*, Vol. 76, Pt. EL, May, pp. 50-56.
83. Sundararajan, R. and Gorur, R.S., 1994, "Effect of insulator profiles on dc flashover voltage under polluted conditions. A study using a dynamic arc model", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 1, No. 1, pp. 124-132.

ÖZGEÇMİŞ

Muhsin Tunay GENÇOĞLU

Fırat Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Elazığ

Tel: 0 424 2370000 – 6351
E-mail: mtgencoglu@firat.edu.tr

1973 Elazığ 'da doğdu.

1990-1994 Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü 'nden mezun oldu.

1994-1997 Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği anabilim dalında “Yüksek Gerilim İzolatörlerinin Kirlenme Atlama Davranışlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi Yardımıyla Belirlenmesi“ konulu tez çalışması ile yüksek mühendis ünvanını aldı.

1994-1996 Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü 'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı.

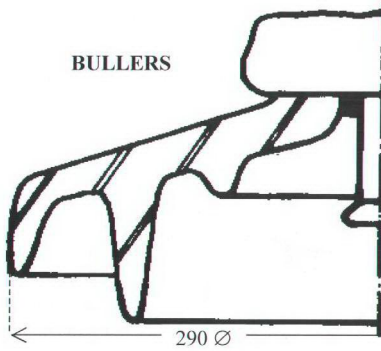
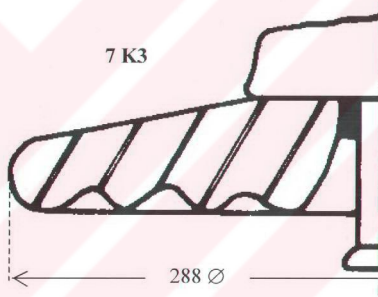
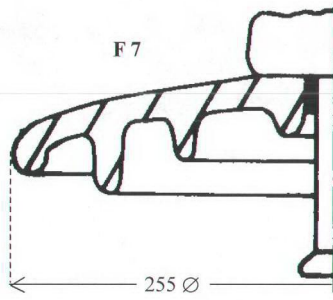
1996- Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü 'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

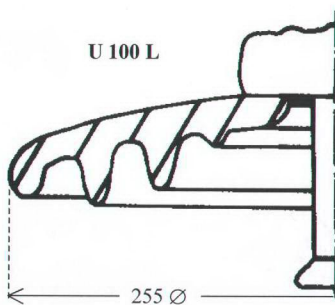
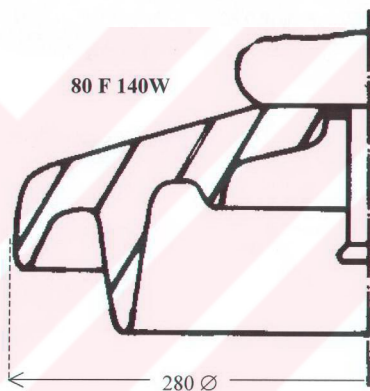
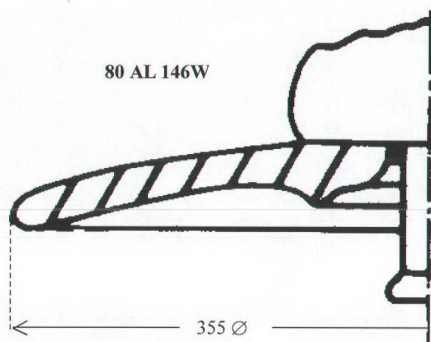
1997- Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği anabilim dalında doktora eğitimine başladı.

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON BİRİMİ**

EK - 1

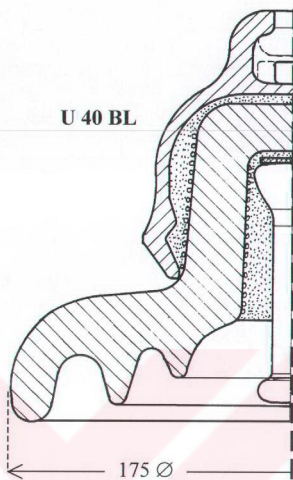
HESAPLAMALARDA KULLANILAN İZOLATÖRLER



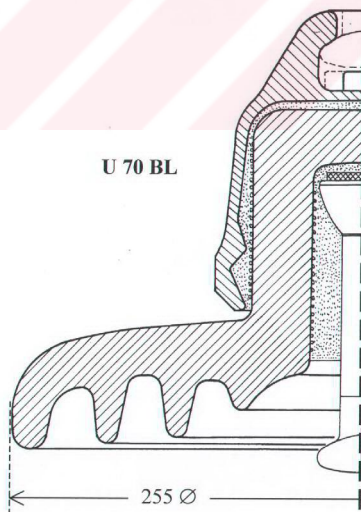


Z.C. YÖNERGELECEĞİNE KÖRÜLÜ
BOKSİMENTLİSİYON İNİLECEKİ

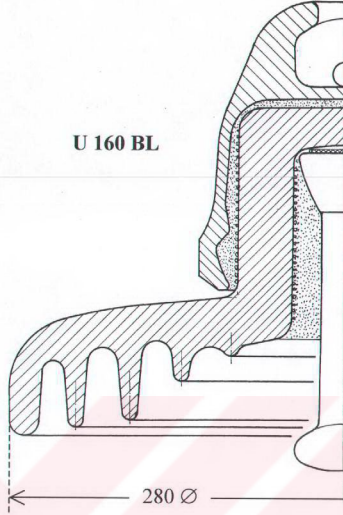
U 40 BL



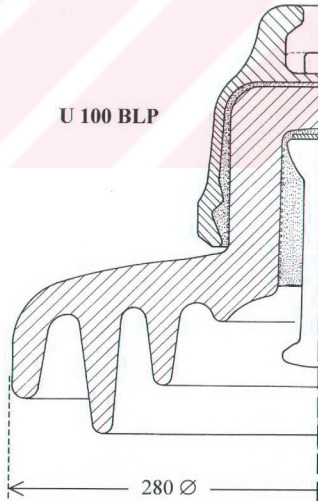
U 70 BL



U 160 BL



U 100 BLP



T.C. YÖRÜKÇÜBİLİM KURULU
BİNA MANTARYON MURAKKEZİ