

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE AKILLI SİSTEMLER
YARDIMIYLA ARIZA TİPİ VE YERİNİN BELİRLENMESİ**

Sami EKİCİ

Tez Yöneticileri
Prof.Dr. Mustafa POYRAZ
Yrd.Doç.Dr. Selçuk YILDIRIM

DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2007

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE AKILLI SİSTEMLER YARDIMIYLA ARIZA TİPİ VE YERİNİN BELİRLENMESİ

Sami EKİCİ

Doktora Tezi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Danışman: Prof.Dr. Mustafa POYRAZ

Üye: Prof.Dr. M. Kemal KIYMIK

Üye: Prof.Dr. Mehmet CEBECİ

Üye: Prof.Dr. Yakup DEMİR

Üye: Yrd.Doç.Dr. Engin AVCI

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

TEŐEKKÖR

Bu tez çalışmasında, benden her tŸrlŸ maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen anne ve babama, hořgŸrŸsŸnden ve yardımlarından dolayı sevgili eşim Arř.GŸr.BetŸl EKİCİ'ye, bilgi ve ŸğŸtlerinden yararlandığım danışman hocalarım Sayın Prof.Dr. Mustafa POYRAZ ve Sayın Yrd.Doç.Dr. Selçuk YILDIRIM'a, benden hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof.Dr.Yakup DEMİR, Yrd.Doç.Dr. Engin AVCI, Yrd.Doç.Dr. Davut HANBAY, Ŗđr.GŸr.Dr. Cafer BAL, Ŗđr.GŸr.Dr. Erkan TANYILDIZI, Arř.GŸr. Korhan KAYIŐLI ve Arř.GŸr. Resul ÖTELİ'ye teőekkŸrŸ bir borç bilirim.

Sami EKİCİ

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	III
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
EKLER LİSTESİ.....	IX
SEMBOLLER LİSTESİ.....	X
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XIII
ÖZET.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KISA DEVRE ARIZALARI.....	6
2.1. Arıza Tipleri ve Sebepleri.....	6
2.1.1. Üç Fazlı Simetrik Arızalar.....	8
2.1.2. Asimetrik Arızalar.....	9
2.1.2.1. Tek-Faz Toprak Arızası.....	9
2.1.2.2. İki-Faz Arızası.....	11
2.1.2.3. İki-Faz Toprak Arızası.....	11
2.2. Kısa Devre Arızalarının Özellikleri.....	12
2.3. Kısa Devre Akımının Değişimi.....	14
3. GÜÇ SİSTEMİ MODELİ VE ARIZA SİNYALLERİNİN ELDE EDİLMESİ.....	18
3.1. Prototip Güç Sistemi Modeli.....	18
3.1.1. Elektriksel Büyüklükler ve Eşdeğer Devre Diyagramları.....	18
3.1.2. İletim Hattı Modelinin Eşdeğer Devresi.....	21
3.1.3. Prototip Güç Sistemi Elemanları ve Özellikleri.....	23
3.2. Kısa Devre Arızalarının Oluşturulması.....	24
3.2.1. Arıza Sonuçlarının Bilgisayar Ortamına Aktarılması.....	27
3.3. Kısa Devre Arızalarının ATP ile Benzetimi.....	34
3.3.1. Arıza Direnci Değişiminin Etkisi.....	42
3.3.2. Yük Değişiminin Etkisi.....	43
3.3.3. Çoklu Kaynak Etkisi.....	44
4. ARIZA SİNYALLERİNİN GEÇİCİ DURUM ÖZELLİKLERİNİN ÇIKARILMASI.....	46

4.1.	DD ile Geçici Durum Analizi.....	47
4.1.1.	Sürekli Dalgacık Dönüşümü.....	48
4.1.2.	Alt Bant Kodlaması.....	51
4.1.3.	Ayrık Dalgacık Dönüşümü.....	52
4.1.4.	ADD ile Kısa Devre Arıza Sinyallerinin Analizi.....	54
4.1.5.	Dalgacık Entropisi.....	61
5.	KISA DEVRE ARIZA TİPLERİNİN BELİRLENMESİ.....	64
5.1.	Yapay Sinir Ağları.....	65
5.2.	Destek Vektör Makinalar.....	71
5.2.1.	İkili DVM Sınıflandırma Algoritması.....	72
5.2.2.	Çok Sınıflı DVM Sınıflandırma Algoritması.....	76
5.2.3.	DVM Yönteminin Regresyon için Kullanılması.....	77
5.3.	ÇDVM ile Arıza Tiplerinin Belirlenmesi.....	79
6.	KISA DEVRE ARIZA YERİNİN BELİRLENMESİ.....	87
6.1.	Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları.....	87
6.2.	RTF ile Arıza Yerinin Belirlenmesi.....	91
7.	SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	102
	KAYNAKLAR.....	105
	ÖZGEÇMİŞ.....	114
	EKLER	
	EK-1: Prototip güç sistemi deney setinde kullanılan elemanların teknik özellikleri	
	EK-2: Veri iletişim kartı için düzenlenen C++ programı	
	EK-3: a) Kullanılan YSA Parametreleri	
	b) Kullanılan Eğitim Verileri	
	c) Kullanılan Test Verileri	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	Güç sistemlerinde oluşan kısa devre arızaları.....	7
Şekil 2.2	Güç sistemlerinde oluşan kısa süreli gerilim bozulmaları.....	8
Şekil 2.3	Üç fazlı simetrik arıza.....	9
Şekil 2.4	Yıldız noktası doğrudan topraklanmış bir şebekede geçiş dirençsiz 1FTA'nın oluşması.....	10
Şekil 2.5	Yıldız noktası bir empedans üzerinden topraklanmış, geçiş dirençli 1FTA'nın oluşması.....	10
Şekil 2.6	Yıldız noktası topraklanmamış bir şebekede 2FA oluşması.....	11
Şekil 2.7	Çeşitli yıldız noktası bağlantı şekillerinde 1FTA için gerilimlerin değişimi.....	13
Şekil 2.8	Generatörün Thevenin eşdeğeri.....	14
Şekil 2.9	Kısa devre akımları (a) $\tan \alpha = -(R / \omega L)$, (b) $\tan \alpha = (\omega L / R)$	15
Şekil 2.10	Senkron makine için kısa devre akım ve reaktansları.....	16
Şekil 2.11	Üç fazlı klemens kısa devresinde kısa devre akımlarının değişimi.....	17
Şekil 2.12	Generatöre yakın ve uzak kısa devrelerde akımın değişimi.....	17
Şekil 3.1	Üç fazlı iletim hattı için eşdeğer devre diyagramı.....	19
Şekil 3.2	Üç fazlı iletim hattının tek fazına ait eşdeğer π devre diyagramı.....	21
Şekil 3.3	Kayıpsız üç fazlı bir iletim hattının tek faz eşdeğer devre diyagramı.....	22
Şekil 3.4	Prototip iletim hattı modeli.....	23
Şekil 3.5	Prototip güç sisteminin deneysel bağlantısı.....	24
Şekil 3.6	Tek-faz toprak kısa devresi için kullanılan anahtarlama yapısı.....	25
Şekil 3.7	Arıza mesafesi değişiminin arıza akım ve gerilimlerine etkisi.....	26
Şekil 3.8	Yalıtım yükselteci.....	27
Şekil 3.9	Hat başında meydana gelen 1FTA için gerilim ve akımların değişimi...	28
Şekil 3.10	Hat ortasında meydana gelen 1FTA için gerilim ve akımların değişimi..	29
Şekil 3.11	Hat sonunda meydana gelen 1FTA için gerilim ve akımların değişimi..	29
Şekil 3.12	Hat başında meydana gelen 2FA için gerilim ve akımların değişimi.....	30
Şekil 3.13	Hat ortasında meydana gelen 2FA için gerilim ve akımların değişimi...	30
Şekil 3.14	Hat sonunda meydana gelen 2FA için gerilim ve akımların değişimi.....	31
Şekil 3.15	Hat başında meydana gelen 2FTA için gerilim ve akımların değişimi...	31
Şekil 3.16	Hat ortasında meydana gelen 2FTA için gerilim ve akımların değişimi..	32
Şekil 3.17	Hat sonunda meydana gelen 2FTA için gerilim ve akımların değişimi...	32
Şekil 3.18	Hat başında meydana gelen 3FSA için gerilim ve akımların değişimi....	33

Şekil 3.19	Hat ortasında meydana gelen 3FSA için gerilim ve akımların değişimi...	33
Şekil 3.20	Hat sonunda meydana gelen 3FSA gerilim ve akımların değişimi.....	34
Şekil 3.21	ATP ve MATLAB yazılımlarının birleştirilmiş akış diyagramı.....	35
Şekil 3.22	Prototip güç sisteminin ATP modeli.....	36
Şekil 3.23	Hat başında meydana gelen 1FTA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.....	36
Şekil 3.24	Hattın orta noktasında meydana gelen 1FTA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.....	37
Şekil 3.25	Hat sonunda meydana gelen 1FTA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.....	37
Şekil 3.26	Hat başında meydana gelen 2FA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.....	38
Şekil 3.27	Hattın orta noktasında meydana gelen 2FA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.....	38
Şekil 3.28	Hat sonunda meydana gelen 2FA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.....	39
Şekil 3.29	Hat başında meydana gelen 2FTA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.....	39
Şekil 3.30	Hattın orta noktasında meydana gelen 2FTA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.....	40
Şekil 3.31	Hat sonunda meydana gelen 2FTA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.....	40
Şekil 3.32	Hat başında meydana gelen 3FSA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.....	41
Şekil 3.33	Hattın orta noktasında meydana gelen 3FSA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.....	41
Şekil 3.34	Hat sonunda meydana gelen 3FSA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.....	42
Şekil 3.35	Her iki ucu topraklanmış bir iletim hattında kısa devre durumu ve arıza akımının izlediği yol.....	43
Şekil 3.36	Tek-faz toprak kısa devresinde arıza direnci ile faz akımlarının değişimi.....	43
Şekil 3.37	Tek-faz toprak kısa devresinde farklı yükler ile faz akımlarının değişimi.....	44
Şekil 3.38	Çift kaynakla beslenen 750 kV'luk iletim hattı modeli.....	45

Şekil 3.39	750 kV'luk iletim hattının ATP modeli.....	45
Şekil 4.1	Sinyal analiz yöntemleri.....	48
Şekil 4.2	(a) Farklı ölçeklemelere sahip dalgacıklar; (b) Zaman ekseninde ötelenmiş dalgacık.....	49
Şekil 4.3	Bazı önemli dalgacık aileleri.....	50
Şekil 4.4	Sinyal spektrumunun iki süzgeç yardımı ile ayrıştırılması.....	51
Şekil 4.5	Sinyal yaklaşığının yeniden detay ve yaklaşıklarına ayrıştırılması.....	53
Şekil 4.6	Tek-faz toprak arızasında arızalı A fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.....	55
Şekil 4.7	Tek-faz toprak arızasında sağlam B fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.....	56
Şekil 4.8	Tek-faz toprak arızasında sağlam C fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.....	56
Şekil 4.9	İki-faz arızasında arızalı A fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.....	57
Şekil 4.10	İki-faz arızasında arızalı B fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.....	57
Şekil 4.11	İki-faz arızasında sağlam C fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.....	58
Şekil 4.12	İki-faz toprak arızasında arızalı A fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.....	58
Şekil 4.13	İki-faz toprak arızasında arızalı B fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.....	59
Şekil 4.14	İki-faz toprak arızasında sağlam C fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.....	59
Şekil 4.15	Üç-faz toprak arızasında arızalı A fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.....	60
Şekil 4.16	Üç-faz toprak arızasında arızalı B fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.	60
Şekil 4.17	Üç-faz toprak arızasında arızalı C fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.....	61
Şekil 4.18	Bir IFTA sinyali için ADD detay katsayılarının entropi değerleri.....	63
Şekil 5.1	Kısa devre arıza tipi belirleme aşamaları.....	64
Şekil 5.2	Biyolojik nöron yapısı.....	65
Şekil 5.3	Yapay sinir hücresinin yapısı.....	66

Şekil 5.4	Aktivasyon fonksiyonları.....	66
Şekil 5.5	Güç sistemlerinde kullanılan yapay zeka yöntemleri.....	68
Şekil 5.6	YSA'nın uygulandığı güç sistemi alanları.....	68
Şekil 5.7	Eğitici ve eğitici olmayan ağ yapıları.....	69
Şekil 5.8	Çok katmanlı algılayıcı ağ yapısı.....	70
Şekil 5.9	En uygun ayrıştırıcı düzlem.....	73
Şekil 5.10	Giriş uzayının özellik uzayına taşınması.....	75
Şekil 5.11	Farklı 5 sınıfın BKB ayrışımı kullanan çoklu-sınıf DVM ile sınıflandırılması.....	77
Şekil 5.12	En uygun C ve σ parametresinin çapraz geçerlilik testi ile bulunması...	81
Şekil 5.13	ÇDVM sınıflandırıcısından beklenen ve tahmin edilen çıkışlar.....	82
Şekil 5.14	Beklenen ve tahmin edilen sınıflandırıcı çıkışlarının karşılaştırılması.....	83
Şekil 6.1	Gauss radyal tabanlı transfer fonksiyonu.....	88
Şekil 6.2	Radyal tabanlı nöron yapısı.....	88
Şekil 6.3	Radyal tabanlı fonksiyon ağ yapısı.	90
Şekil 6.4	Arıza yeri belirleme aşamaları.....	92
Şekil 6.5	En uygun σ_{ki} değerinin belirlenmesi.....	92
Şekil 6.6	Tek-faz toprak arızası durumu için R^2 testi sonuçları.....	98
Şekil 6.7	İki-faz arızası durumu için R^2 testi sonuçları.....	98
Şekil 6.8	İki-faz toprak arızası durumu için R^2 testi sonuçları.....	99
Şekil 6.9	Üç fazlı simetrik arıza durumu için R^2 testi sonuçları.....	99
Şekil 6.10	Farklı arıza dirençleri ile eğitilen RTF ağının test başarımları sonuçları....	100
Şekil 6.11	Farklı yük durumları için eğitilen RTF ağının test başarımları sonuçları....	100

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1	Prototip güç sistemi eşdeğerleri.....	18
Tablo 3.2	İletim hattı modeline ait hat parametreleri.....	23
Tablo 4.1	Sinyal işlemede yaygın kullanılan diğer entropi türleri ve denklemleri...	62
Tablo 5.1	Sinir sistemi ile YSA'nın benzerlikleri.....	65
Tablo 5.2	Yaygın olarak kullanılan çekirdek fonksiyonları.....	75
Tablo 5.3	ÇDVM sınıflandırıcısı ile eğitilen ve test edilen arıza sayıları.....	81
Tablo 5.4	Beş katlı çapraz-geçerlilik testi sonuçları.....	83
Tablo 5.5	Arıza direnci değişiminin arıza sınıflandırmasına etkisi.....	84
Tablo 5.6	Yük değişiminin arıza sınıflandırmasına etkisi.....	84
Tablo 5.7	ÇDVM sınıflandırıcısının diğer sınıflandırıcılar ile karşılaştırılması.....	86
Tablo 6.1	1FTA durumunda gerçek ve tahmin edilen arıza yerleri.....	94
Tablo 6.2	2FA durumunda gerçek ve tahmin edilen arıza yerleri.....	95
Tablo 6.3	2FTA durumunda gerçek ve tahmin edilen arıza yerleri.....	96
Tablo 6.4	3FSA durumunda gerçek ve tahmin edilen arıza yerleri.....	97
Tablo 6.5	Arıza yerini belirleme yöntemleri ve hata oranları.....	101

EKLER LİSTESİ

EK-1: Prototip güç sisteminde kullanılan elemanların teknik özellikleri

EK-2: Veri iletişim kartı için düzenlenen C++ programı

EK-3: a) Kullanılan YSA Parametreleri

b) Kullanılan Eğitim Verileri:

c) Kullanılan Test Verileri

SİMGELER

I	: Akım (A)
U	: Gerilim (V)
Z	: Empedans (Ohm)
φ_K	: Kısa devre akımı faz açısı (rad.)
I_K	: Kısa devre akımı (A)
I_S	: Darbe Kısa devre akımı (A)
X_i	: i. giriş
θ_i	: Eşik değeri
w	: Ağırlık katsayısı
α	: Momentum katsayısı
δ_j	: Ara veya çıkış katındaki j. nörona ait faktör
$y_j^{(t)}$	: j işlemci elemanın hedef çıkışı
$E(k)$	: k anındaki hata değeri
$W(k)$	: Bağlantı ağırlığı
$\delta(k)$	: Ağırlık değişiminin eğim bileşeni
$\mu(k)$	: k zamanındaki bağlantı momentum hızı
κ_α	: Sabit öğrenme hızı skala faktörü
φ_α	: Sabit öğrenme hızı azaltma faktörü
γ_α	: Sabit öğrenme hızı üstel faktörü
κ_μ	: Sabit momentum hızı skala faktörü
φ_μ	: Sabit momentum hızı azaltma faktörü
γ_μ	: Sabit momentum hızı üstel faktörü
$\alpha_{\max}$	: Öğrenme katsayısının üst sınırı
$\mu_{\max}$	: Momentum katsayısının üst sınırı
λ	: Düzeltme tolerans parametresi

KISALTMALAR LİSTESİ

YSA	: Yapay Sinir Ağları
ART	: Adaptif Rezonans Teorisi
ATP	: Alternative Transient Program
DVM	: Destek Vektör Makineleri
AA	: Alternatif Akım
DD	: Dalgacık Dönüşümü
FD	: Fourier Dönüşümü
HFD	: Hızlı Fourier Dönüşümü
AFD	: Ayrık Fourier Dönüşümü
KZFD	: Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü
SDD	: Sürekli Dalgacık Dönüşümü
AD	: Ana Dalgacık
ADD	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü
ÇDVM	: Çok Sınıflı Destek Vektör Makineleri
GYA	: Geri Yayılım Algoritması
k-EYK	: k-En Yakın Komşuluklar
OSA	: Olasılıksal Sinir Ağları
BS	: Bayes Sınıflandırıcıları
US	: Uzman Sistemler
BM	: Bulanık Mantık
TKA	: Tek Katmanlı Algılayıcı
ÇKA	: Çok katmanlı Algılayıcı
RTF	: Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları
BKD	: Bire-Karşı-Diğerleri Ayrışımı
BKB	: Bire-Karşı-Bir Ayrışımı
TFT	: Tek-Faz Toprak Arızası
2F	: İki-Faz Arızası
2FT	: İki-Faz Toprak Arızası
3F	: Üç Fazlı Simetrik Arıza

ÖZET

Doktora Tezi

ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE AKILLI SİSTEMLER YARDIMIYLA ARIZA TİPİ VE YERİNİN BELİRLENMESİ

Sami EKİCİ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

2007, Sayfa: 114

Bu çalışmada, iletim hatlarında meydana gelen arızaların tipini ve yerini tahmin eden ayrık dalgacık dönüşümü, destek vektör makineler ve radyal tabanlı fonksiyon ağlarını kullanan bir yöntem sunulmuştur. Arıza tipi ve yerinin tahmini için, sadece hat başından ölçülen akım ve gerilim değerleri kullanılmıştır. Prototip güç sisteminden ve ATP (Alternative Transient Program) benzetimlerinden elde edilen akım ve gerilim sinyalleri, ayrık dalgacık dönüşümü yöntemi ile analiz edilmiştir. Böylece, arıza geçici durumlarına ait ayırt edici özellikler elde edilmiştir. Özellik vektörünün boyutunu azaltmak için dalgacık detay katsayılarına entropi ölçütü uygulanmıştır. Tek-faz toprak, iki-faz, iki-faz toprak ve üç fazlı simetrik arızalarını birbirinden ayırmak için istatistiksel öğrenme teorisine dayanan destek vektör makineler yöntemi kullanılmıştır. İletim hattında meydana gelen arızaların yerini bulmak için ise, ağ mimarisi basit ve eğitim süresi diğer sinir ağ yapılarına göre daha kısa olan radyal tabanlı fonksiyon ağları kullanılmıştır. Farklı arıza dirençlerini, arıza öncesi yükleri ve hattın beslenme durumlarını içeren birçok değişik arıza durumu incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, önerilen yöntemin arıza tipinin ve yerinin belirlenmesinde oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İletim hattı arızaları, ayrık dalgacık dönüşümü, destek vektör makineler, radyal tabanlı fonksiyon ağları.

ABSTRACT

PhD Thesis

DETERMINATION OF FAULT TYPES AND LOCATIONS IN POWER SYSTEMS BY USING INTELLIGENT SYSTEMS

Sami EKİCİ

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical - Electronics Engineering

2007, Page: 114

In this study, an approach based on discrete wavelet transform, support vector machines and radial basis neural networks is presented for estimating fault types and location on transmission lines. The current and voltage values measured from only the sending end of transmission line are used for prediction of fault types and locations. The data obtained from prototype power system and from ATP simulations are analyzed by using discrete wavelet transform. Thus, the distinctive features of fault transients are obtained. The wavelet entropy criterion is employed to wavelet detail coefficients for reducing the size of feature vector. Support vector machines which are based on statistical learning theory are used to classify different fault types such as single-phase to ground, two-phase, two-phase to ground and three-phase symmetrical faults. Radial basis neural networks which have a simple network architecture and shorter training time than the other neural network types are used for locating faults on transmission line. The various test cases including different fault resistances, pre-fault loads and line in feed are investigated. The obtained results show that the proposed approach is very effective in prediction of fault types and locations.

Keywords: Transmission line faults, discrete wavelet transform, support vector machines, radial basis neural networks.

1. GİRİŞ

Elektrik güç sistemleri, elektrik enerjisinin üretilip tüketicilere ulaşmasını sağlayan ve bünyesinde birçok kaynak, transformatör, iletim hattı, ayırıcı ve kesici gibi elemanları bulunduran büyük dinamik sistemlerdir. Tüketicilere güvenilir, kesintisiz ve ekonomik bir enerji sağlamak için birçok çalışma yapılmıştır. Gelişen teknoloji, nüfus artışı ve özellikle son yıllarda enerji üretim ve dağıtım merkezlerinin özelleştirilmesi, bu alanda yapılan çalışmalara hız kazandırmıştır.

Elektrik güç sistemlerinde iyi bir tasarım, uygun işletme şartları ve cihazların bakımlarının düzenli olarak yapılması, oluşabilecek arıza olasılığını azaltmakla birlikte tamamen ortadan kaldırmaz. Bu durumda güç sistemi elemanlarını, oluşabilecek arızalara karşı mümkün olduğu kadar iyi korumak gerekir. Elektrik güç sistemlerinde oluşabilecek arızalar değişik gruplarda incelenebilir. Arıza noktasında oluşacak yüksek ısı, ark, ateş ve patlamalara sebep olabilir. Yüksek akımlar nedeniyle yıkıcı mekanik etkiler oluşabilir veya yüksek gerilimler yalıtım malzemelerinin özelliğini bozabilir [1]. Arıza anında oluşan yüksek değerdeki akımlar, güç sistemi teçhizatının ömrünü olumsuz yönde etkileyecektir.

Generatörlerdeki ve transformatörlerdeki arızalar, yalıtımları bozulan sargı bobinlerinin birbirleriyle ya da metalik gövdeyle temas etmeleri sonucu oluşur. Havai hatlar ise çıplak iletkenlerden oluştukları için arızalara en fazla maruz kalan kısımlardır. Rüzgâr, kar ve buz yükü, ağaç dalları, uçurtmalar ve kuşlar havai hatlarda oluşan arızaların belli başlı sebeplerindendir. Ayrıca, izolatör yüzeylerinde oluşan kirlenmeler ve yıldırım düşmesi gibi doğal etkenler de arızalara sebep olabilir. Yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı arıza meydana gelen üç fazlı bir sistemde, her üç faz iletkeninin birbiriyle temas etmesi ile üç fazlı simetrik arıza (3FSA) oluşur. Sadece herhangi iki faz iletkeninin birbiriyle temas etmesi ile iki-faz arızası (2FA), herhangi bir faz iletkeninin toprak ile temas etmesi ile tek faz-toprak arızası (1FTA), herhangi iki faz iletkeninin birbiriyle ve toprakla temas etmesi ile iki-faz toprak arızası (2FTA) meydana gelir [2].

Güç sistemlerinde oluşan arızaları önlemek için koruma röleleri kullanılır. Sistemde bir arıza meydana gelmesi durumunda, arızaya en yakın röle arızayı algılayarak bağlı olduğu kesiciyi devreye sokar ve arızalı bölümün enerjisi kesilir [3]. Arızalı kısım sistemden çıkartıldıktan ve hangi fazların arızalı olduğu belirlendikten sonra, bakım ve onarım ekiplerinin arızayı gidermeleri için, arızanın meydana geldiği noktanın tespit edilmesi gerekir. Enerji iletim hatlarının yüzlerce kilometre uzunluklarda olması, iklim şartları ve coğrafik etkenler arıza yerinin bulunmasını ve onarımını geciktirir. Arıza yerinin tam olarak bilinmemesi, enerjisi kesilecek alanı da arttırır. Arızalı bölümün hızlı bir biçimde belirlenmesi ve arızanın

giderilmesi, tüketicilere kesintisiz ve kaliteli enerji verilmesini sağlar. Arızanın hızlı bir biçimde tespit edilip yerinin belirlenmesi, zaman kazancı ve onarım kolaylığı sağlamakla birlikte, ekonomik açıdan da büyük faydalar sağlar. Hızlı ve doğru bir arıza tahmini, yüksek akımların ve ısınmanın sebep olacağı mekanik etkileri gidererek cihazların ömrünün uzamasını sağlar. Ayrıca, enerjisiz kalan sanayi kuruluşlarının uğradığı zararlar da azaltılmış olunur.

Sayısal teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak, bilim adamları mikroişlemci tabanlı röleler üzerinde çalışmaya başlamışlardır. Analog verilerin dijital ortama aktarılması ile birlikte arıza sinyalleri detaylı olarak analiz edilebilmiş ve yeni yöntemler geliştirilmeye başlanmıştır. Önerilen ilk dijital röle modelleri çoğunlukla hat empedansının hesaplanması ve yürüyen dalga yöntemlerine dayalıdır [4, 5]. Arıza yerini hat empedansını hesaplayarak bulan yöntemler, röle bağlantı noktası ile arıza noktası arasındaki reaktansın, arızanın yeri ile doğrusal bir ilişki içinde olduğunu öngörmektedirler. Arıza durumundaki reaktansı, hat başından ölçülen gerilim ve akım değerlerini kullanan diferansiyel denklemleri çözerek hesaplarlar [6-9]. Igel ve diğ. [10], arızalı hattın empedansını Fourier dönüşümü ile elde eden bir yöntem kullanmışlardır. Bu yöntem oldukça basit ve kullanışlı olmasına rağmen, özellikle sistemde birden fazla generatör olması, sistem yapılandırmasının değişmesi gibi durumlarda yetersiz kalmaktadır [11].

Arıza yerini belirlemek için kullanılan diğer bir yöntem yürüyen dalga tekniğidir [12–15]. Bu yöntemde, arıza anında meydana gelen yüksek frekanslı geçici durum sinyallerinin, hattın her iki ucuna doğru belli bir hızla hareket ettikleri öngörülür. Bu yüksek frekanslı sinyallerin ve yansımalarının, ölçüm noktalarına varış süreleri arasındaki zaman farkı ile sinyalin ilerleme hızının çarpımı arıza noktasının yerini verir. Yürüyen dalganın sönümlü olması ve giderek bozulması, dalganın varış süresinin ve hızının tam olarak belirlenememesine yol açar. Coğrafik etkenler ve hat yapılandırmasının değişmesi bu yöntemin doğru sonuç vermemesine sebep olur [16]. Yöntemin olumsuz yanlarından biri de, kullanılan cihazların maliyetlerinin fazla olmasıdır.

Kalman filtreleri, arıza yeri tespitinde kullanılan diğer yöntemlerden birisidir. Bu yöntem ile arıza geçici durum sinyallerine ait temel frekans bileşenleri ve harmonikleri incelenerek, arıza noktasına kadar olan hat empedansı ve dolayısıyla arıza yerleri tespit edilmektedir [17–19]. Chaari ve diğ. [20], Prony yöntemini kullanarak yıldız noktası Peterson bobini ile topraklanmış 20 kV'luk bir güç sisteminde meydana gelen arızaların tipini ve yerini bulmuştur.

Fourier dönüşümü, arıza sinyallerini analiz etmek için kullanılan ilk yöntemlerdendir [21]. Bu yöntem ile arızalı sinyaller frekans bölgesinde analiz edilerek, arıza tipi ve yerinin tespiti yapılmıştır [22, 23]. Her ne kadar kısa zamanlı Fourier dönüşümü ile zaman-frekans bölgesinde analiz yapılabilse de, sabit bir bant genişliği kullanıldığı için detaylı bir analiz

yapılamaz [16]. Bunun nedeni, frekansın yüksek olması durumunda çok sayıda periyodun bir alana sıkışması, düşük frekanslarda ise sinyalin sadece çok küçük bir kısmının incelenebilmesidir.

Son yıllarda, arıza tipi ve yerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda yaygın olarak dalgacık dönüşümü (DD) yöntemi kullanılmaktadır [24]. Bu yöntem Fourier dönüşümünden farklı olarak, sinyali zaman-frekans bölgesinde inceler. DD'nin en önemli avantajı, bant aralığının daha iyi ayarlanabilmesidir. Yöntem, sinyalin yüksek frekanslı bileşenlerini küçük bir bant aralığı ile düşük frekanslı bileşenlerini ise daha geniş bir bant aralığı ile analiz ederek, sinyale ait ayırt edici özelliklerin elde edilmesine imkan sağlar. DD, kısa devre arızaları gibi periyodik olmayan sinyaller için çok kullanışlı bir yöntemdir. Chaari ve diğ. [25], DD yöntemiyle, düşük frekansa sahip oldukları için belirlenmesi zor olan 1FTA durumunu incelemiştir. Youssef [26], çift generatörlü bir güç sisteminde 1FTA olması durumunda, arızalı fazları bulan bir yöntem geliştirmiştir. Kim ve diğ. [27], ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) yöntemi ile iletim hatlarında meydana gelen arızaların tipini belirleyen bir yöntem önermiştir.

Arıza tipi ve yerinin belirlenmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir [4, 10, 11, 27]. Ancak bu konu üzerinde yapılan çalışmalar, yeni yöntemlerin geliştirilmesiyle birlikte devam etmektedir. Son yıllarda arıza tahmini için, insan beyninin çalışmasından esinlenerek geliştirilen yapay zekâ tekniklerini kullanan akıllı sistemler üzerinde çalışılmaktadır [28, 29]. Yapay zeka tekniklerinin en belirgin özellikleri, hızlı öğrenebilme, hata toleransı ve bir sisteme ait kısmi verilerle doğru bir çıkış üretebilmeleridir. Bu özellikleri ile yapay zeka teknikleri, güç sistemleri gibi büyük ve dinamik sistemlerin modellenmesi ve kontrolü için çok uygun yöntemlerdir. Bu yöntemler, arıza olayı gibi birçok değişkene sahip, bu değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkileri tam belirli olmayan veya hesaplanması zor olan problemlere rahatlıkla uygulanabilirler [30]. Güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre arızalarının incelenmesinde uzman sistemler, genetik algoritmalar, bulanık mantık, karar ağaçları, en yakın-komşuluklar algoritması ve Yapay Sinir Ağları (YSA) gibi yapay zeka teknikleri kullanılmıştır. Bu yöntemler, arıza analizinde ayrı ayrı ya da birleşik olarak kullanılmışlardır. Chakravarthy ve diğ. [31], karesel diskriminant analiz ve en yakın komşuluklar algoritmasını kullanarak, arıza anındaki karakteristik empedansa bağlı olarak arıza tespiti yapan bir örüntü tanıma yöntemi sunmuşlardır. Tan ve diğ. [32], uzman sistemler yöntemini kullanarak bir güç sisteminde arıza olması durumunda, arıza yerini belirleyen ve gereksiz açmalara engel olan geniş kapsamlı bir yedek koruma modeli geliştirmişlerdir. Bu yöntem, gerekli verilerin alınarak önceden belirlenmiş bir dizi kural ağından geçirilmesi ve yapılacak işleme karar verilmesi temeline dayanır. So ve diğ. [33], genetik algoritmaları kullanarak, arıza anında güç sistemini koruyacak aşırı akım rölelerinin

uygun olarak seçilmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Kumar ve diğ. [34], bulanık mantık yöntemi ile iletim hatlarında meydana gelen arızaların tipini ve yerini tespit etmişlerdir.

Özellikle son 10 yıldan beri, güç sistemi arızalarının analizinde en çok kullanılan yöntemlerden biri YSA'dır [4]. YSA ile yapılan çalışmalarda değişik ağ yapıları ve öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Dalstein ve Kulicke [35], YSA ile 380 kV'luk paralel bir iletim hattında meydana gelen kısa devre arızalarını sınıflandıran bir yöntem kullanmıştır. Yapılan çalışmada ileri beslemeli, çok katmanlı ağ yapısı ve geriye yayılım algoritması kullanılmıştır. Novosel ve diğ. [36], seri kompanzasyonlu bir iletim hattında meydana gelen arızaların yerini belirlemek için çok katmanlı, ileri beslemeli bir YSA kullanmıştır. Dalstein ve diğ. [37], çok katmanlı, ileri beslemeli bir ağ yapısı kullanarak arıza yeri ve tipini belirleyen bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde, arızaları sınıflandırmak için bir YSA yerine, 10 ayrı ağ kullanılmış, böylece hata oranı düşürülmüştür. Sanaye ve Malik [38], Elman ağ yapısını kullanarak iletim hatlarında meydana gelen arızaların yönünü bulan bir yöntem sunmuşlardır. Lin ve diğ. [39], radyal tabanlı bir sinir ağ modeli kullanarak arıza tipini belirlemişlerdir. Aynı zamanda bu uygulamayı geriye yayılım algoritması ile de yapmış ve radyal tabanlı ağ yapısının arıza tipini daha hızlı belirlediğini göstermişlerdir. Salat ve Osowski [40], arıza yerini çok katmanlı ağ yapısıyla, arıza tipini ise Kohanen ağ yapısı ile bulan bir yöntem önermişlerdir.

Akıllı sistem tabanlı uygulamalar üzerinde yapılan çalışmalar arttıkça, birden fazla yapay zeka tekniğini bir arada kullanan birleşik yöntemler ortaya çıkmıştır. Wang ve Keerthipala [41], bulanık mantık ve YSA kullanarak arıza tipini belirleyen bir yöntem sunmuşlardır. Dash ve diğ. [42], bulanık mantık ve geriye yayılım algoritmasını kullanan bir YSA ile hem arıza yerini hem de arızanın tipini belirleyen bir yöntem geliştirmişlerdir. Vasilic ve Kezunovic [43], bulanık mantık ve ART sinir ağı ile arıza tipi sınıflandırması yapmışlardır. Song ve diğ. [44], yüksek gerilim hatlarında meydana gelen arızaları, genetik algoritma ve YSA kullanarak sınıflandıran bir yöntem önermişlerdir. Martin ve Aguado [45], ADD ve YSA kullanarak arıza tipi ve yerini belirlemişlerdir. Cheong ve Aggarwal [46], DD ve YSA kullanarak tristör kontrollü, seri kompanzasyonlu bir iletim hattında meydana gelen arızaların yerini bulan bir yöntem geliştirmişlerdir.

Arıza yeri ve tipinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda kullanılan bazı yöntemlerde [15, 47], hattın her iki ucundan alınan veriler kullanılırken senkronizasyon ve veri alışverişinin zor olması nedeniyle, sadece hattın tek tarafından alınan verileri kullanan yöntemler üzerinde yoğunlaşmıştır [27, 39, 48].

Bu tez çalışmasının amacı, güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre ve toprak arızalarının hızlı ve doğru bir biçimde sınıflandırılması ve arıza noktalarının tespit edilmesidir. Çalışmada kullanılacak veriler, laboratuvar ortamında oluşturulan 380 kV'luk prototip bir güç

sisteminden ve ATP (Alternative Transient Program) bilgisayar programında yapılan arıza benzetimlerinden elde edilmiştir. Prototip güç sisteminde, bütün arıza durumları bir kontaktör ile meydana getirilmiş ve arıza durumlarına ait sinyaller, bir veri iletişim kartı ile bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Prototip sistemden alınan arıza sinyalleri, ATP (Alternative Transient Program) programından elde edilen benzetim sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Enerji iletim hattının farklı noktalarında, farklı zamanlarda ve farklı oluş açılarında arıza sinyalleri elde edildikten sonra normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Hat başından alınan akım ve gerilim sinyallerine ait ayırt edici özelliklerin çıkarılması için ADD kullanılmıştır. Arıza tipinin belirlenmesi için ise, Destek Vektör Makineler (DVM) yöntemi kullanılmıştır. Arıza tipi belirlendikten sonra, arıza yerini belirlemek için Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları (RTF) kullanılmıştır. Önerilen yöntemin başarısının test edilebilmesi için, değişik sınıflandırıcılar ve tahmin yöntemleri kullanılarak sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışmasının giriş bölümünde, güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre arıza tiplerinin ve yerinin belirlenmesinin önemi, literatürde bu konu üzerinde yapılan çalışmalar ve kullanılan yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre arızaları ve bu arızaların özellikleri anlatılacaktır. Üçüncü bölümde, önce arıza verilerinin elde edildiği prototip güç sistemi tanıtılacak, daha sonra bu sistemden ve ATP programı ile yapılan benzetimden elde edilen akım ve gerilim sonuçları gösterilecektir. Dördüncü bölümde, DD kullanılarak elde edilen arıza sinyallerine ait geçici durum özellikleri anlatılacaktır. Beşinci bölümde, DVM kullanılarak arıza tiplerinin sınıflandırılması incelenecektir. Altıncı bölümde, RTF kullanılarak arıza yerlerinin belirlenmesi anlatılacaktır. Yedinci bölümde ise, elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir.

2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KISA DEVRE ARIZALARI

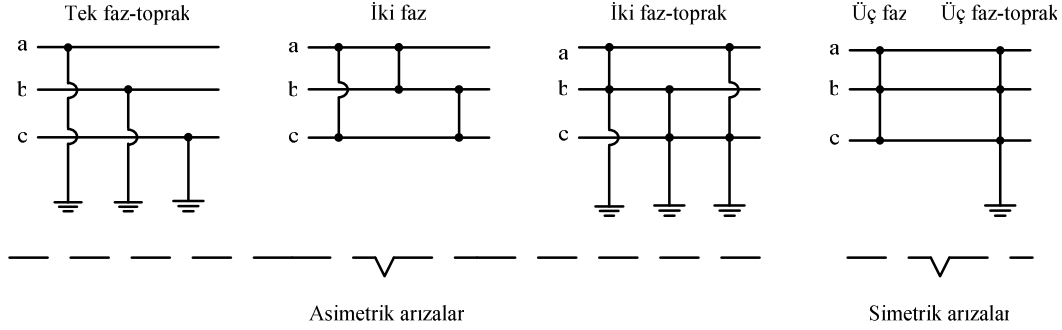
Elektrik güç sistemlerinde meydana gelen arızalar, çeşitli fiziksel ve mekanik etkilerle oluşan, istenmeyen kısa ve açık devrelerdir. Güç sistemlerinde en sık meydana gelen arıza tipi kısa devre arızalarıdır ve bu nedenle güç sistemlerinde kullanılan arıza terimi, genel olarak bu tip arızalar için kullanılır. ANSI/IEEE standartlarına göre arıza [49]; bir cihazın, elemanın ya da bileşenin kendisinden beklenen davranışı gösterememesine neden olan fiziksel bir durumdur. Kısa devre ise, farklı potansiyele sahip iki nokta arasında meydana gelen düşük empedanslı anormal bir bağlantıdır. Bir başka deyişle, kısa devre arızası; enerjili fazların birbirleriyle ya da toprak ile temas etmeleri durumudur.

Arıza anında, arıza bölgesine yakın olan tüketicilerin enerjisi kesilirken, daha uzaktaki bölgelerde gerilim çökmeleri oluşur. Bu durum güç sistemin güvenilirliğini ve güç kalitesini olumsuz etkiler. Güç sistemi arızaları, cihazlarda büyük hasarlara yol açarken, insan sağlığı açısından da yaralanmalara ve hatta ölümlere neden olabilir. Bu nedenle güç sistemlerinin; arızaların vereceği hasarlara dayanabilecek biçimde tasarlanması, bakım ve onarım ekiplerinin yeterli deneyime sahip olmaları ve arızalara karşı korumasının iyi yapılmış olması gereklidir. Güç sistemlerinde meydana gelen kısa devreler, metalik bir kontak olabileceği gibi, bir ark üzerinden de olabilir. Metalik kısa devrelerde arızalı fazların akımları sıfıra düşerken, bir ark üzerinden meydana gelen kısa devrelerde küçük bir gerilim düşümü olabilir [1]. Kısa devre akımları ve bunların devam süreleri ne kadar fazla olursa, güç sistemi elemanlarının kısa devre akımları tarafından dinamik ve termik olarak zorlanmaları da o kadar fazla olur. Bu nedenle, sistemin kısa devre olan kısmının mümkün olan en kısa sürede sağlam kısımlarından ayırarak devre dışı bırakılması gerekmektedir.

2.1. Arıza Tipleri ve Sebepleri

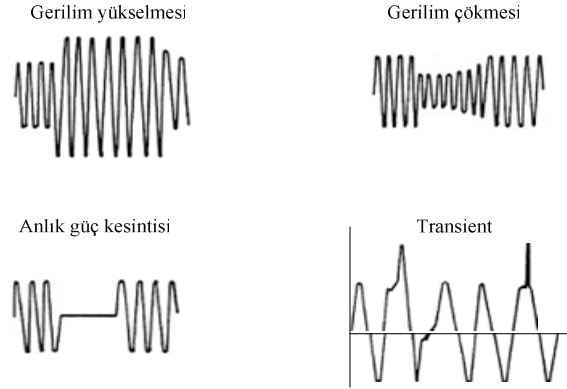
Elektrik güç sistemlerinde kısa devre arızaları iç ve dış etkenlerle meydana gelebilir [2]. Kısa devreye neden olan başlıca iç etkenler; aşırı yük akımları ile yalıtkan malzemenin ısınması ve yalıtkanlığının bozulması, aşırı gerilimler ile yalıtkan malzemede meydana gelen delinme-atlama olayları ve yalıtkan malzemenin eskimesidir. Kablo ve yalıtılmış iletken yalıtkanlarının zedelenmesi, havai hatlara ve açıktaki elektrik tesislerine yıldırım düşmesi, izolatörlerin kırılması, kar, buz, nem ve sisin özellikle kirlenmiş izolatörlerde meydana getirdiği atlamalar, rüzgar ve havai hatlara konan kuşlar kısa devre arızalarına sebep olan başlıca dış etkenlerdir. Güç sistemi arızalarına sebep olan etkenlerin büyük çoğunluğunu yıldırım düşmesi, ağaçlar ve güç sistemi elemanlarındaki donanımsal arızalar meydana getirmektedir [50].

Üç fazlı sistemlerde meydana gelen kısa devre arızaları, simetrik ve asimetrik arızalar olmak üzere iki grupta incelenebilir. Her üç fazın birbiriyle ya da toprak ile temas etmesiyle oluşan arızalarda, fazlar arasında 120° 'lik faz farkı korunduğu için bu tip arızalar simetrik arızalar grubuna dahil edilir. Tek fazın toprak ile temas etmesiyle oluşan 1FTA ve iki fazın birbirleriyle ya da toprak ile temas etmesi sonucu oluşan 2FA ve 2FTA asimetrik arızalar grubuna girer. Güç sistemlerinde oluşan kısa devre arızaları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Güç sistemlerinde oluşan kısa devre arızaları.

Güç sistemlerinde meydana gelen arızaların yaklaşık %80'ini tek faz-toprak arızaları oluşturur. En az görülen arıza tipi ise üç fazlı simetrik arızalardır [50, 51]. Özellikle yüksek empedanslı 1FTA'da, akımlarda ve gerilimlerde görülen bozulmalar küçük olduğu için, bu tip arızaların belirlenmesi diğer arıza durumlarına göre daha zordur. Yıldız noktasının, arıza akımlarını sınırlamak amacıyla bir reaktans ya da Peterson bobini ile topraklandığı durumlarda arıza yerinin belirlenmesi oldukça zordur [4]. Üç fazlı kısa devrelerde ise güç sistemine büyük hasarlar verebilecek yüksek akımlar oluşur. Bazı durumlarda, üç fazlı kısa devre akımları diğer kısa devre akımlarına göre daha küçük olabilir. Bu nedenle, koruma rölelerinin sistemde oluşabilecek en yüksek akım seviyelerine dayanabilecek şekilde tasarlanması gerekir [52]. Güç sistemlerinde uzun süreli kısa devre arızalarının yanında, güç sistemi teçhizatına zarar verebilecek veya koruma cihazlarının yanlış manevra yapmasına neden olabilecek kısa süreli gerilim bozulmaları da meydana gelir. Şekil 2.2'de güç sistemlerinde oluşan bazı önemli kısa süreli gerilim bozulmaları görülmektedir.



Şekil 2.2 Güç sistemlerinde oluşan kısa süreli gerilim bozulmaları.

Kısa süreli alternatif akım (AA) gerilim bozulmaları dört ana grupta incelenebilir. Bu bozulmalar, gerilim sinyallerinin tepe değerlerine ve sürelerine bağlı olarak sınıflandırılır [53].

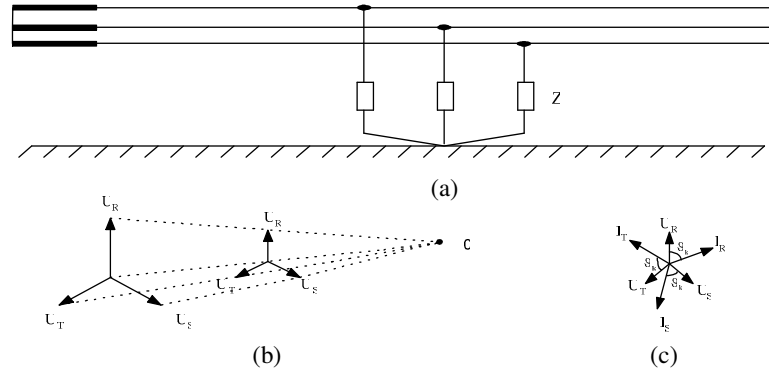
- ✓ **Gerilim yükselmesi (Voltage swell):** Gerilimin bir tam dalgadan daha uzun bir süre %110'dan daha büyük bir değere çıkmasıdır. Bunun nedeni, yük azalması ve şebekedeki ayar zayıflığı olabilir.
- ✓ **Gerilim çökmesi (Voltage sag):** Gerilimin veya akımın yarım periyottan bir dakikaya kadar %10–90 oranında düşmesidir. Bunun nedeni şebeke yetersizliği, aşırı yüklenme, büyük motorların yol alması ve faz deşmeleri olabilir.
- ✓ **Geçici durum bozulmaları (Transients):** Maksimum 50 ms süren yüksek enerjili gerilim darbeleridir. Bu yüksek gerilim darbelerinin genlikleri, nominal gerilimin 1 katı ile 100 katı civarında olabilir.
- ✓ **Anlık güç kesintisi (Interruption):** En az bir yarım dalga boyu ile 30 dalga boyu süresince gerilimin sıfır değerini almasıdır. Bunun nedeni, şebeke arızalarıdır. Daha uzun süreli olanlar ise elektrik kesintisi olarak adlandırılır.

Kısa süreli gerilim bozulmaları, güç kalitesini olumsuz etkilediği gibi gereksiz açmalara da sebep olabilir. Bu nedenle, kısa süreli arızaların kalıcı arızalardan ayırt edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

2.1.1. Üç Fazlı Simetrik Arızalar

3FSA, şebekenin herhangi bir yerinde her üç fazın birbiri ile temas etmesi sonucu oluşur. Bu tip arızalarda, sistemin yıldız noktasının topraklı olup olmaması ya da bir direnç veya reaktans üzerinden topraklanması önemli değildir [54].

3FSA, pratikte az rastlanan bir arıza tipi olup genelde asimetrik bir arızanın büyümesi sonucu oluşur. Bu arıza tipinde, diğer arızalara göre daha yüksek kısa devre akımları oluşur ve en fazla hasar veren arıza tipidir. Şekil 2.3 (a)'da, bir 3FTA'nın oluşması görülmektedir. Şekil 2.3 (b)'de, gerilim fazörlerinin arıza noktasına doğru simetrik olarak değiştikleri görülmektedir. Arıza noktasında, her üç fazın gerilimi de sıfır olmaktadır. Şekil 2.3 (c)'de ise, akım ve gerilim fazörleri görülmektedir. Her üç fazdaki kısa devre akımları da eşit büyüklükte ve simetriktir. Bu akımlar her faz için faz gerilimine göre, eşit bir ϕ_k açısı kadar geri fazdadır [55].



Şekil 2.3 Üç fazlı simetrik arıza
(a) 3FTA kısa devresi, (b) Gerilim fazörlerinin değişimi, (c) Akım ve gerilim fazörleri.

2.1.2. Asimetrik Arızalar

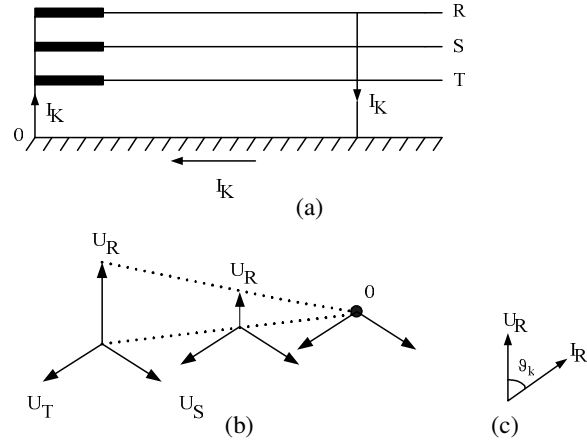
Asimetrik arızalar, güç sistemlerinde en çok meydana gelen kısa devre arızalarıdır. Bunlar 1FTA, 2FA ve 2FTA olarak sınıflandırılırlar. Bu arıza tipleri aşağıda anlatılacaktır.

2.1.2.1. Tek-Faz Toprak Arızası

Şekil 2.4 (a) ve (b)'de, sırasıyla R fazında geçiş dirençsiz bir faz-toprak kısa devresi meydana gelmesi durumu ve bu durumda gerilim fazörlerinin besleme noktasından kısa devre noktasına doğru değişimleri görülmektedir. Şekil 2.4 (c)'de ise, arızalı faz iletkenine ait akım ve gerilim fazörleri görülmektedir. Besleme noktasından arıza noktasına doğru U_R gerilimi azalmaktadır. Yıldız noktası doğrudan topraklanmış olduğundan, gerilimi toprak potansiyelindedir. Sağlam olan S ve T fazlarının toprağa göre gerilimleri ise değişmemektedir [55]. Burada kısa devre akımını geçiren, R fazının empedansı üzerine düşen U_R gerilimidir. Kısa devreden geçen I_R akımı, U_R gerilimine göre geri fazdadır.

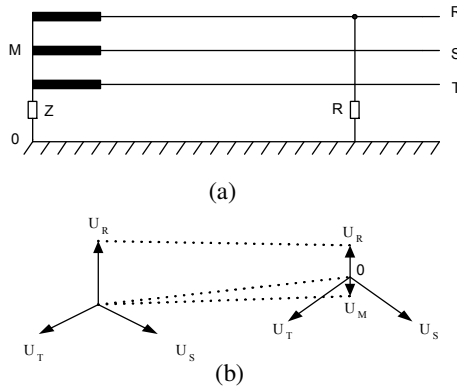
Gerçek sistemlerde yıldız noktası doğrudan topraklanmış olsa bile, toprak elektrodunun toprağa geçiş direnci vardır. Arıza noktasında da aynı durum söz konusudur. Bu dirençler,

toprağın tipine ve durumuna bağlı olarak büyük değerlerde olabilir. Bu durumda, arıza noktasına doğru U_R gerilimi lineer olarak küçülür, fakat hiçbir zaman sıfır olmaz. Bu gerilim, toprağın geçiş direncine göre belirli bir değerde kalır.



Şekil 2.4 Yıldız noktası doğrudan topraklanmış bir şebekede geçiş dirençsiz 1FTA'nın oluşması:
(a) 1FTA kısa devresi, (b) Gerilim fazörlerinin değişimi, (c) Akım ve gerilim fazörleri.

Şekil 2.5 (a) ve (b)'de, sırasıyla yıldız noktası bir Z empedansı üzerinden topraklanmış şebekede, geçiş dirençli bir tek faz-toprak kısa devresi durumu ve bu durumda arızalı fazlara ilişkin fazörlerinin değişimi görülmektedir. Burada, yıldız noktası ile toprak arasına bağlanan bir empedans üzerine düşen gerilimden dolayı, yıldız noktası toprağa göre bir U_M gerilimine sahiptir. U_R gerilimi şebekeden arıza noktasına doğru gidildikçe küçülmüş, fakat geçiş direncinden dolayı tam olarak sıfır değerine düşmemiştir.

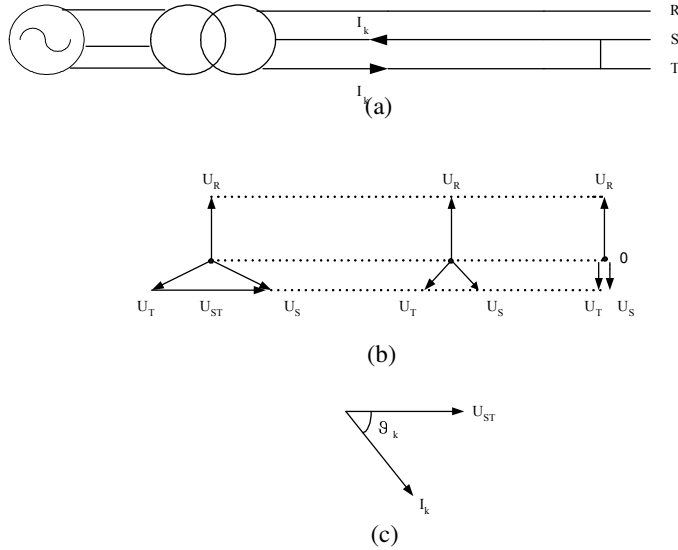


Şekil 2.5 Yıldız noktası bir empedans üzerinden topraklanmış, geçiş dirençli 1FTA'nın oluşması:
(a) Geçiş dirençli 1FTA kısa devresi, (b) Gerilim fazörlerinin değişimi.

2.1.2.2. İki-Faz Arızası

İki fazlı arızalarda, bölüm 2.1.1’de anlatılan 3FSA’nın aksine kısa devre akımı faz gerilimi tarafından değil, fazlar arası gerilim tarafından geçirilir. Kısa devre olan iki fazdan, aynı değerde fakat zıt yönlü akımlar geçer. Fazlar arası gerilimin beslediği devreden geçen I_k kısa devre akımı, fazlar arası gerilime göre ϑ_k faz açısı kadar geri fazdadır.

Geçiş dirençsiz ve metalik bir kısa devrede, kısa devre olan fazlar arasındaki gerilim sıfır olur. Şekil 2.6 (a) ve (b)’de; sırasıyla 2FA kısa devresi ve bu durumda kaynaktan itibaren arıza noktasına doğru faz gerilimlerinin fazör değişimi görülmektedir. Şekil 2.6 (c)’de ise, arızalı fazlar arası gerilim ve S fazına ilişkin akım fazörleri görülmektedir. Bu kısa devrede, şebekenin yıldız noktasının topraklanmış olup olmaması bir rol oynamaz. S ve T fazlarında meydana gelen geçiş dirençsiz bir kısa devrede, bu fazların gerilimleri aynı fazda ve aynı büyüklüktedir. Büyüklükleri ise sağlam bir faz geriliminin yarısı kadardır. U_{RS} ve U_{TR} gerilimleri ise büyüklük itibarıyla sağlam bir faz geriliminin 1,5 katı kadar olup, normal değerinin $\sqrt{3}/2 = 0,866$ ’sı kadardır [55].



Şekil 2.6 Yıldız noktası topraklanmamış bir şebekede 2FA oluşması:
(a) 2FA kısa devresi, (b) Gerilim fazörlerinin değişimi, (c) Kısa devre akım ve gerilim fazörleri.

2.1.2.3. İki-Faz Toprak Arızası

Yıldız noktası toprağa bağlanmamış şebekelerde, iki ayrı yerde meydana gelen çift toprak değmesi arızası da, toprak üzerinden devresini tamamlayan iki fazlı bir kısa devredir. Bu

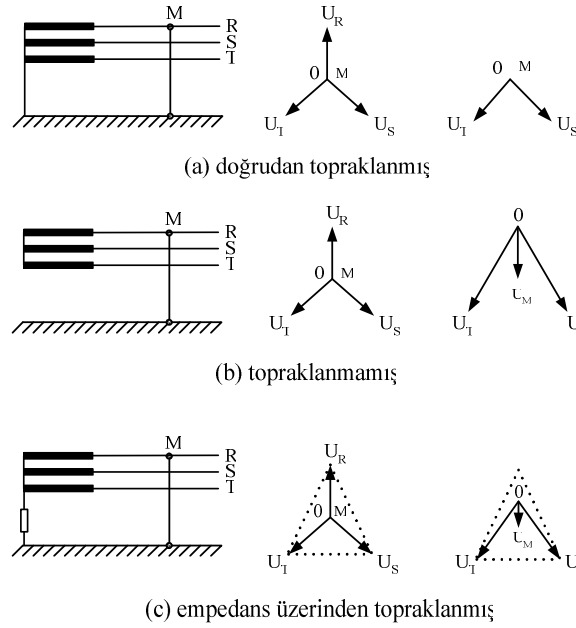
arızada da, iki faz arızasına benzer bir durum söz konusudur. Yıldız noktasının doğrudan topraklanması durumunda, geçiş direnci yok ise arıza noktasında arızalı faz gerilimleri sıfır olur. Bir direnç üzerinden yapılan bir topraklama ya da geçiş direncinin olması durumunda ise arızalı faz gerilimleri sıfıra düşmez. Bu durumda, aynı anda farklı noktalarda meydana gelen iki faz toprak arızasında geçiş direnci aynı değil ise arızalı fazlar arasındaki faz farkı da sıfır olmaz.

2.2. Kısa Devre Arızalarının Özellikleri

Enerji iletim hatları, üretilen elektrik enerjisinin tüketicilere ulaşmasını sağlayan ve kilometrelerce uzunluğa sahip olan güç sistemi elemanlarıdır. Havai hatlar, çıplak iletkenlerden oluşur ve belirli aralıklarda yerleştirilen direklerle taşınır. İletkenlerin direk gövdesi ile yalıtımını sağlamak için izolatörler kullanılır. İletkenlerin kendi aralarında yalıtımını sağlamak için ise, belirli bir mesafede yerleştirilerek havanın yalıtım özelliğinden faydalanılır. Havai hatlar birçok coğrafik ve meteorolojik etkene maruz kalırlar. Bu yüzden, güç sistemlerinde meydana gelen arızaların büyük bir kısmı iletim hatlarında meydana gelir.

Güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre akımlarının ve gerilimlerinin değerleri, sistemin yıldız noktasının topraklı olup olmamasına göre değişir. Yıldız noktası metalik olarak doğrudan topraklanmış bir sistemde herhangi bir fazının toprağa teması ile oluşan arıza durumunda, geçiş direncinin sıfır olduğu kabul edilirse, yıldız noktası yine toprak potansiyelinde kalır. Arıza noktasında arızalı fazın gerilimi de toprak potansiyeline eşit olur. Arızasız fazların toprağa göre gerilimleri ise değişmez. Şekil 2.7 (a)'da yıldız noktası doğrudan topraklanmış üç fazlı bir sistemde, IFTA olması durumunda sırasıyla bağlantı şekli, normal durum ve arızalı durumdaki fazörler gösterilmiştir [55].

Yıldız noktası toprağa bağlanmamış şebekelerde, herhangi bir fazda geçiş dirençsiz bir toprak değmesinde bu fazın toprağa göre potansiyeli sıfır olur. Bundan dolayı, sağlam olan fazların gerilimleri, normal durumdaki fazlar arası gerilime yükselir. Bu durumda, yıldız noktası toprak potansiyelinde olmayıp U_M değerindedir ve bu değer, arızasız durumdaki faz gerilimine eşittir [55, 56]. Şekil 2.7 (b)'de sırasıyla yıldız noktasının bağlantı şekli, normal ve arızalı durumlarda arıza noktasındaki fazör gerilimleri görülmektedir. Buradaki 0 toprak, U_M ise yıldız noktasının toprağa göre gerilimini göstermektedir.



Şekil 2.7 Çeşitli yıldız noktası bağlantı şekillerinde 1FTA için gerilimlerin değişimi.

Yıldız noktasının toprağa bir empedans ile bağlı olması durumunda ise, Şekil 2.7 (a) ve (b)'de gösterilen iki durumun arasında bir durum gerçekleşir. Herhangi bir fazda geçiş dirençsiz bir kısa devre arızası durumunda, arıza noktasında arızalı faz gerilimi toprak potansiyelinde olacaktır. Eğer arıza noktasında bir geçiş direnci varsa, arızalı fazın gerilimi küçülmekle beraber tam sıfır olmaz. Topraklama empedansının üzerine düşen gerilimden dolayı, yıldız noktasının toprağa göre gerilimi de toprak potansiyelinde olmayıp herhangi bir U_M büyüklüğünde olacaktır. Arıza anındaki sağlam fazların toprağa göre gerilimleri U_0 ve normal durumdaki fazlar arası gerilim de U_L ise topraklama sayısı z_0 ;

$$z_0 = U_0 / U_L \quad (2.1)$$

şeklinde yazılır [55]. Şekil 2.7 (c))'de sırasıyla yıldız noktasının bağlantı şekli ile normal ve arızalı durumlardaki gerilim fazörleri gösterilmiştir. Şekilde, arıza noktasındaki geçiş direnci R 'nin sıfır olduğu kabul edilmiştir.

Topraklama sayısının 0.8'den küçük olmasını sağlayacak şekilde yapılan bir topraklamaya etkili topraklama adı verilir [2, 55]. Yıldız noktası doğrudan topraklanmış şebekeler ile küçük değerli direnç veya reaktanslar üzerinden topraklanmış şebekeler, bu sınıfa girer. Topraklama sayısı, şebekenin herhangi bir yerinde 0,8'den daha büyük olursa, bu tür şebekelere yıldız noktası etkisiz olarak topraklanmış şebeke adı verilir. Yıldız noktası topraktan yalıtılmış ya da bir peterson bobini gibi arıza akımlarını kompanze eden bobinler üzerinden

topraklanmış şebekeler, bu sınıfa girer. Etkili yıldız noktası topraklamaları genellikle 110/190 ve 220/380 V'luk şebekelerde kullanılır. 154 ve 380 kV'luk şebekelerde de daima etkili yıldız noktası topraklaması yapılır. Etkisiz yıldız noktası topraklamaları, alçak gerilimde 500 V'luk şebekelerde kullanılır. Bu şebekeler genellikle, yıldız noktaları topraktan yalıtılmış olarak kullanılır. Bu şebekelerde transformatörlerin yıldız noktaları, koruma eklatörleri (atlama aralığı) üzerinden topraklanır [57]. Orta gerilim ve 110 kV'a kadar olan yüksek gerilim şebekeleri de genellikle etkisiz olarak topraklanır.

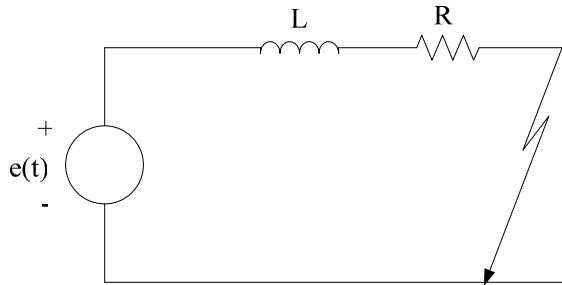
2.3. Kısa Devre Akımının Değişimi

Güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre arızaları sonrasında, yüksek akımlar oluşur. Bu kısa devre akımları, iletkenlerin taşıyabileceği akımdan daha büyük olabilir. Dolayısıyla kısa devre akımlarının oluşturduğu yüksek ısı, iletkenlere ve izolatör gibi yalıtım malzemelerine zarar verir. Buna ilave olarak, arıza durumlarından kaynaklanan gerilim düşmeleri güç sistemi elemanlarına zarar verebilir [54]. Şekil 2.8'de, generatörün Thevenin eşdeğeri görülmektedir. Bu eşdeğer devrede kaynak gerilimi,

$$e(t) = E_m \sin(\omega t + \alpha) \quad (2.2)$$

olur. Bu devrede $t = 0$ anında arıza olması durumunda, bir doğru akım bileşeni ortaya çıkar. Bu akımın ilk değeri, sürekli durum akımına eşit büyüklükte olabilir. Arıza anında oluşan akım, geçici bir doğru akım bileşeni içerir ve aşağıdaki gibi yazılır:

$$i(t) = \left(\frac{E_m}{Z} \right) \left[\sin(\omega t + \alpha - \theta) - \sin(\alpha - \theta) e^{-Rt/L} \right] \quad (2.3)$$



Şekil 2.8 Generatörün Thevenin eşdeğeri.

Burada $Z = (R^2 + \omega^2 L^2)^{1/2}$ ve $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\omega L}{R}\right)$ ’dir. En yüksek akımın geçtiği α değeri

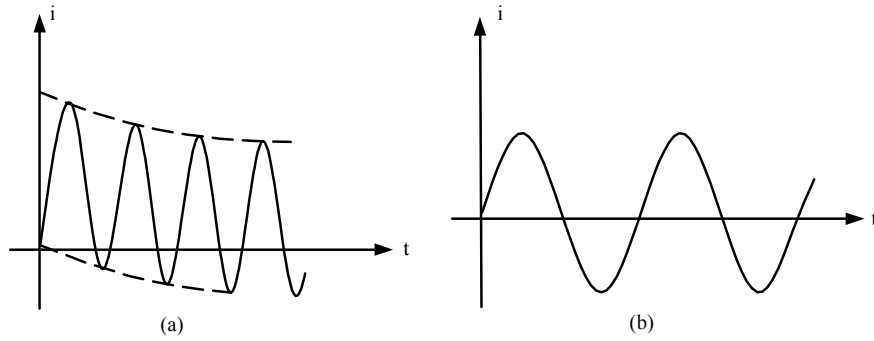
ise, $\tan \alpha = -\frac{R}{\omega L}$ ’dir. Bu durumda akımın büyüklüğü, aniden sürekli durum akımının iki katına ulaşır.

$$i(t) = \frac{E_m}{Z} \left(-\cos \omega t + e^{-Rt/L} \right) \quad (2.4)$$

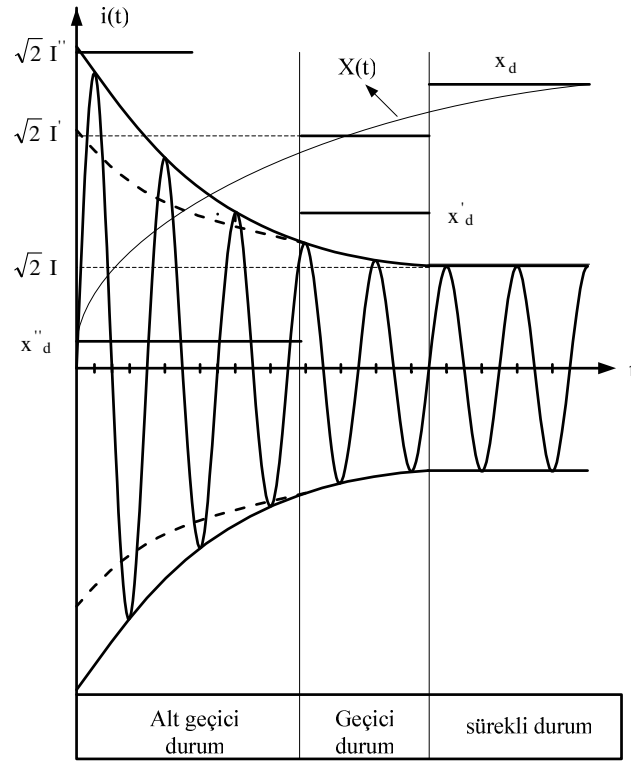
Şekil 2.9’da kısa devre akımının $\tan \alpha = -(R / \omega L)$ ve $\tan \alpha = (\omega L / R)$ için değişimi gösterilmiştir. Çok küçük bir “t” anında, $e^{-Rt/L} \cong 1$ olur. Böylece

$$i(t) = \frac{E_m}{Z} (1 - \cos \omega t) \quad (2.5)$$

elde edilir. Bu durumda akımın alacağı en büyük değer $\frac{2E_m}{Z}$ olur. Şekil 2.10’da, senkron generatör için kısa devre akım ve reaktanslarının değişimi gösterilmiştir [2, 54].

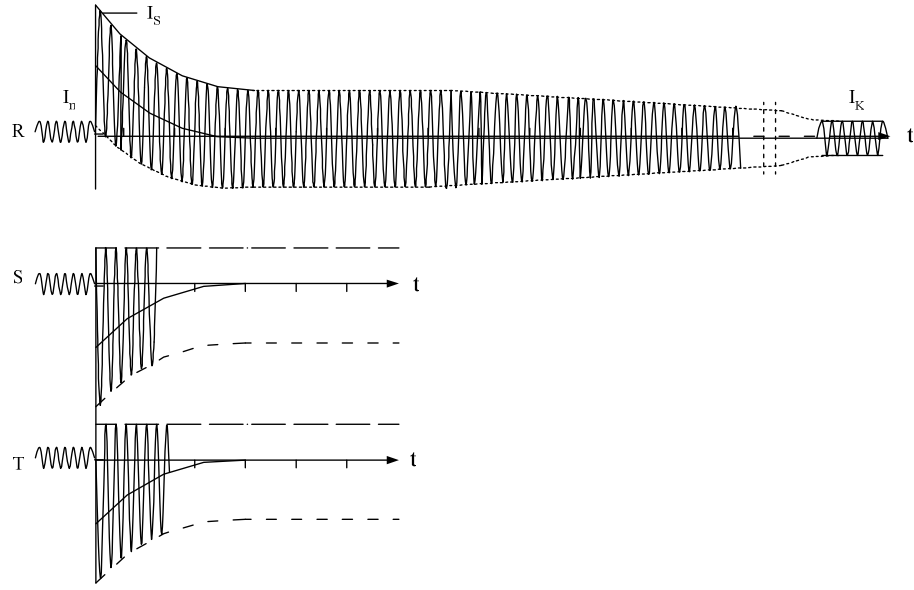


Şekil 2.9 Kısa devre akımları (a) $\tan \alpha = -(R / \omega L)$, (b) $\tan \alpha = (\omega L / R)$.



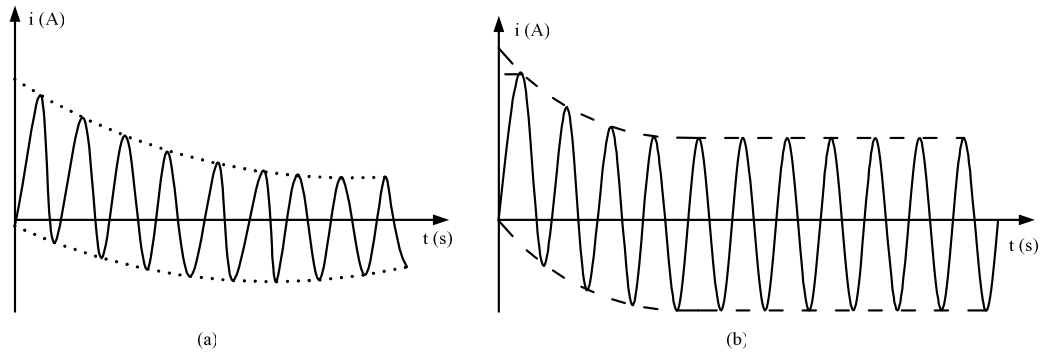
Şekil 2.10 Senkron makine için kısa devre akım ve reaktansları.

Generatörün enerjilendiği ilk anda, sadece başlangıç ya da stator kaçak reaktansı vardır. Bu reaktans, yüksüz generatör geriliminin sürekli durum akımına bölünmesi ile elde edilir. Akımdaki azalmanın çok hızlı olduğu ilk birkaç periyotluk sürede geçen akıma, alt geçici durum akımı denir. Alt geçici durum akımından sonra, sürekli duruma ulaşmaya kadar geçen akıma, geçici durum akımı denir. Şekil 2.11'de 3FSA durumunda, her üç fazdan geçen kısa devre akımlarının değişimleri verilmiştir.



Şekil 2.11 Üç fazlı klemens kısa devresinde kısa devre akımlarının değişimi.

Sistemde meydana gelen kısa devre, generatöre ne kadar yakın olursa arıza akımı da o kadar hızlı sürekli duruma ulaşır. Ancak, generatöre yakın kısa devrelerde oluşan akım daha yüksek seviyelere ulaşır. Oluşan kısa devrenin generatöre olan uzaklığı fazla ise bu sönümleme daha uzun bir zamanda gerçekleşir. Kısa devre generatörden çok uzakta ise, kısa devre akımının kararlı son değeri başlangıç değerine yakın bir değerdir. Şekil 2.12 (a) ve (b)'de sırasıyla, generatöre yakın ve generatörden uzak bir noktada meydana gelen bir arıza için kısa devre akımlarının zamana göre değişimi görülmektedir.



Şekil 2.12 Generatöre yakın ve uzak kısa devrelerde akımın değişimi,

- (a) Generatöre yakın kısa devrede,
- (b) Generatöre uzak kısa devrede.

3. GÜÇ SİSTEMİ MODELİ VE ARIZA SİNYALLERİNİN ELDE EDİLMESİ

Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılan prototip güç sistemi modeli ve bu modelin ATP ile yapılan benzetimi hakkında bilgiler verilecektir. Hem prototip güç sisteminden hem de ATP programında yapılan benzetimden, kısa devre arıza durumlarındaki akım ve gerilim sinyalleri elde edilerek, bu sinyaller daha sonraki bölümlerde arıza tipi ve yerinin belirlenmesinde kullanılacaktır.

3.1. Prototip Güç Sistemi Modeli

Yapılan deneysel çalışmada, 380 kV'luk prototip bir güç sisteminden yararlanılmıştır. Gerçek enerji iletim sistemlerinde yüksek akım ve gerilimler kullanıldığından, laboratuvar ortamında bu değerlere dayanabilecek güç sistemi elemanlarının temin edilmesi mümkün olmadığı için, prototip sistemdeki akım ve gerilim değerleri belirli bir oranda ölçeklendirilmiştir. Kullanılan prototip sistemde akım ve gerilimler 1:1000 oranında ölçeklendirilmiştir. Bu akım ve gerilimlerden elde edilen güçler için de 1:1000.000 ölçeği kullanılmıştır. Tablo 3.1'de prototip sistemin gerçek sisteme eşdeğer elektriksel büyüklükleri verilmiştir.

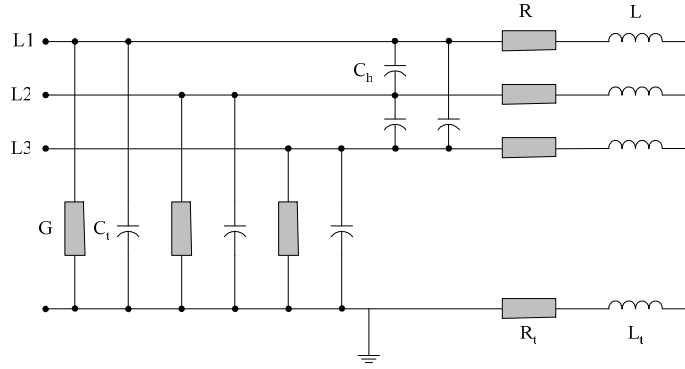
Tablo 3.1 Prototip güç sistemi eşdeğerleri.

Gerçek Sistem	Prototip Sistem
1 kV	1 V
1 kA	1 A
1 MW	1 W
1 MVA	1 VA

3.1.1. Elektriksel Büyüklükler ve Eşdeğer Devre Diyagramları

Bir enerji iletim hattı modellenirken iletkenlerin omik dirençleri (R), endüktansları (L), kapasiteleri (C) ve sızıntı kayıpları dikkate alınmalıdır. Sızıntı kayıpları; kabloların yalıtkanlıklarının bozulması, izolatörlerin yüzeysel kirliliği ve iletim hattı iletkenleri üzerinde oluşan korona olayları nedeniyle ortaya çıkar. Hat endüktansı L, iletkenlerden geçen anma frekansındaki akımların oluşturduğu manyetik alandan dolayı meydana gelir. Aynı uzunluktaki havai hatların endüktansı, iletkenler arası mesafeler daha fazla olduğu için kablolu hatlara göre çok daha fazladır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi C_t ve C_h , sırasıyla faz-toprak ve faz-faz iletkenleri

arasındaki hat kapasiteleridir. Kabloların kapasitif reaktansları havai hatlara göre daha fazladır. Bunun nedeni, iletkenler arası mesafelerin daha az olması ve yalıtkan malzemenin bulunmasıdır. Bu bileşenlerin iletim hattının birim uzunluğuna dağıtılmasıyla elde edilen eşdeğer devre diyagramı Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1 Üç fazlı iletim hattı için eşdeğer devre diyagramı.

Gerçek sistemlerde iletim hatları oluşturulurken, kapasiteler göz önüne alınarak simetrik olmalarına dikkat edilir. İletkenler arasındaki uzaklıklar eşittir. İletkenler ile toprak arasındaki uzaklıklar ise farklıdır. İletim hattının simetrik olması için belirli mesafelerde faz sırası değiştirilerek çaprazlama yapılır. Herhangi bir asimetrik arıza durumunda akımlar sadece faz iletkenlerinden değil, aynı zamanda toprak üzerinden de geçer. Şekil 3.1’den de görüldüğü gibi, toprak devresinde bir direnç (R_t) ve endüktans (L_t) bulunur.

İletim hatlarındaki elektriksel büyüklüklerin hesaplanması oldukça karmaşık bir işlemdir. İletkenlerin yapıldığı malzemeler, bu iletkenlerin geometrileri ve kullanılan yalıtkan malzemelerin türü hesaplamalara dahil edilir. Hesaplamalardaki karmaşık işlemlerden kaçınmak için, hat parametreleri ile hazırlanan referans tabloları kullanılır. Bu tablolar ise, iletim hattına ait elektriksel parametrelerin bir kilometreye karşılık gelen değerlerini içerir. Enerji iletim hatlarının doğru akım direnci,

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3.1)$$

ile hesaplanır. Burada, ρ iletkenin öz direnci, A ise iletken kesitidir. Alüminyum iletkenin 20 °C’deki öz direnci yaklaşık olarak $28 \, \Omega \text{mm}^2/\text{km}$ ’dir. İletken kesiti ve gerçek hat uzunluğu belirli toleranslara sahiptir.

Simetrik, çaprazlanmış ve çok iletkenli bir hattın kilometre başına endüktansı,

$$L = \frac{100\mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{d_{ij}}{r_B} + \frac{0.25}{n} \right) \quad (3.2)$$

ile hesaplanır. Burada, μ_0 uzay boşluğunun manyetik geçirgenliğidir ($\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$ Vs/Am). Ayrıca, d_{ij} iletkenler arası mesafelerin geometrik ortalaması olup (3.3) ile hesaplanır ve r_B çok iletkenli hattın eşdeğer yarıçapı olup (3.4) ile hesaplanır. Burada r yarıçapı, n örgülü iletkendeki tel sayısını ve a ise örgülü iletkenin telleri arasındaki mesafeyi göstermektedir,

$$d_{ij} = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}} \quad (3.3)$$

$$r_B = \sqrt[n]{n r a^{n-1}} \quad (3.4)$$

Üç fazlı, toprak iletkeni bulunan bir iletim hattının kilometre başına C_L ve C_g kapasite değerleri (3.5) ve (3.6) bağıntılarıyla hesaplanabilir;

$$C_L = \frac{1000 \cdot 2\pi\epsilon_0 \ln \frac{2h}{d_{ij}}}{3 \ln \frac{d_{ij}}{r_B} \ln \frac{2h}{\sqrt[3]{r_B d_{ij}^2}}} \quad (3.5)$$

$$C_g = \frac{1000 \cdot 2\pi\epsilon_0}{3 \left(\ln \frac{2h}{\sqrt[3]{r_B d_{ij}^2}} - \frac{\left(\ln \frac{h+h_0}{d_0} \right)^2}{\ln \frac{2h_0}{r_0}} \right)} \quad (3.6)$$

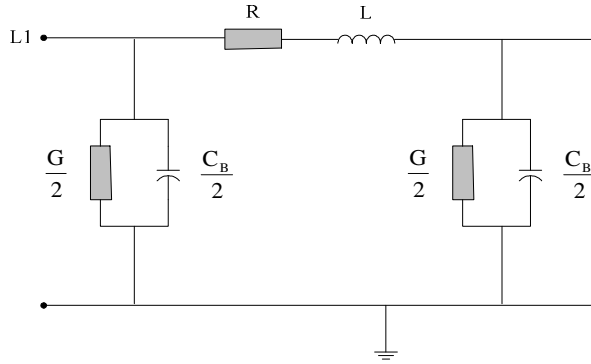
Burada h hat yüksekliğinin geometrik ortalaması, d_0 toprak iletkenine olan uzaklıkların geometrik ortalaması, h_0 toprak iletkeninin ortalama yüksekliği ve r_0 toprak iletkeninin yarıçapıdır. ϵ_0 ise boşluğun dielektrik geçirgenliği olup $8,85 \cdot 10^{-12}$ As/Vm değerine sahiptir. h ve d_0 değerleri,

$$\begin{aligned} h &= \sqrt[3]{h_1 h_2 h_3} \\ d_0 &= \sqrt[3]{d_{10} d_{20} d_{30}} \end{aligned} \quad (3.7)$$

olarak hesaplanır.

3.1.2. İletim Hattı Modelinin Eşdeğer Devresi

Üç fazlı enerji iletim sistemleri, yüklere dengeli bir gerilim sağlamak için simetrik olarak tasarlanır. Her üç faz birbirleri ile 120° faz farkına sahip ve simetrik oldukları için, yalnızca tek fazlı eşdeğer devre diyagramını oluşturmak yeterlidir. Şekil 3.2’de tek bir faza ait eşdeğer π devre diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.2 Üç fazlı iletim hattının tek fazına ait eşdeğer π devre diyagramı.

Bu eşdeğer devre diyagramı, bağlantı şeklinden dolayı π devresi olarak adlandırılır. Buradaki R, L ve G sırasıyla hattın birim direnci, endüktansı ve paralel iletkenliğidir. İşletme kapasitesi C_B , iletkenler arası kapasite ile faz-toprak arası kapasitelerin eşdeğerine eşittir ($C_B = C_g + 3C_L$). Bu bileşenler ile elde edilen büyüklükler, l uzunluğundaki bir hattın dl uzunluğundaki birim değerleri olduğu için, hattın tamamına ait hesaplama yapılırken hat uzunluğunun dikkate alınması gerekir.

Sonsuz uzunluktaki bir iletim hattının herhangi bir yerinden ölçülen empedansa, karakteristik empedans adı verilir (Z_0). İletim hattı karakteristik empedans ile sonlandırılmış ise bu tip hatlara empedans uyumlu hat adı verilir. Karakteristik empedans;

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C_B}} = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C_B'}} \quad (3.8)$$

ile hesaplanır. Düşük kayıplı, empedans uyumlu hatlarda hat başından gönderilen işaretin gücü tamamen hattın sonundaki yüke aktarılacaktır ve hat sonundan hat başına doğru herhangi bir yansıma olmayacaktır. Empedans uyumsuzluğu olan hatlarda, gönderilen işaretin bir kısmı hat sonundan geri yansıyacak ve hat başında zayıflamış bir işaret görülecektir. Herhangi bir iletim hattının yansıma katsayısı, yansıyan işaretin geriliminin iletilen işaretin gerilimine oranı ile bulunur ve kutupsal formda,

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R' + j\omega L') (G' + j\omega C_B')} \quad (3.9)$$

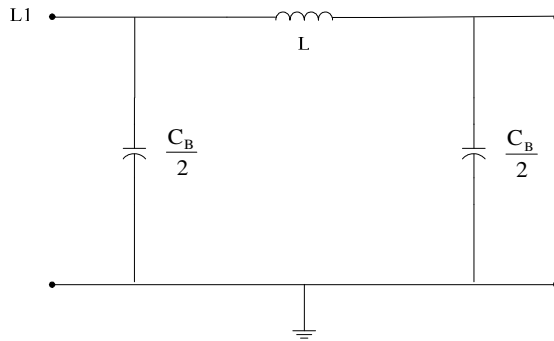
şeklinde ifade edilir. Karakteristik empedans ve yayılma katsayısı kullanılarak, iletim hattına ait gerilim ve akım denklemleri,

$$U_1 = \cosh(\gamma \ell) U_2 + Z_0 \sinh(\gamma \ell) I_2 \quad (3.10)$$

$$I_1 = \sinh(\gamma \ell) \frac{U_2}{Z_0} + \cosh(\gamma \ell) I_2 \quad (3.11)$$

gibi yazılır. Burada 1 indisli akım ve gerilimler hat başı büyüklükleri, 2 indisli olanlar ise hat sonu büyüklükleridir. Bir iletim hattının karakteristik empedansındaki R ve G değerlerinin tamamen ihmal edilmesiyle hesaplanan hatlara kayıpsız iletim hatları adı verilir. Kayıpsız bir iletim hattı için karakteristik empedans (3.12)'deki gibi hesaplanır.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C_B}}, \quad \beta = \omega \sqrt{L' C_B}, \quad \alpha = 0 \rightarrow \quad R \ll \omega L \text{ ve } G \ll \omega C_B \quad (3.12)$$



Şekil 3.3 Kayıpsız üç fazlı bir iletim hattının tek-faz eşdeğer devre diyagramı.

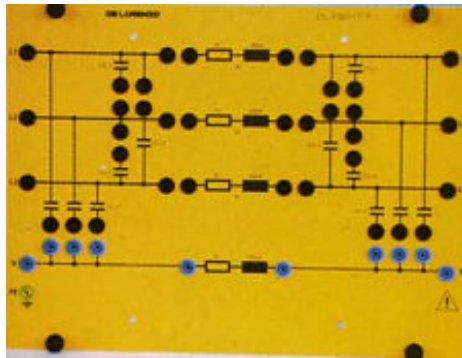
Bu çalışmada kullanılan iletim hattı, seri direncin göz önüne alındığı ancak paralel direncin ihmal edildiği bir iletim hattı olarak modellenmiştir. Benzetimi yapılan iletim hattı, 360 km uzunluğundadır. İletken kesiti 4x240/40 mm² Al/St olarak alınmıştır. İletim hattına ait diğer parametreler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 İletim hattı modeline ait hat parametreleri.

20 °C’ deki direnci	0.036 Ω / km
Hat endüktansı	0.805 mH/km
İletkenler arası kapasitans	2.78 nF/km
İletkenler ile toprak arasındaki kapasitans	5.556 nF/km
İşletme kapasitansı	13.889 nF/km
Karakteristik empedans	240 Ω
Isıl limit değeri	1700 MVA
Toprak direnci	0.031 Ω / km
Toprak endüktansı	0.694 mH/km

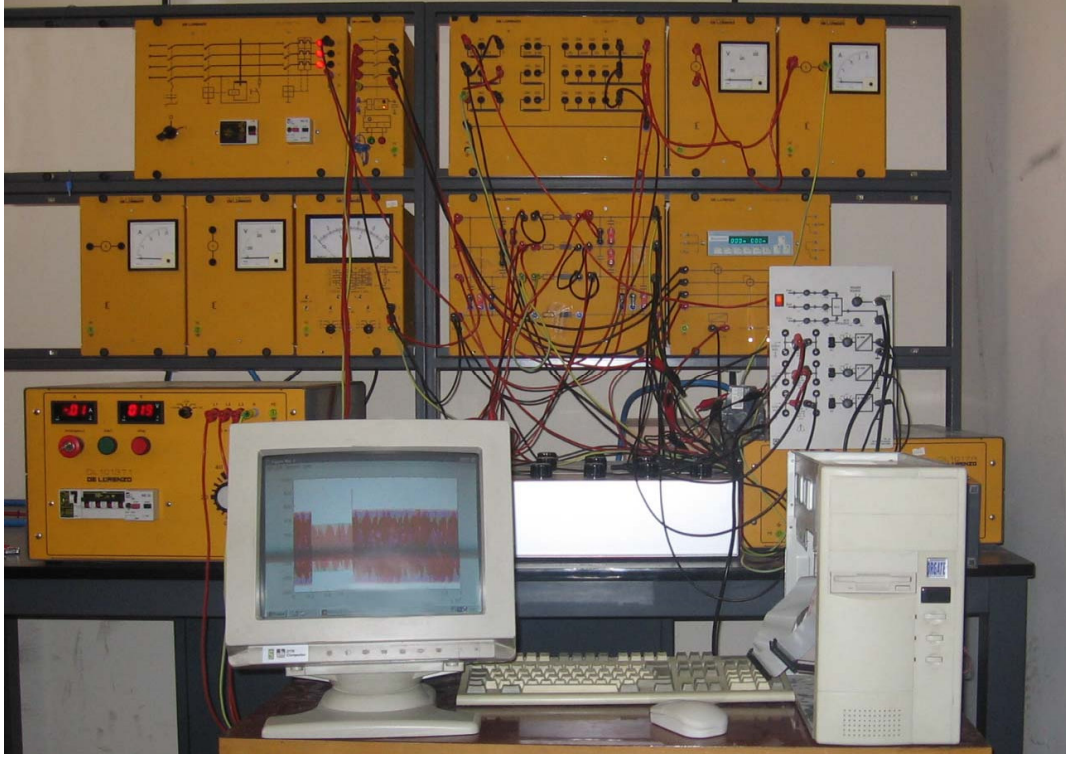
3.1.3. Prototip Güç Sistemi Elemanları ve Özellikleri

Tablo 3.2’de hat parametreleri verilen ve prototip güç sisteminde kullanılan iletim hattı modeli Şekil 3.4’te gösterilmiştir. 360 km’lik iletim hattı modelinin her bir fazına ait direnç değeri 13 Ω ’dur. Hat endüktansı 290 mH, fazlar arası kapasite değeri 1 μ F’dir. Her bir faz ile toprak arasındaki kapasite değeri 2 μ F, toprak direnci 11 Ω ve toprak endüktansı 250 mH’dir.



Şekil 3.4 Prototip iletim hattı modeli.

Arıza sinyallerinin alındığı prototip güç sistemi Şekil 3.5’te görülmektedir. Prototip sistemde kullanılan cihazlar Delorenzo Engineering firması tarafından üretilen deneysel güç sistemi elemanlarıdır [59].



Şekil 3.5 Prototip güç sisteminin deneysel bağlantısı.

Sistemin enerjisi, 3x380 V'luk çıkış gerilimine sahip alternatif akım güç kaynağı ile sağlanmaktadır. Çıkış gerilimi, değişken bir transformatör ile ayarlanmaktadır. 380 kV'luk (1/1000 ölçekli) iletim hattını besleyen üç fazlı transformatör üç sargıya sahiptir. Primer sargısı 3x380 V yıldız veya üçgen bağlantı olanaklı, sekonder sargı 3x220 V ve nominal gücü 800 VA'dır. Sekonder sargının +%5, -%5, -%10 ve -%15 kademeli yıldız bağlantı olanağı vardır (yapılan çalışmada -%15 kademesinden çıkış alınmıştır). Transformatörün tersiyer sargısı üçgen bağlıdır ve 3x220 V çıkış gerilimine sahiptir. İletim hattının sonuna bağlanan yük yıldız bağlanmış, yedi kademeli omik bir yüküdür ve çekebileceği maksimum aktif güç 1200 W'tır.

Prototip sistemde ayrıca ampermetre, voltmeter, enerji analizörü, üç fazlı 380 V'luk güç kaynağı modülü, üç fazlı devre kesicisi ve arıza yerini değiştirmek için harici empedans modülleri kullanılmıştır. Prototip sistemde kullanılan cihazlara ait daha detaylı etiket değerleri Ek-1'de verilmiştir.

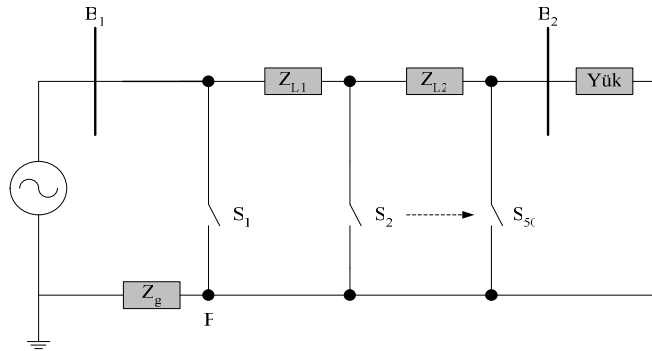
3.2. Kısa Devre Arızalarının Oluşturulması

İletim hatlarında meydana gelen kısa devre arızaları genel olarak dört ana parametreye bağlıdır [43]. Bu parametreler arıza durumlarında meydana gelen geçici durumları doğrudan

etkiledikleri için arıza tipi ve yerinin belirlenmesinde de büyük rol oynarlar. Bu parametreler şunlardır:

- ✓ Arıza tipi: 1FTA, 2FA, 2FTA ve 3FSA,
- ✓ Arıza noktası ile röle noktası arasındaki uzaklık: Hat uzunluğunun % 0–100 aralığı,
- ✓ Arıza noktası ile toprak arasındaki empedans değeri: $>0\Omega$,
- ✓ Arızanın meydana geldiği açı (zaman): $0-360^\circ$ (0–20 ms).

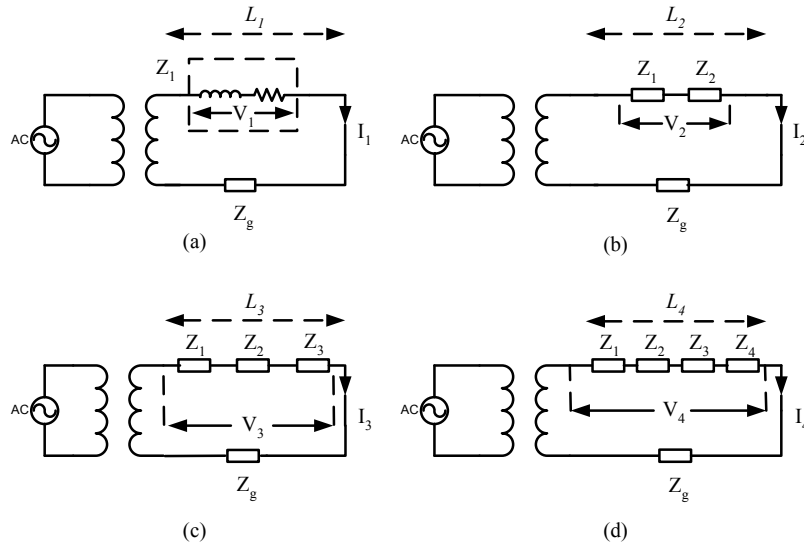
Prototip güç sisteminde, kısa devre arızalarının oluşturulabilmesi için öncelikle giriş gerilimi 1/10 oranında düşürülmüştür. Bunun sebebi, özellikle iletim hattının başında meydana getirilecek bir kısa devre arızası durumunda, arıza geriliminin küçük bir empedans üzerine düşmesi ve bunun sonucunda oluşacak kısa devre akımlarının sistem elemanlarına zarar verebilecek kadar büyük olmasıdır. Prototip sistemde, oluşturulacak her bir arıza durumu için 50 farklı arıza yeri seçilmiştir. Arıza noktaları sabit mesafe aralıkları olmaksızın rasgele seçilmiştir. Bunu sağlamak için harici empedans modülleri kullanılmıştır. Sistem eşdeğerinde bulunan kapasite değerleri büyük bir empedans göstereceği için (megaohm), gerilim ve akım bölünmesinde ihmal edilebilecek bir değere sahiptir [60]. Arıza durumları, arıza noktasına bağlanan bir kontaktörün normalde açık kontaklarının manuel olarak kapatılması ile gerçekleştirilmiştir. Bu durumda, kısa devre arızaları birbirlerinden farklı açılarda meydana getirilmiştir. Tek-faz toprak kısa devresi için kullanılan anahtarlama yapısı Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Tek-faz toprak kısa devresi için kullanılan anahtarlama yapısı.

Prorototip güç sisteminden elde edilen tüm arıza gerilimleri, B₁ barası ile F noktası arasında alınmıştır. S₁ anahtarının kapatılması durumunda arıza akımı sadece toprak empedansı üzerinden geçer. S₂ anahtarının kapatılması durumunda ise arıza akımı bir önceki duruma ilave olarak Z_{L1} empedansı üzerinden de geçer. Bu şekilde her yeni arıza durumunda arıza empedansı Z kadar artar. F noktası referans olarak seçildiğinde, arıza noktası B₁ barasından uzaklaştıkça

gerilimdeki çökme bir önceki duruma göre azalır. Bunun tam tersi olarak fazdan geçen arıza akımı, arıza noktası B₁ barasından uzaklaştıkça (empedans değeri arttığı için) bir önceki arıza durumuna göre azalır. Şekil 3.6’da görülen Z_{L1} ve Z_{L2} empedanslarının toplamı 360 km’lik iletim hattının tek fazına ait eşdeğer empedansı verir. Arıza mesafesi değişiminin arıza akım ve gerilimlerine etkisi Şekil 3.7’de gösterilmiştir:



Şekil 3.7 Arıza mesafesi değişiminin arıza akım ve gerilimlerine etkisi.

360 km uzunluğundaki iletim hattının n tane küçük iletim hattının birleşiminden oluştuğu kabul edilirse ve $L_1 < L_2 < L_3 < L_4$ olmak üzere,

$$I_1 = \frac{V_1}{Z_1} \quad (3.13)$$

$$I_2 = \frac{V_2}{Z_1 + Z_2} \quad (3.14)$$

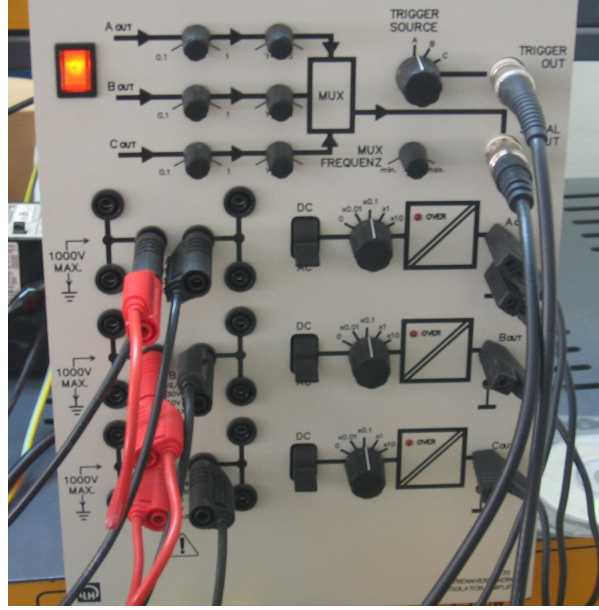
$$I_2 = \frac{V_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \quad (3.15)$$

$$I_2 = \frac{V_4}{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4} \quad (3.16)$$

eşitlikleri yazılır.

3.2.1. Arıza Sonuçlarının Bilgisayar Ortamına Aktarılması

Laboratuvar ortamında elde edilen prototip sisteme ait verilerin bilgisayar ortamına aktarılması için, AXIOM firması tarafından üretilen AX5412 High Speed Data Acquisition Board veri iletişim kartı kullanılmıştır. Veri iletişim kartının üretici firma tarafından sağlanan bilgisayar yazılımı incelenmiş ve Turbo C++ programlama dilinde gerekli değişiklikler yapılmıştır. Prototip güç sistemine ait analog çıkışların, veri iletişim kartına zarar vermeden giriş olarak uygulanabilmesi için Şekil 3.8’de gösterilen yalıtım yükselteci kullanılmıştır.



Şekil 3.8 Yalıtım yükselteci.

Yalıtım yükselteci, üç faza ait giriş büyüklüklerini 0, 0.1, 0.01, 1 ve 10 çarpanlarından biriyle çarparak çıkışa verir. Yapılan çalışmada yalıtım yükselteci girişleri 0.1 çarpanı ile küçültüldükten sonra, elde edilen analog çıkışlar veri iletişim kartına giriş olarak verilmiştir. Kullanılan AX5412 veri iletişim kartının temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- ✓ 12 bit Analog (A)/Dijital (D) dönüştürücü:
AX5412 veri iletişim kartı 12 bit’lik A/D dönüştürücüye sahiptir. Dönüştürme oranı 90 kHz’dir.
- ✓ Programlanabilir kazanç:
AX5412 veri iletişim kartının düşük ve yüksek kazanç sürümü vardır.
- ✓ Seçilebilir 16 tek veya 8 kanallı diferansiyel analog giriş:
Yüksek doğrulukta A/D dönüşümü için diferansiyel mod seçilmelidir.

- ✓ 3 hızlı A/D dönüştürme:

Düşük, orta (3 kHz'e kadar) ve yüksek hızlı (90 kHz'e kadar) A/D dönüştürme hızına sahiptir.

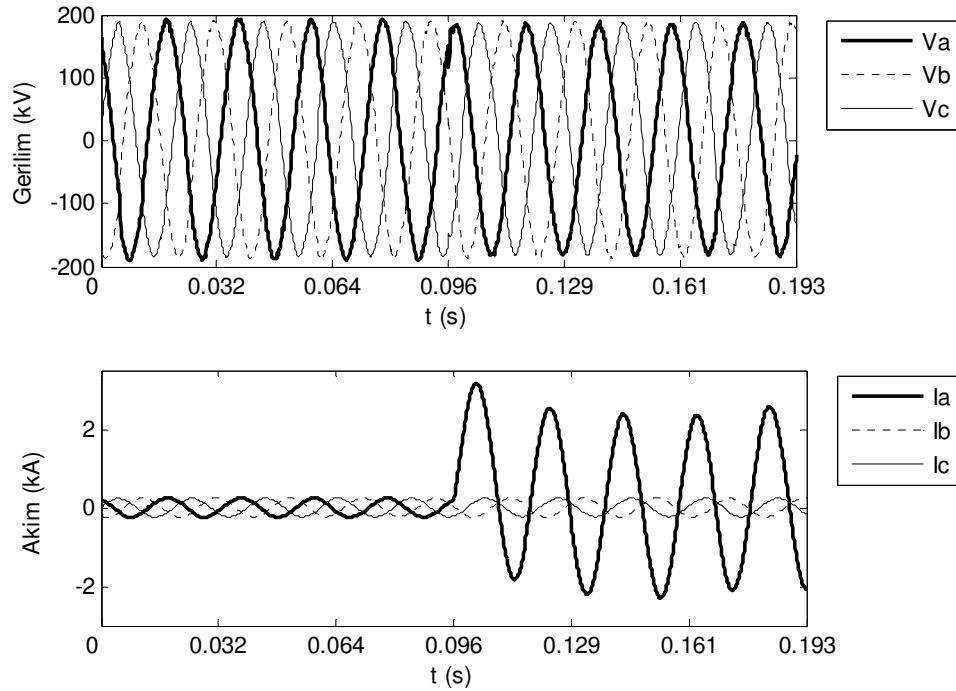
- ✓ 12 bit'lik 2 adet D/A çıkış:

D/A dönüştürücü, dahili bir referans gerilimiyle ya da harici bir referans gerilimiyle çalıştırılabilir.

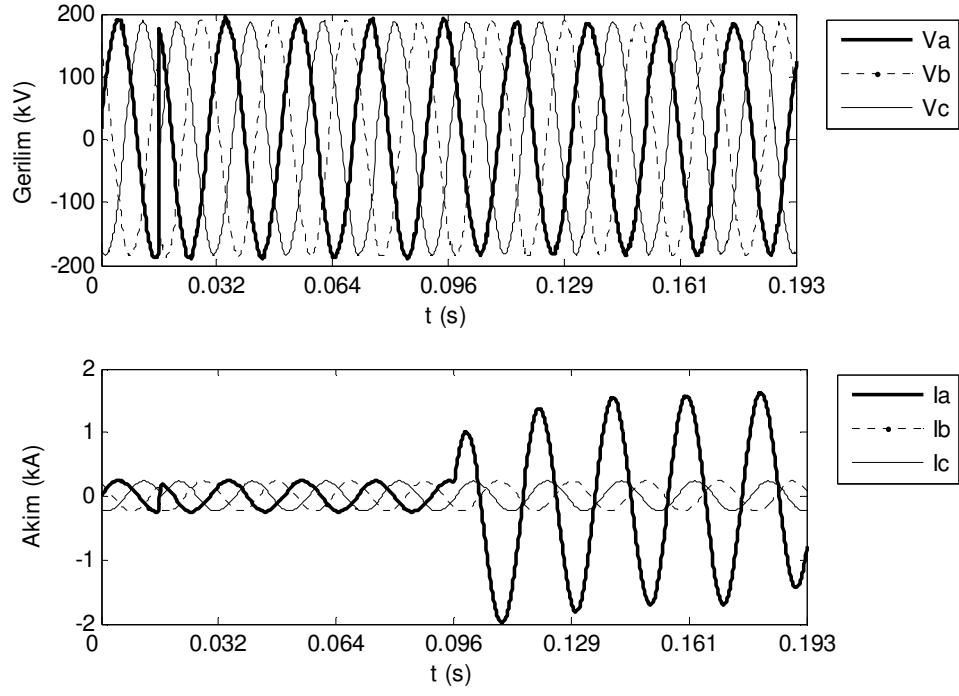
- ✓ 8 bit'lik dijital çıkış ve giriş.

Kısa devre arızalarından elde edilen akım ve gerilim sinyallerinin veri iletişim kartı ile bilgisayar ortamına aktarılması için kullanılan Turbo C++ yazılımına ait programlama kodları EK-2'de verilmiştir.

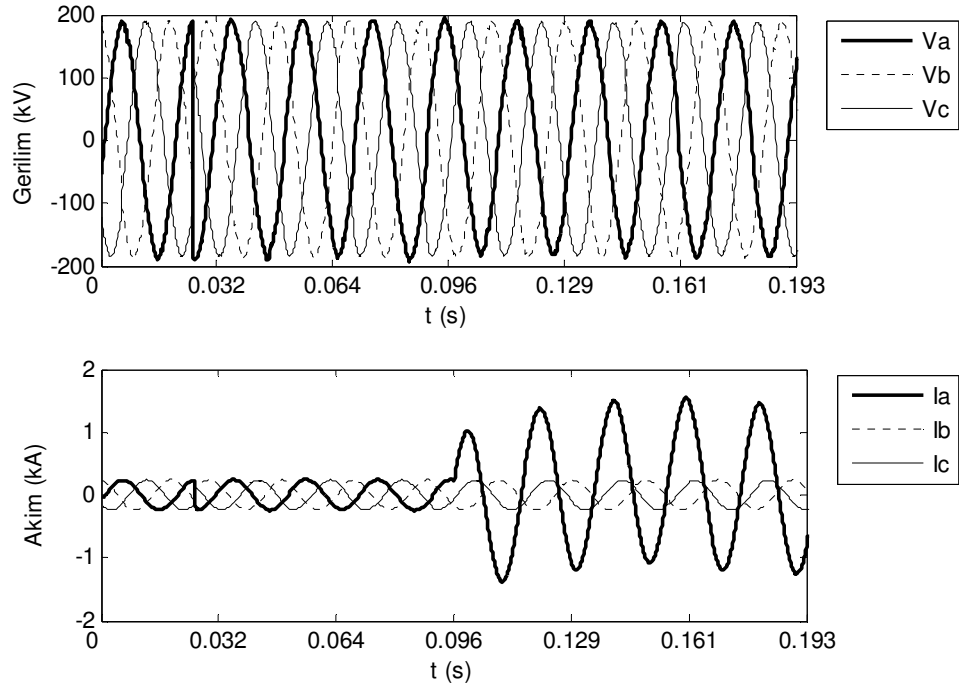
Prototip güç sisteminden AX5412 veri iletişim kartı ile dijital ortama aktarılan veriler MATLAB programı ile çizdirilmiştir. Bu veriler, daha sonraki arıza tipi ve yerinin belirlenmesi uygulamalarında kullanılacaktır. 50 farklı noktada meydana gelen, dört ayrı arıza tipine ait 200 akım ve 200 gerilim sinyali olmak üzere üç faz için toplam 1200 adet sinyal elde edilmiş ve veri iletişim kartı ile bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Şekil 3.9–3.20'de, her bir arıza tipi için sırasıyla generatöre yakın, orta noktada ve hat sonunda meydana getirilen kısa devre arızalarına ait gerilim ve akım sinyalleri gösterilmiştir.



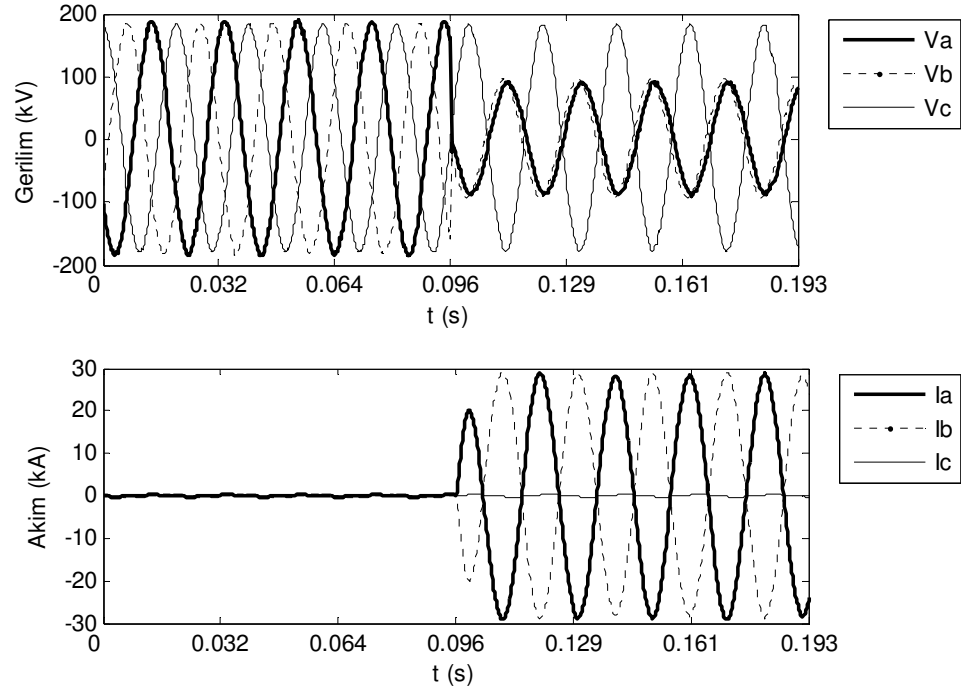
Şekil 3.9 Hat başında meydana gelen 1FTA için gerilim ve akımların değişimi.



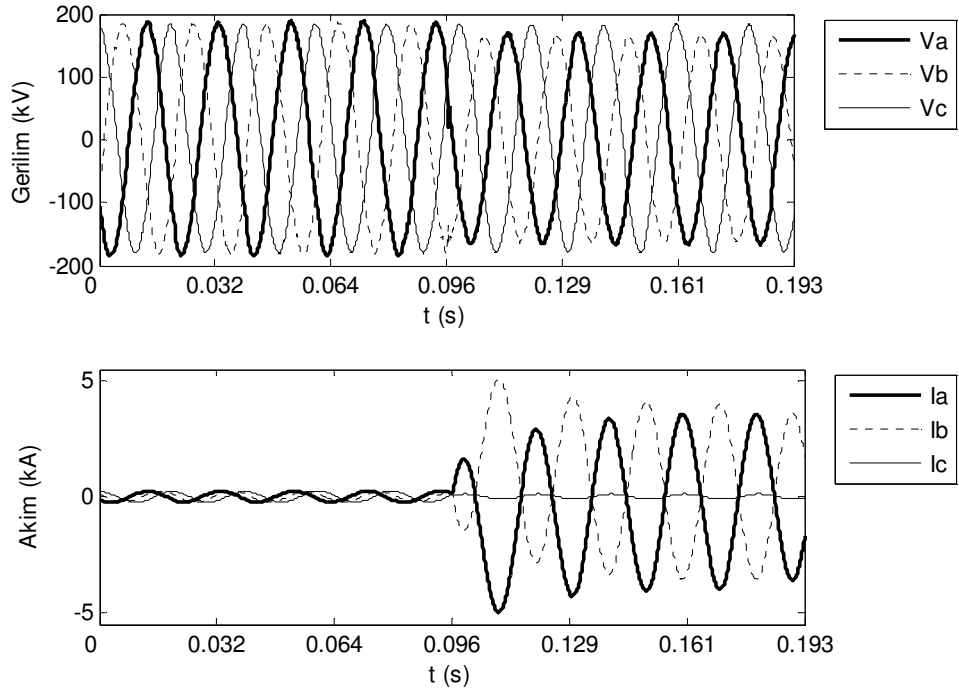
Şekil 3.10 Hat ortasında meydana gelen IFTA için gerilim ve akımların değişimi.



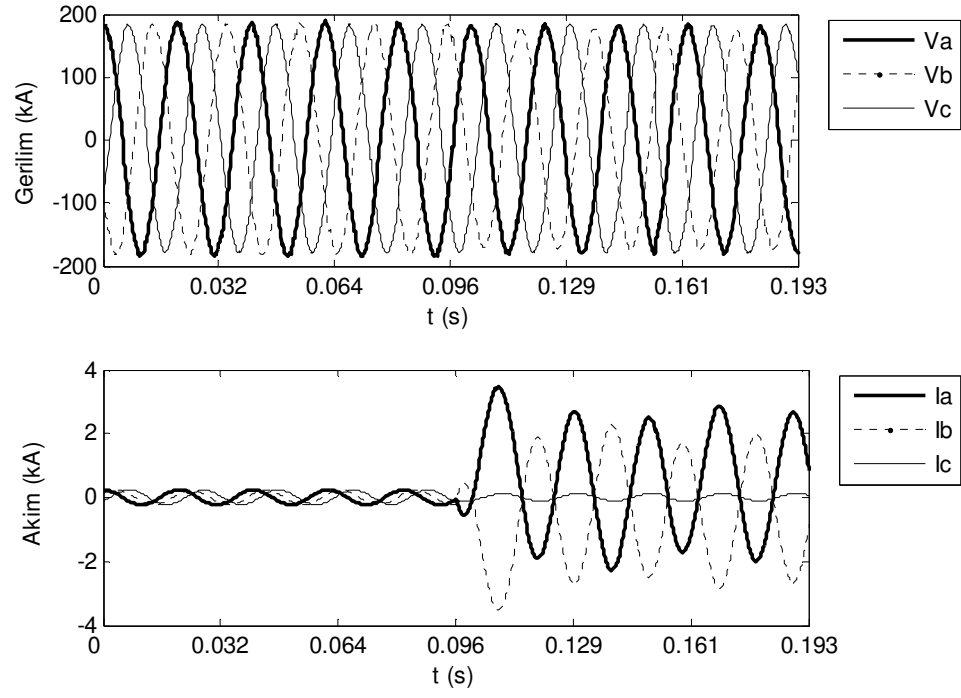
Şekil 3.11 Hat sonunda meydana gelen IFTA için gerilim ve akımların değişimi.



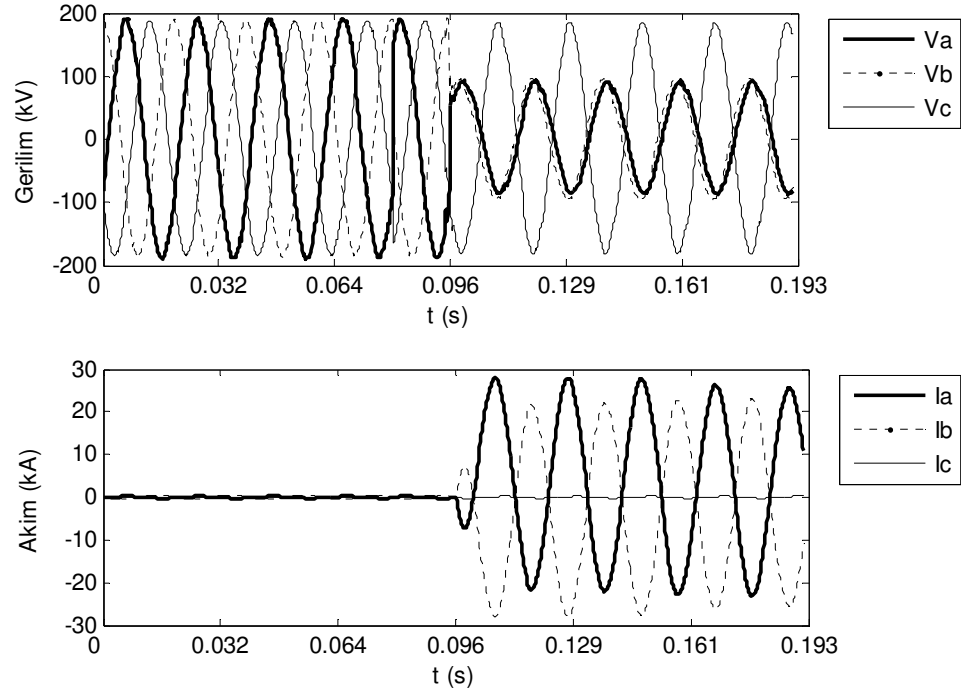
Şekil 3.12 Hat başında meydana gelen 2FA için gerilim ve akımların değişimi.



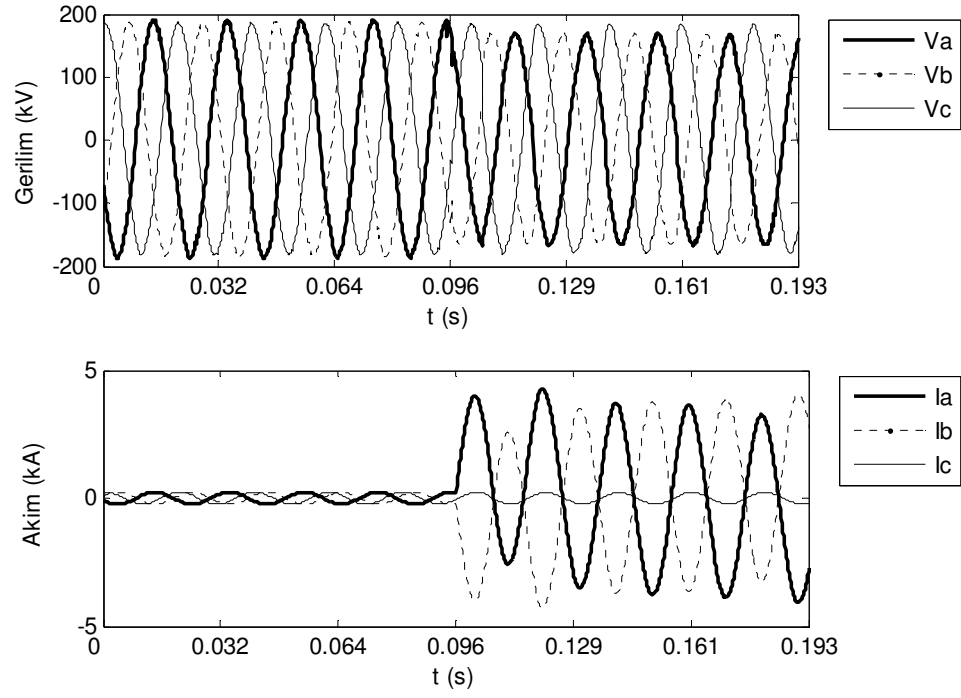
Şekil 3.13 Hat ortasında meydana gelen 2FA için gerilim ve akımların değişimi.



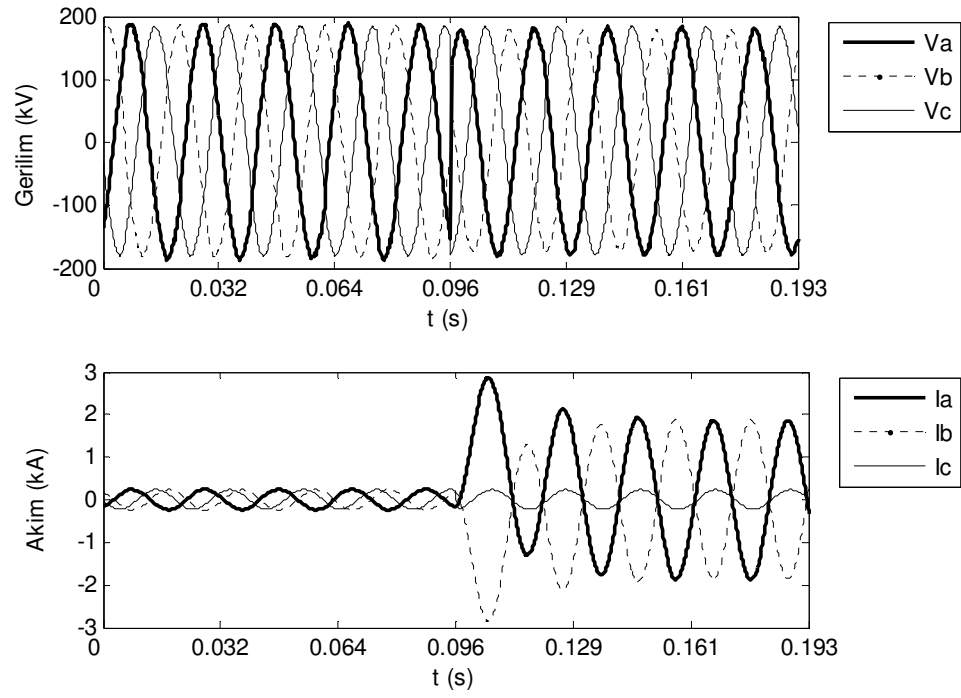
Şekil 3.14 Hat sonunda meydana gelen 2FA için gerilim ve akımların değişimi.



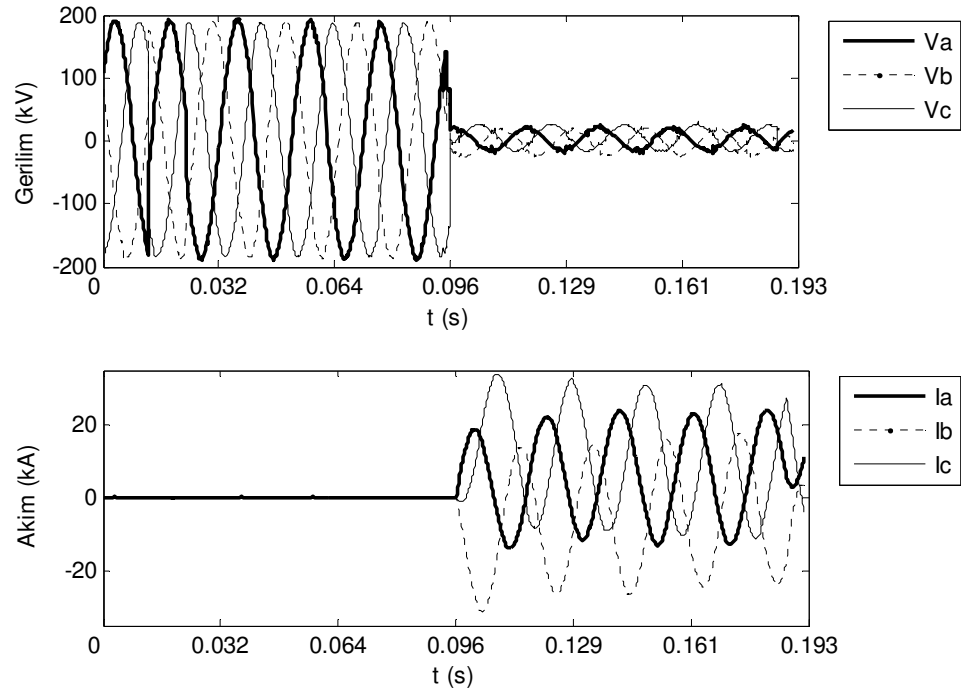
Şekil 3.15 Hat başında meydana gelen 2FTA arızası için gerilim ve akımların değişimi.



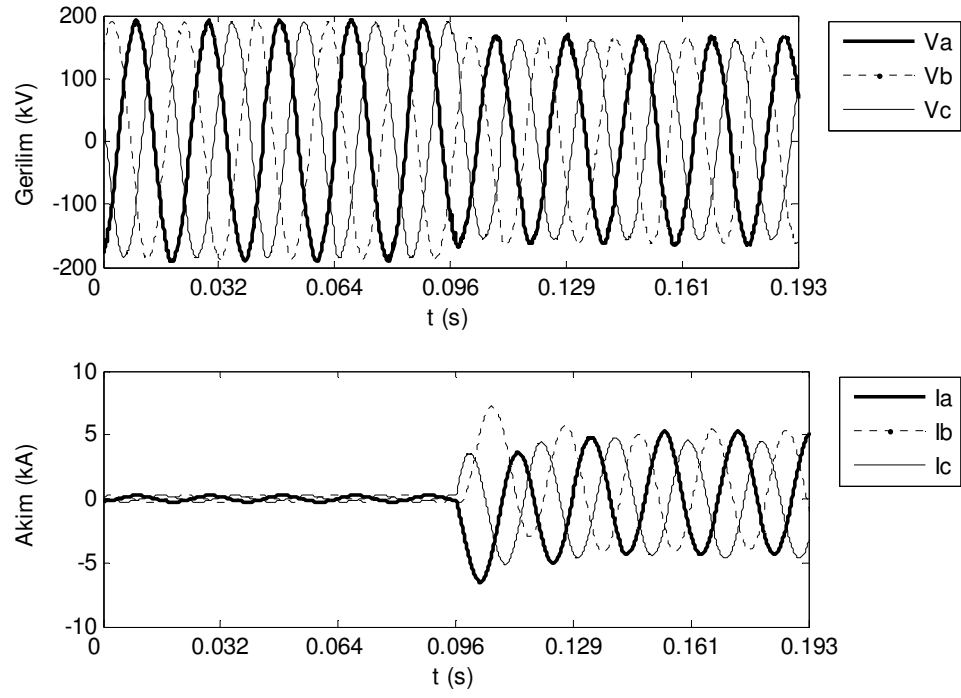
Şekil 3.16 Hat ortasında meydana gelen 2FTA için gerilim ve akımların değişimi.



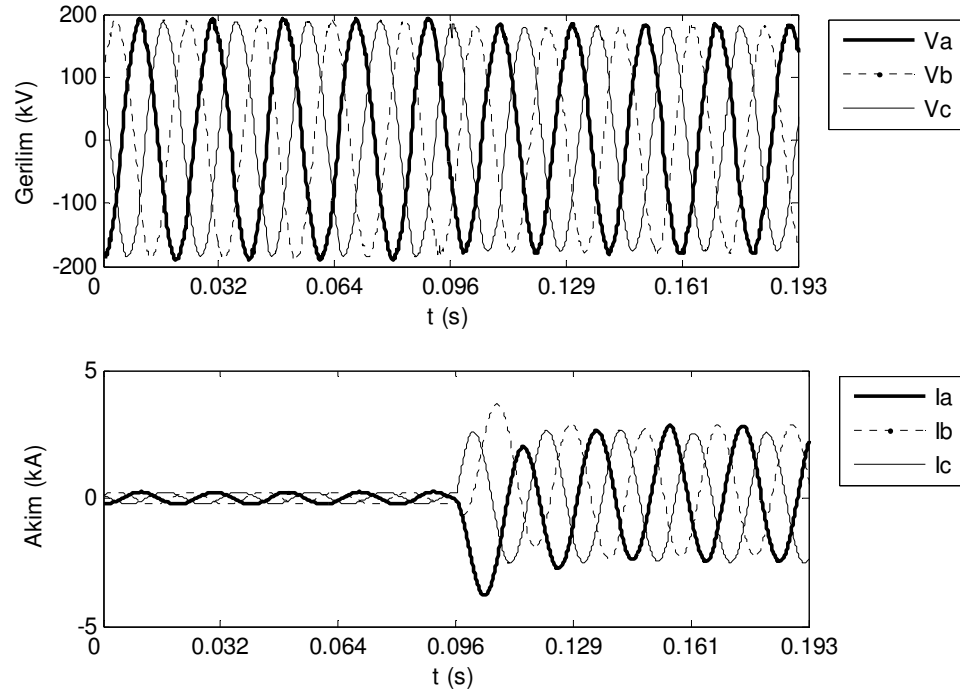
Şekil 3.17 Hat sonunda meydana gelen 2FTA için gerilim ve akımların değişimi.



Şekil 3.18 Hat başında meydana gelen 3FSA için gerilim ve akımların değişimi.



Şekil 3.19 Hat ortasında meydana gelen 3FSA için gerilim ve akımların değişimi.



Şekil 3.20 Hat sonunda meydana gelen 3FSA için gerilim ve akımların değişimi.

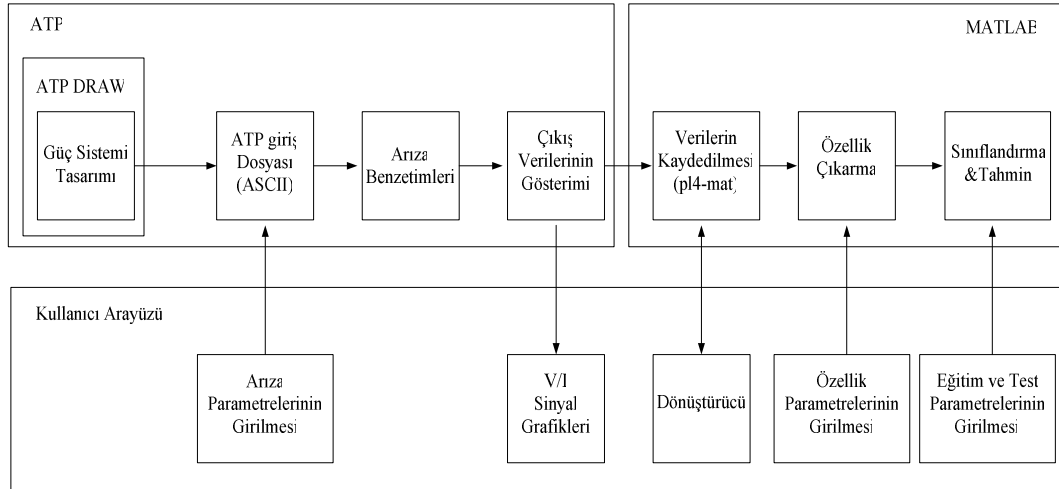
Prototip güç sisteminde yapılan kısa devre arızaları, enerjisiz bir kontaktörün bas-bırak butonuna basılarak oluşturulmuştur. Dolayısıyla yapılan her bir kısa devrenin meydana getiriliş açısı farklıdır. Veri iletişim kartı ile her bir kısa devre arızası için 3 saniyede 20000 civarında veri alınmıştır. Bu verilerle elde edilen kısa devre arıza sinyallerinin örnekleme frekansı yaklaşık 6200 Hz civarındadır.

3.3. Kısa Devre Arızalarının ATP ile Benzetimi

Son yıllarda, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak sayısal analiz yöntemlerinde de hızlı gelişmeler olmuştur. Güç sistemleri analizinde kullanılan bilgisayar destekli benzetim programları, gözle görülemeyen elektriksel olayların detaylı olarak incelenmesine imkan sağlamıştır. Güç sistemleri analizinde en sık kullanılan analiz programları ATP ve MATLAB'tır [61, 62]. ATP, Electro Magnetic Transient Program'ın (EMTP) ücretsiz ve eğitim amaçlı olan bir sürümüdür [63]. Kullanış kolaylığı ve benzetimdeki başarısı ATP'yi güç sistemleri analizinde dünya'da en çok kullanılan program haline getirmiştir [64]. Bu program sayesinde oldukça karmaşık bir yapıya sahip, büyük bir dinamik sistem olan güç sistemlerinin analizi yapılabilmektedir. Öte yandan MATLAB, sürekli yenilenen ve teknolojiye hızlı gelişmeleri takip eden, birçok bilim dalında olduğu gibi elektrik-elektronik

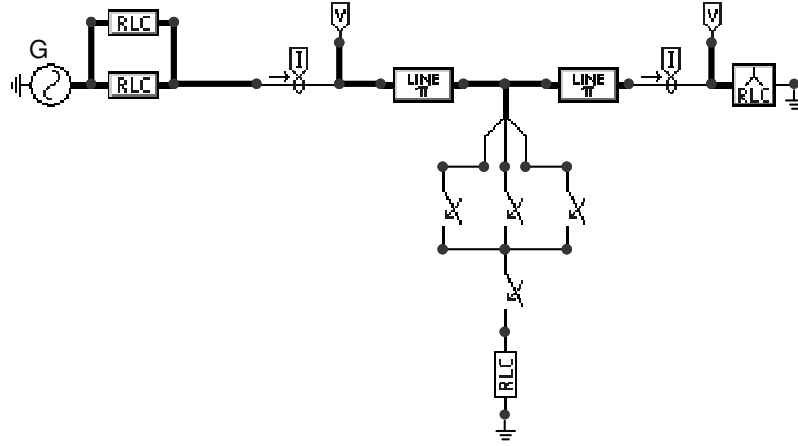
alanında da eğitimci ve araştırmacılara büyük kolaylıklar sağlayan önemli bir bilgisayar yazılımıdır.

Bu tez çalışmasında, kısa devre arızalarının bilgisayar destekli analizi için ATP ve MATLAB programları birlikte kullanılmıştır. Uygulamalar, AMD Sempron 3000-1.8 GHz işlemciye ve 512 Mb RAM'e sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. ATP ile benzetimi yapılan kısa devre arızalarına ait dijital veriler 'pl4' uzantılı olarak kaydedilmektedir. Bu veriler kolaylıkla 'mat' uzantılı olarak değiştirilebilmekte ve MATLAB yazılımına uyumlu hale getirilebilmektedir. MATLAB yazılımına uyumlu hale getirilen kısa devre arıza benzetim verileri sırasıyla özellik çıkarma, sınıflandırma ve tahmin aşamalarında kullanılacaktır. Şekil 3.21'de arıza tipi ve yerinin belirlenmesinde kullanılan ATP ve MATLAB bilgisayar yazılımlarının birlikte kullanımına ait akış diyagramı gösterilmiştir.

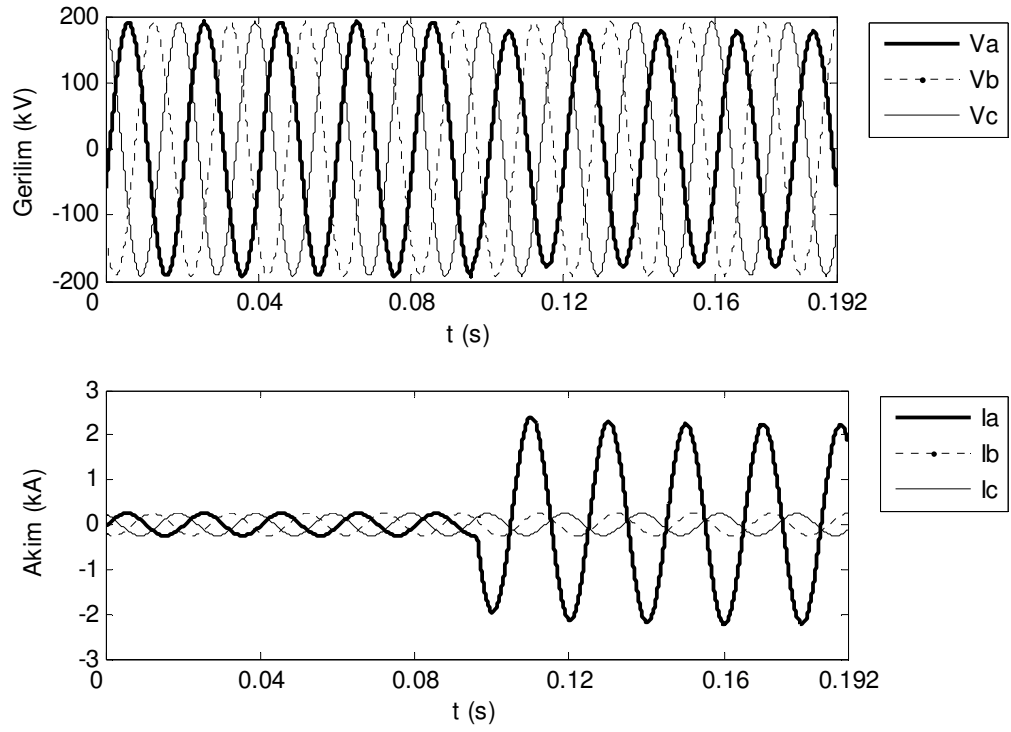


Şekil 3.21 ATP ve MATLAB yazılımlarının birleştirilmiş akış diyagramı.

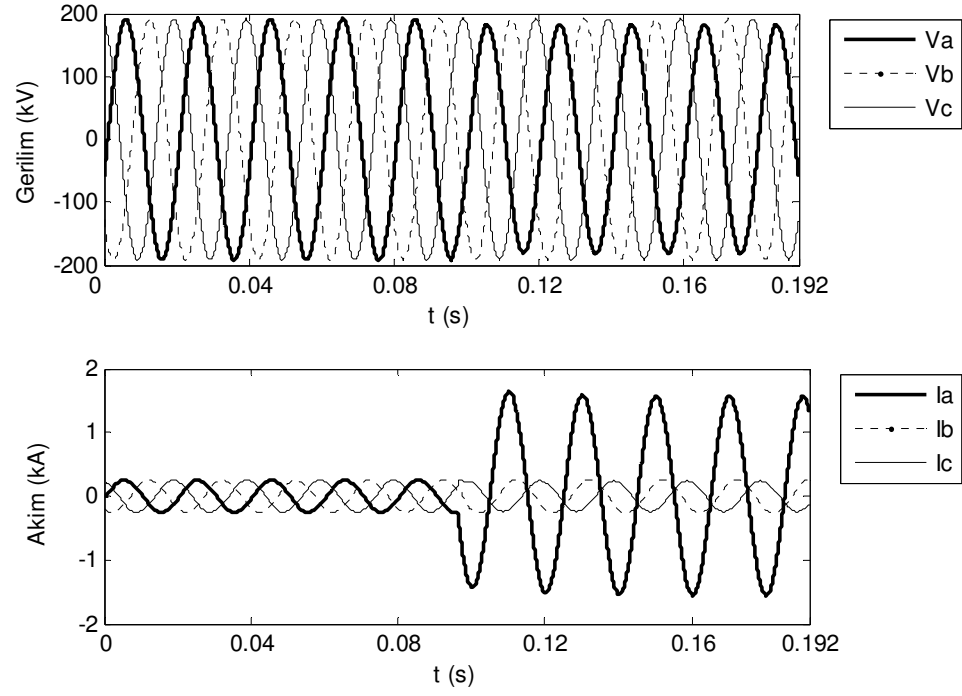
Şekil 3.22'de ATP ile benzetimi yapılan 380 kV'luk güç sistemi modeli gösterilmiştir. ATP benzetiminde kullanılan elektriksel büyüklükler prototip sisteme ait gerçek değerlerdir. Benzetim süresi 0,5 saniye olup, örnekleme periyodu 20 μ s'dir. Örnekleme frekansının yüksek olması, arıza anında oluşan yüksek frekanslı bozulmaların daha iyi gözlemlenebilmesine imkan sağlar. Bu durumda, gürültü ve harmonik gibi diğer yüksek frekans bileşenlerinin arıza geçici durumlarından ayırt edilmesi gerekir. Bir sonraki bölümde özellik çıkarma için kullanılacak olan DD yönteminin, kısa devre arıza akım ve gerilim sinyallerinde oluşan geçici durumları etkili bir biçimde ayırt ettiği detaylı olarak gösterilecektir. Şekil 3.23-34'te, iletim hattının farklı noktalarında meydana gelen 1FTA, 2FA, 2FTA ve 3FSA'ya ait, ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akım sinyalleri gösterilmiştir.



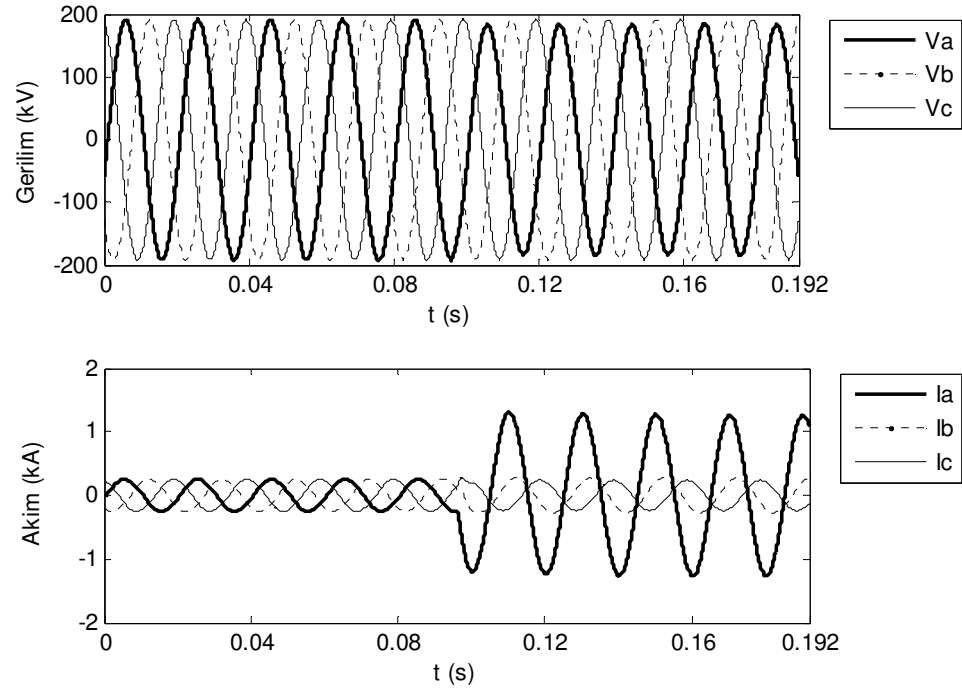
Şekil 3.22 Prototip güç sisteminin ATP modeli.



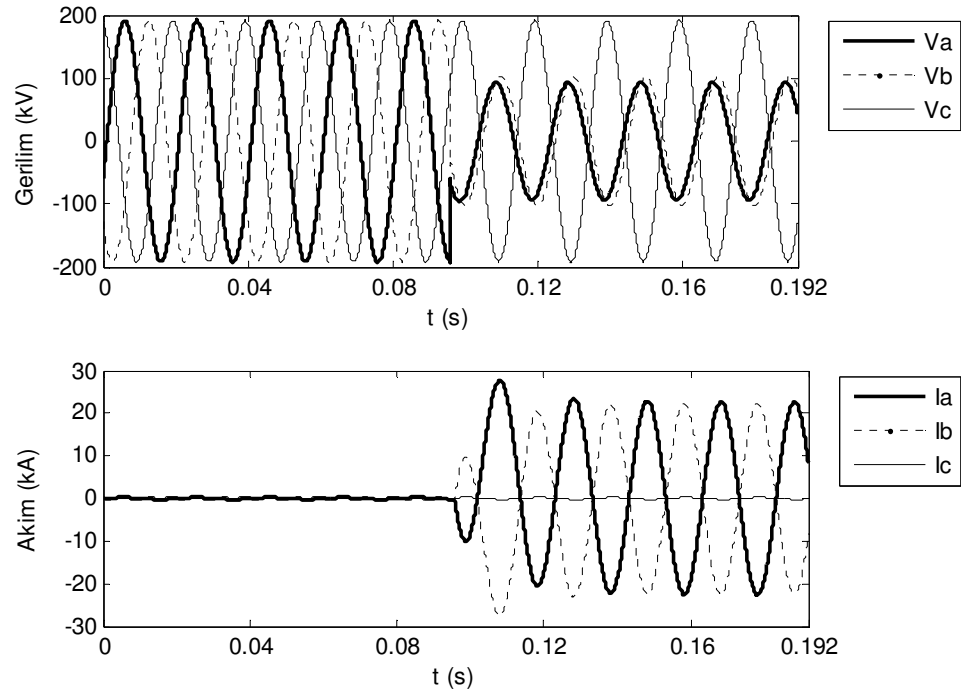
Şekil 3.23 Hat başında meydana gelen 1FTA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.



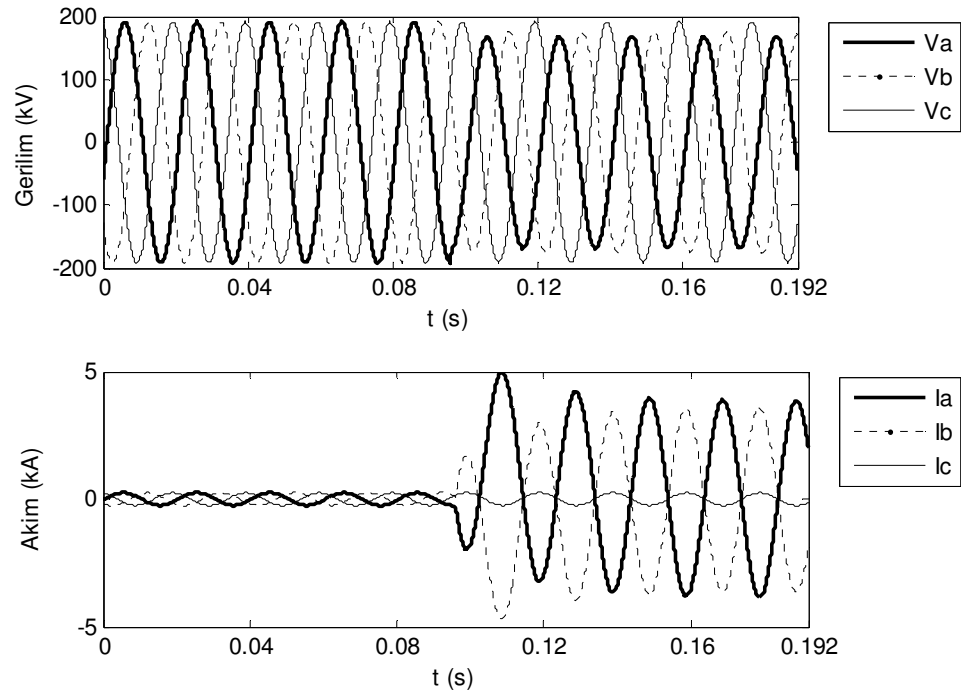
Şekil 3.24 Hattın orta noktasında meydana gelen 1FTA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.



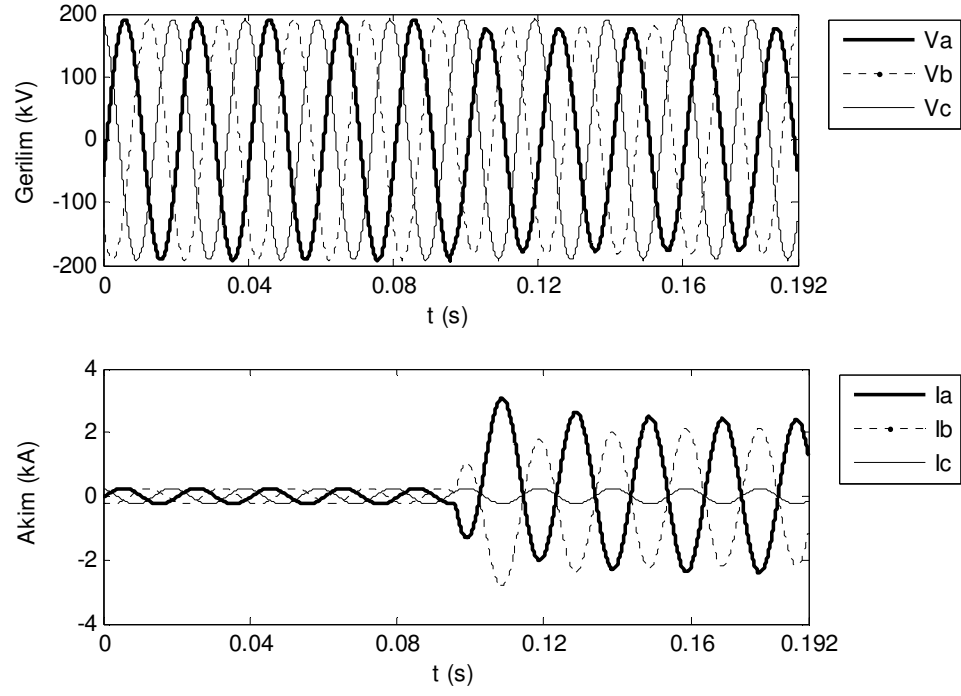
Şekil 3.25 Hat sonunda meydana gelen 1FTA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.



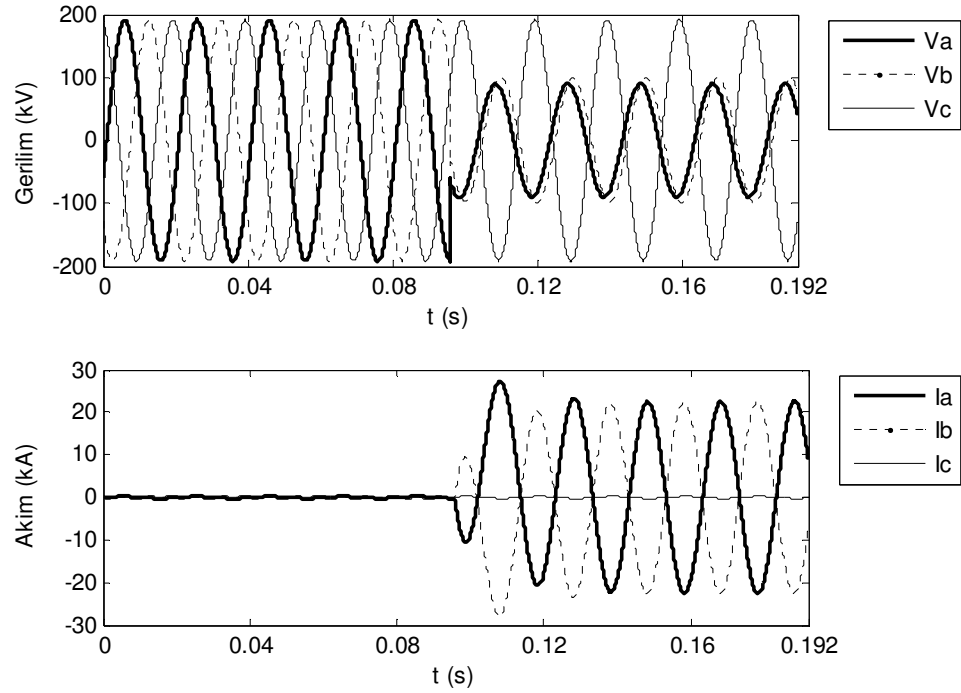
Şekil 3.26 Hat başında meydana gelen 2FA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.



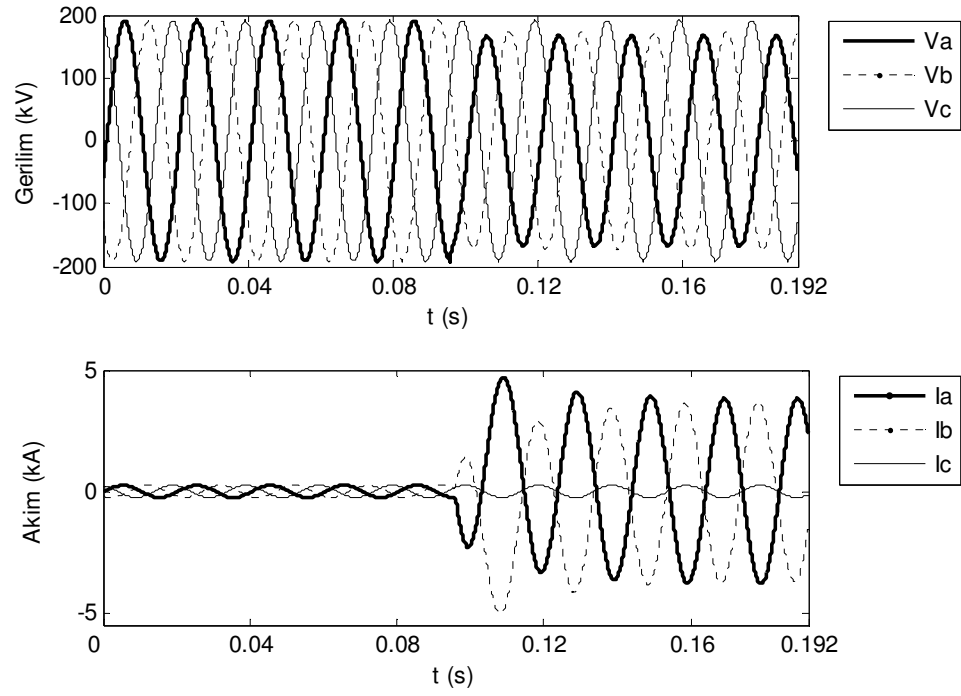
Şekil 3.27 Hattın orta noktasında meydana gelen 2FA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.



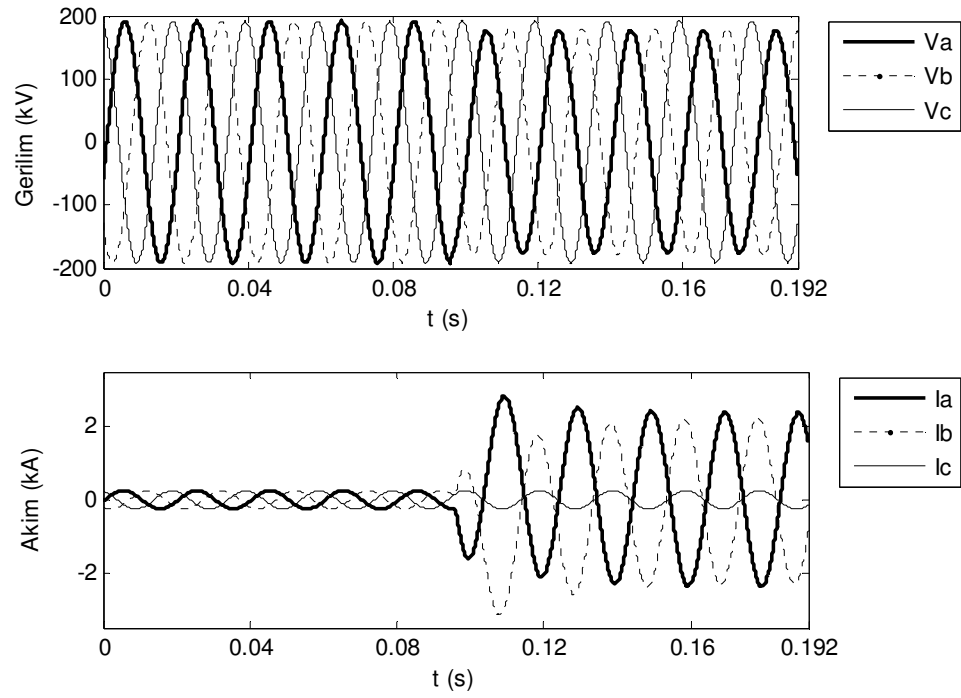
Şekil 3.28 Hat sonunda meydana gelen 2FA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.



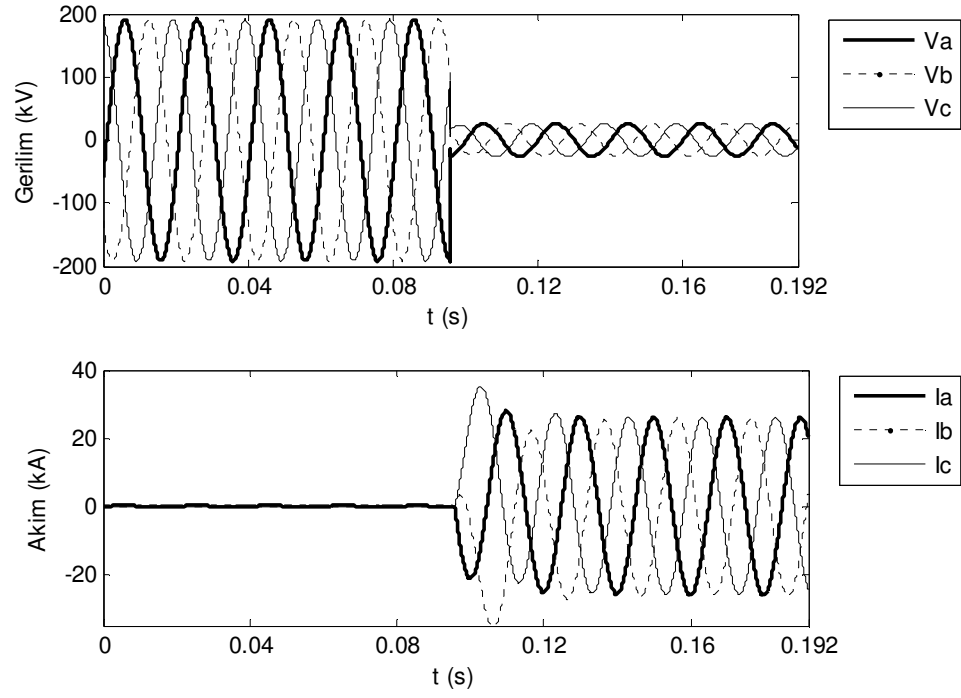
Şekil 3.29 Hat başında meydana gelen 2FTA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.



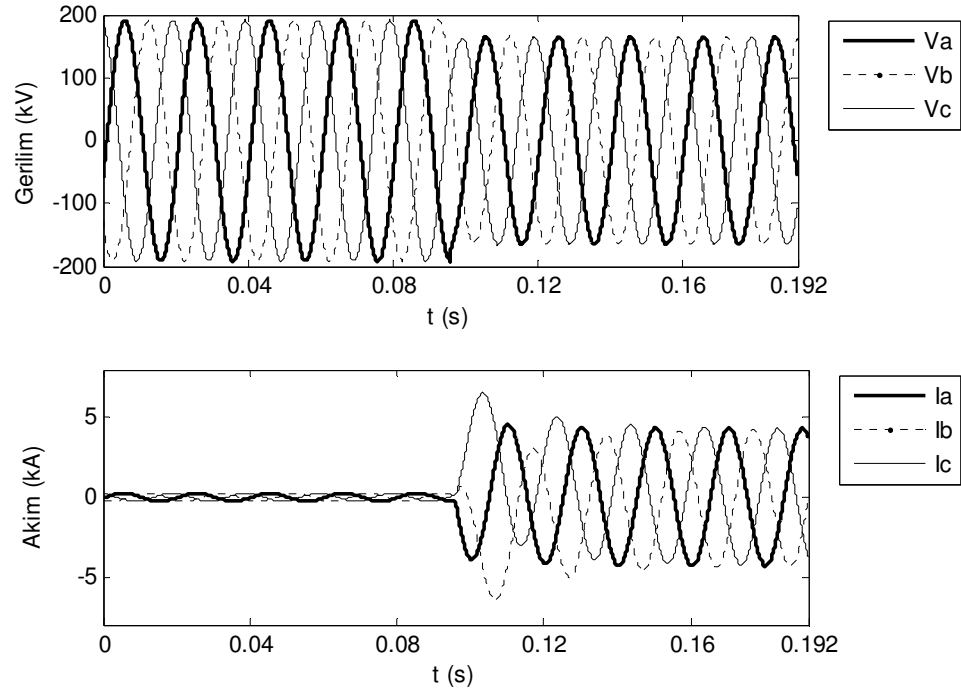
Şekil 3.30 Hattın orta noktasında meydana gelen 2FTA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.



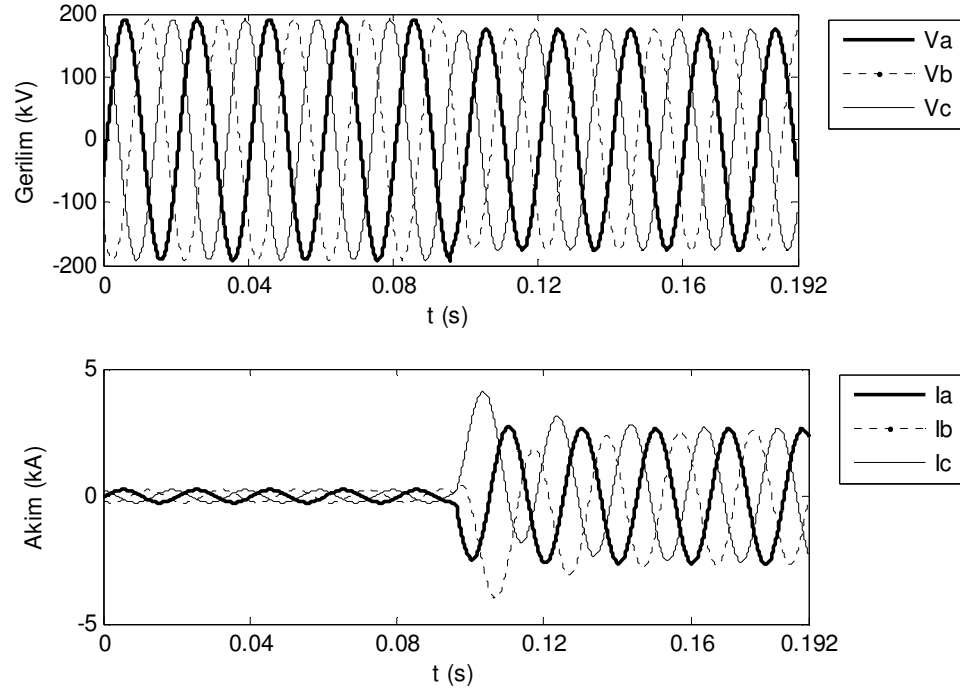
Şekil 3.31 Hat sonunda meydana gelen 2FTA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.



Şekil 3.32 Hat başında meydana gelen 3FSA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.



Şekil 3.33 Hattın orta noktasında meydana gelen 3FSA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.

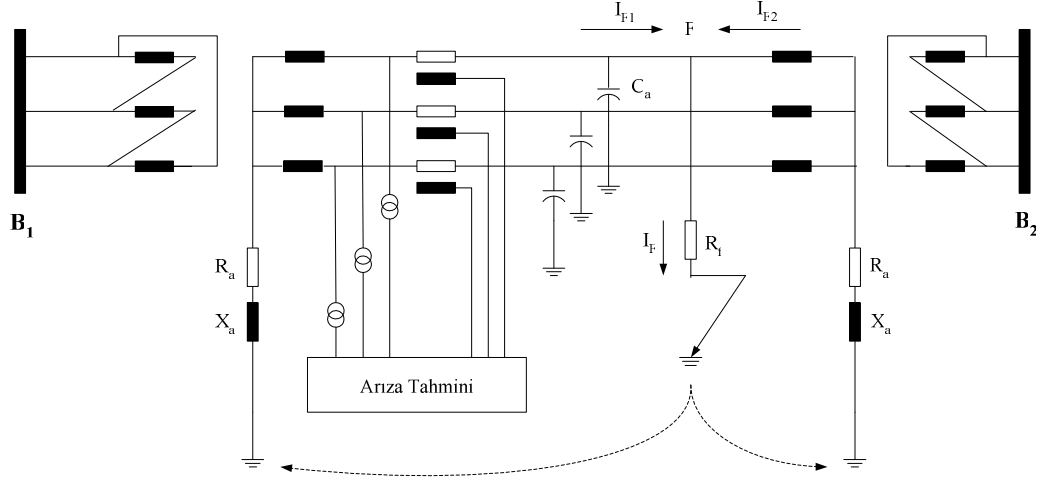


Şekil 3.34 Hat sonunda meydana gelen 3FSA için ATP benzetiminden elde edilen gerilim ve akımların değişimi.

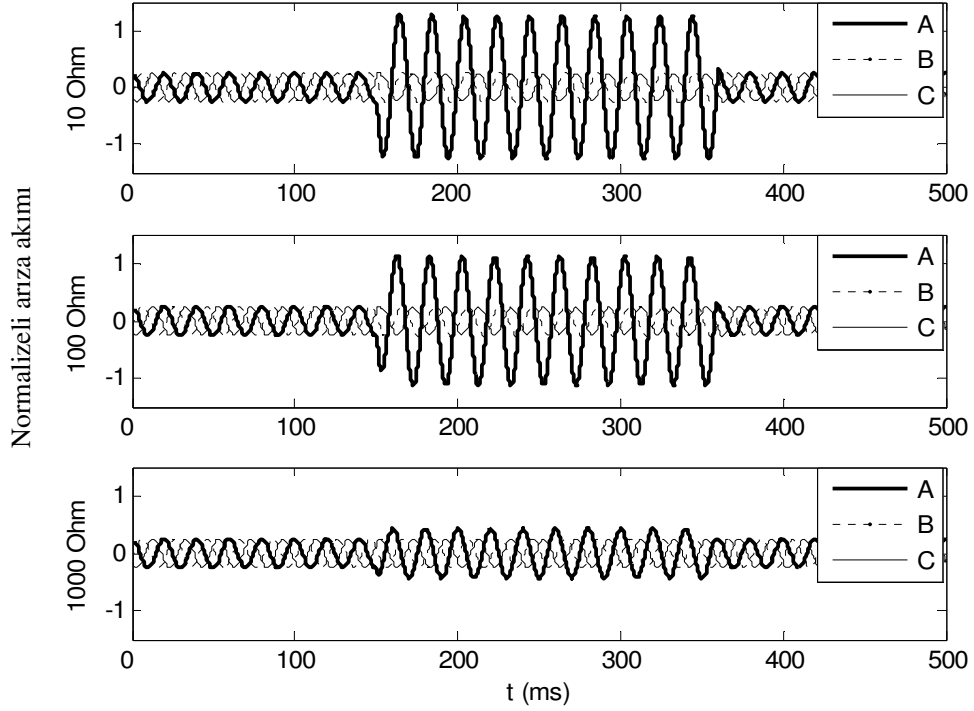
3.3.1. Arıza Direnci Değişiminin Etkisi

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, iletim hatlarında meydana gelen arızaların büyük çoğunluğunu toprak değmeli kısa devreler oluşturur. Kullanılan topraklama biçimi ve toprak değmesi esnasındaki geçiş direnci (R_f) koruma rölelerinin çalışmasını büyük ölçüde etkiler. Bunun başlıca nedeni, faz toprak kısa devresi sonucu oluşan akımın (I_F) topraklama empedansı ve arıza direnci üzerinden devresini tamamlamasıdır. Şekil 3.35'te görüldüğü gibi, F noktasında meydana gelen bir 1FTA'da oluşan kısa devre akımı arıza direnci üzerinden geçtikten sonra, iletim hattının her iki tarafında bulunan topraklama direnci (R_a) ve endüktansı (X_a) üzerinden devresini tamamlamaktadır. Kısa devre akımının büyüklüğü, bu direnç ve empedanslara bağlıdır. Dolayısıyla arıza tipi ve yerinin tespiti yapılırken, kullanılan röle algoritmasının arıza ve topraklama direncinden etkilenmemesi gerekir.

Şekil 3.22'de gösterilen ATP modelinde 10 ile 1000 Ohm arasında değişik direnç değerleri kullanılarak, arıza direncinin arıza tipi ve yerinin belirlenmesi uygulamalarına etkisi incelenmiştir. Şekil 3.36'da arıza direncinin sırasıyla 10, 100 ve 1000 Ohm olması durumunda meydana gelen 1FTA'da, her üç faza ait $[-1, 1]$ aralığında normalize edilmiş kısa devre akımlarının değişimleri gösterilmiştir. Arıza direnci değişiminin arıza tipi ve yerinin bulunması uygulamalarına etkisi daha sonraki bölümlerde verilmiştir.



Şekil 3.35 Her iki ucu topraklanmış bir iletim hattında kısa devre durumu ve arıza akımının izlediği yol.

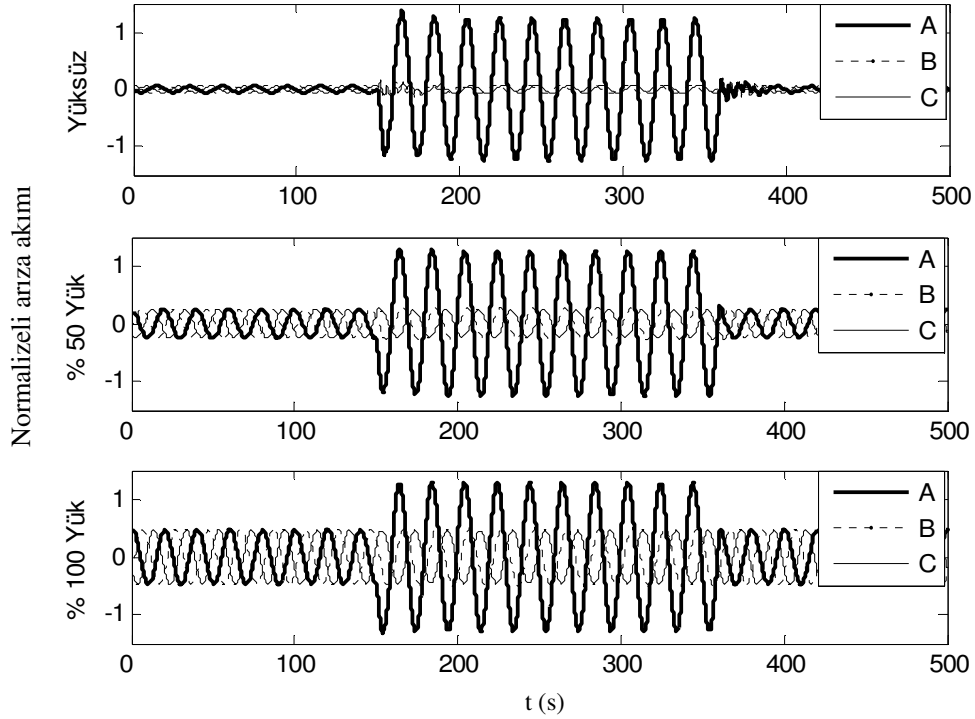


Şekil 3.36 Tek-faz toprak kısa devresinde arıza direnci ile faz akımlarının değişimi.

3.3.2. Yük Değişiminin Etkisi

Arıza tipi ve yerinin belirlenmesini etkileyen diğer bir faktör iletim hattından beslenen yükün değişimidir. Şekil 3.37’de iletim hattının 263. kilometresinde A fazında meydana gelen bir 1FTA’da sırasıyla yüksüz, mevcut yükün yarısının olması ve tam yüklü durumda, her üç faza ait $[-1, 1]$ aralığında normalize edilmiş kısa devre akımları görülmektedir. İletim hattının

farklı noktalarında meydana gelen kısa devrelerde sırasıyla yüksüz, 383 Ω ve 766 Ω yük olması durumları için arıza yerinin belirlenmesine ait uygulamalar daha sonraki bölümlerde verilmiştir.

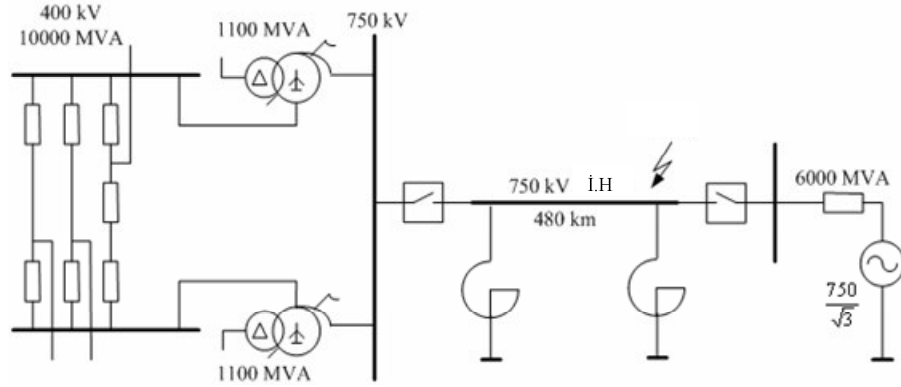


Şekil 3.37 Tek-faz toprak kısa devresinde farklı yükler ile faz akımlarının değişimi.

3.3.3. Çoklu Kaynak Etkisi

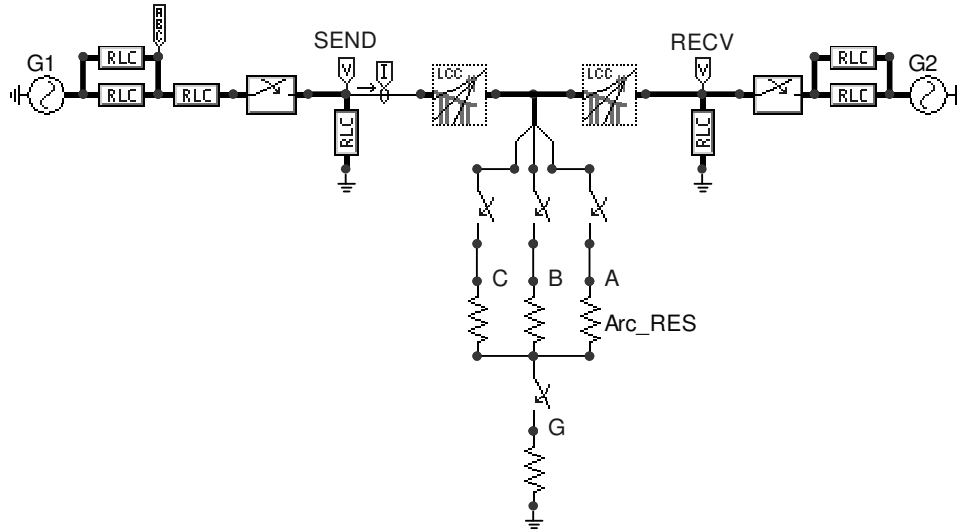
Birden fazla kaynaktan beslenen iletim hatlarındaki kısa devre arıza durumlarının incelenmesi için, çift taraftan beslenen 480 km uzunluğunda bir iletim hattı modellenmiştir. Şekil 3.38’de ATP ile benzetimi yapılan 480 km uzunluğunda, 750 kV’luk bir iletim hattının tek hat şeması görülmektedir.

Kapasitif özelliklerinden dolayı, enerji iletim hattının hat başı gerilimi ile hat sonu gerilimi hat uzunluğuna bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu farklılık, şönt reaktörlerle düzeltilmektedir. Benzetimi yapılan 750 kV’luk iletim hattının başında ve sonunda şönt reaktörler kullanılmıştır. Ayrıca fazlar arasındaki dengesiz kapasitif gerilim artışlarını dengelemek için transpozisyon (çaprazlama) işlemi yapılmıştır. Çaprazlama, faz sıralarının hat başı ve hat sonunda aynı olması için hat boyunca uygun mesafelerde 3 veya 3’ün katları sayısınca yapılır. İletim hattının ATP modeli Şekil 3.39’da görülmektedir [63].



Şekil 3.38 Çift kaynakla beslenen 750 kV'lık iletim hattı modeli.

Şekil 3.39'daki ATP modelinde gösterilen iletim hattının başında ve sonunda hattı besleyen 50 Hz'lik kaynakların Thevenin eşdeğerleri kullanılmıştır. Hat başındaki seri reaktans 400/750 kV'lık transformatörü temsil etmektedir. Hattın her iki tarafında bulunan şönt reaktörler doğrusal direnç ve endüktanslar ile elde edilmiştir. Arıza anında oluşan ark dirençleri sabit ve 1 Ohm değerinde seçilmiştir.



Şekil 3.39 750 kV'lık iletim hattının ATP modeli.

ATP ile benzetimi yapılan 750 kV'lık iletim hattı modelinde, 10 km mesafe aralıkları ile 1FTA, 2FA, 2FTA ve 3FSA oluşturulmuş, bu arızalara ait akım ve gerilimler bilgisayar ortamında kaydedilerek arıza tipi ve yerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

4. ARIZA SİNYALLERİNİN GEÇİCİ DURUM ÖZELLİKLERİNİN ÇIKARILMASI

Güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre arızaları üzerinde yapılan çalışmalar uzun yıllardan beri devam etmektedir. Meydana gelen bir arızanın etkilerini en aza indirmek ve arızayı mümkün olan en kısa zamanda tespit edip onarmak yapılan çalışmaların temel konusudur. Üç fazlı sistemlerde meydana gelen kısa devre arızaları birbirlerinden farklı özellikler taşırlar. Bu farklı özelliklerin doğru bir biçimde çıkarılması ve ayırt edilmesi arıza tiplerinin belirlenmesine imkan sağlar. Arıza tipinin belirlenmesi için öncelikle, meydana gelen arızanın algılanması ve ilgili koruma rölelerinin devreye girmesi gerekir. Kısa devre arızasının hangi faz veya fazlarda meydana geldiğinin bilinmesi, hem bakım ve onarım ekiplerinin işini hem de bir sonraki aşama olan arıza yerinin belirlenmesini büyük ölçüde kolaylaştırır.

Empedans ölçümlerini kullanan geleneksel koruma rölesi algoritmaları, güç sistemi yapısının değişmesi veya gürültü, harmonik, frekans değişimi gibi etkenlere yeterince duyarlı değildir [11]. Teknolojideki hızlı gelişmelere paralel olarak, koruma rölesi algoritmaları üzerinde yapılan çalışmalar da yön değiştirmiştir [4, 5]. Yeni sinyal işleme tekniklerinin geliştirilmesi ve özellikle son yıllarda hemen hemen bütün bilim alanlarında yaygın olarak kullanılmaya başlayan yapay zeka tekniklerinin avantajları, bilim adamlarını empedans ölçümleri yerine arıza akım ve gerilimlerinin geçici durum verilerini kullanan algoritmalar üzerinde çalışmaya yönlendirmiştir. Güç merkezlerine yerleştirilen gelişmiş dijital kaydediciler, arıza sonucu oluşan geçici durum verilerini kaydetmekte ve bu verilerin analizi ile meydana gelen arızalar hakkında bilgilere ulaşılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, arıza tiplerini belirlemek için her üç faza ait akım ve gerilim verileri kullanılmıştır. Bilgisayar ortamında kaydedilen akım ve gerilim bilgilerinin tamamının kullanılması sonucu büyük bir veri seti elde edilir. Bu verilerin büyük bir bölümü arıza geçici durum bilgilerini içermez. Dolayısıyla fazla miktardaki bu verileri kullanmak yerine, sadece arıza geçici durumlarını içeren bir veri setinin kullanılması, arıza durumlarına ait ayırt edici özelliklerin elde edilmesi için yeterli olacaktır. Kullanılacak veri sayısının azaltılması daha hızlı bir analiz yapılmasına da imkan sağlayacaktır.

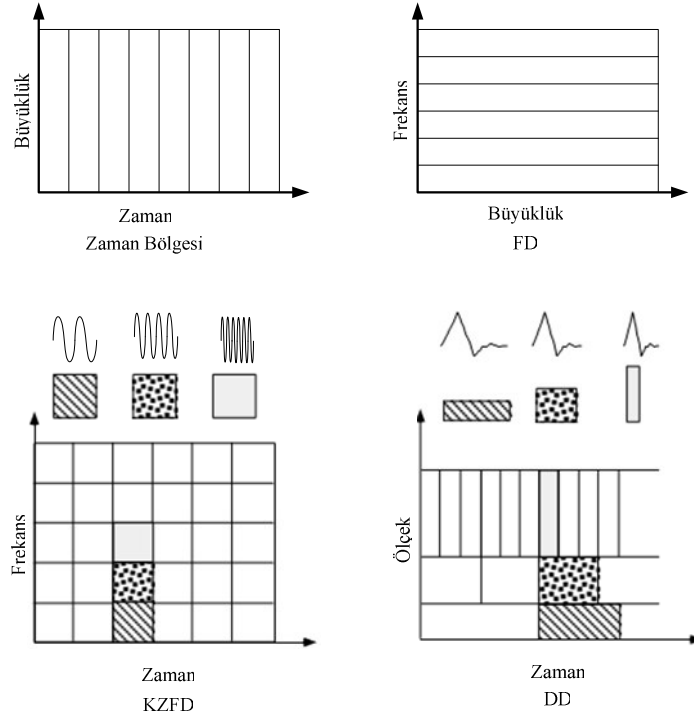
Arıza analizinde kullanılacak veri sayısının azaltılması için, sadece arıza anından önceki ve sonraki yarım periyotluk sinyal ele alınmıştır. Bir periyotluk bu sinyaller $[-1, 1]$ aralığında normalize edilmiştir. Sinyallere ait karakteristik özelliklerin elde edilebilmesi için DD yöntemi kullanılmıştır. DD analiziyle elde edilen veri sayısı sınıflandırma işlemi için oldukça fazladır. Veri sayısını indirmek için DD ile ayrıştırılan sinyallerin detay katsayılarının Entropileri hesaplanmıştır. Bu işlemlerden sonra elde edilen verilerin bir bölümü sınıflandırıcının eğitimi, geriye kalan bölümü ise testi için kullanılmıştır.

4.1. DD ile Geçici Durum Analizi

Arıza tipinin belirlenmesinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri, arıza geçici durumlarına ait akım ve gerilim verilerinin doğrudan doğruya kullanılamamasıdır. Fazla ve işlenmemiş verilerle sınıflandırma yapmak oldukça zordur. Karakteristik özellikleri çıkarılmamış veriler ile yapılan bir sınıflandırmanın başarısı da oldukça azdır. Bu yüzden arıza tipleri sınıflandırılırken kullanılacak verilerin ayırt edici özelliklerinin çıkarılması ve bu özelliklerden oluşan veri matrisi boyutlarının, sınıflandırıcının işlem kabiliyetini etkilemeyecek düzeyde olması gerekir.

Arıza geçici durumlarını incelemek için kullanılan ilk yöntemlerden biri Fourier Dönüşümü (FD)'dür [65]. FD, bir sinyalin birçok sinüs ve kosinüs serisinin toplamından oluştuğunu kabul eder. FD'nin en büyük dezavantajı, sinyalin sadece frekans cevabını verip zaman bilgisi içermemesidir. Bu yöntem ile bir sinyalde hangi frekans bileşenlerinin mevcut olduğu belirlenebilir, ancak bu sinyal bileşenlerinin hangi zaman aralığında olduğu hakkında bir bilgiye ulaşılamaz. Bilim adamları son yıllarda bu dezavantajın üstesinden gelmek için, sinyali aynı anda hem frekans hem de zaman bölgesinde analiz edebilecek bir yöntem bulma arayışına girmişlerdir. Her ne kadar FD yönteminin Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD), Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD) ve Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) gibi değişik türleri bulunsun da durağan olmayan sinyallerin analizinde yeterince etkili olamamıştır [66]. KZFD ile sinyal, zaman-frekans bölgesinde analiz edilebilse de sabit bant genişliğine sahip bir pencereleme tekniği kullanıldığı için yüksek frekans bileşenleri ile düşük frekans bileşenlerini aynı zaman aralığında detaylı olarak gösteremez [67].

Son yıllarda güç sistemleri analizinde ve bu tez çalışmasında da kullanılan DD yönteminin FD'ye göre önemli avantajları vardır. DD yöntemi, sinyali ayarlanabilir bir pencereleme tekniği kullanarak analiz etmektedir. Durağan olmayan sinyal, farklı ölçeklerde ayarlanabilir bir pencereleme yöntemi ile parça parça analiz edilerek zamana karşılık gelen frekans spektrumları hesaplanır. Bu işlem defalarca tekrarlandıktan sonra sinyalin zaman-frekans cevabı elde edilir. DD yüksek frekanslar için kısa pencereleme, alçak frekanslar için uzun pencereleme kullanır [66, 68]. DD yönteminde zaman-frekans gösterimi yerine, bir bakıma frekansın tersi olan zaman-ölçekleme gösteriminden yararlanır. DD yönteminde kullanılan büyük/küçük ölçekleme terimlerinin ne anlama geldiği hakkında bir örnek vermek gerekirse; büyük ölçekleme büyük bir fotoğrafı temsil ederken, küçük ölçekleme bu fotoğraftaki detayları gösterir. Büyük ölçekten küçük ölçeğe geçilmesi fotoğrafın bir büyüteç ile büyütülmesi anlamına gelir. Şekil 4.1'de yukarıda bahsedilen sinyal analiz yöntemlerinin iki boyutlu düzlemdeki gösterimleri verilmiştir.



Şekil 4.1 Sinyal analiz yöntemleri.

DD yöntemi, güç sistemlerinde ilk olarak 1994 yılında Robertson ve Ribeiro tarafından kullanılmıştır. DD yöntemi yaklaşık 20-25 yıllık bir geçmişe sahiptir. Günümüze kadar DD yöntemi hakkında birçok kitap ve bilimsel makale yazılmıştır. DD yöntemiyle ilgili geniş bilgilere [69-76] numaralı referanslardan ulaşılabilir. Güç sistemlerinde koruma alanında yapılan çalışmalar, generatör ve transformatör arızalarının algılanması ve belirlenmesi, iletim hattı arızalarının algılanması, arıza tiplerinin sınıflandırılması ve arıza yerlerinin bulunması gibi konuları içermektedir [68]. Güç sistemlerinde meydana gelen geçici durumların büyük bir bölümünü de kısa devre arızaları oluşturduğu için, DD yönteminin arıza analizindeki kullanım oranının oldukça yüksek olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. DD yöntemi, güç sistemleri uygulamalarının yanı sıra astronomi, görüntü işleme, nükleer enerji, deprem tahmini, radar, optik, tıp ve daha birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

4.1.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü

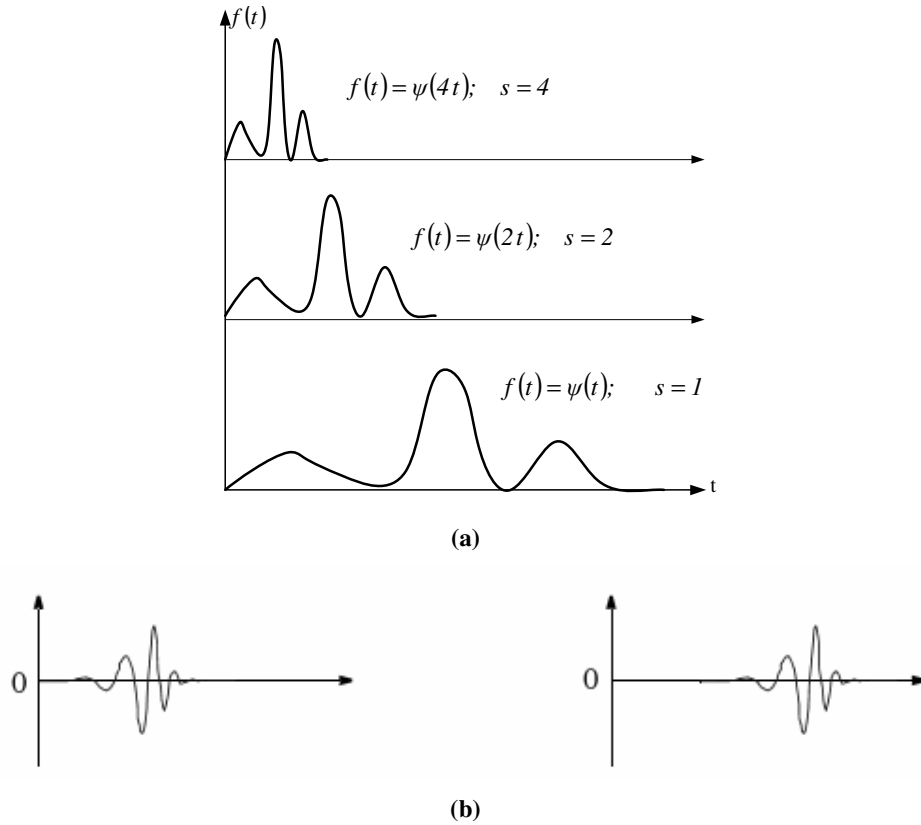
Sürekli Dalgacık Dönüşümü (SDD), FD'ye benzer bir yapıya sahiptir. SDD'yi FD'den ayıran fark, FD incelenen sinyalin farklı frekanslardaki sinüs ve kosinüs bileşenlerini toplarken, SDD sinyalin farklı ölçeklemelere (sıkıştırma ya da uzatma) sahip ötelenmiş dalgacıklardan oluştuğunu kabul eder [77]. SDD matematiksel olarak,

$$SDD(s, \tau) = \int f(t) \psi_{s, \tau}^*(t) dt \quad (4.1)$$

ifade edilir. Buradaki $\psi_{s, \tau}(t)$ ana dalgacık (AD) olarak adlandırılır [77-79]. Ana dalgacığın alt indisi olarak gösterilen τ ifadesi ise öteleme parametresidir. Dolayısıyla SDD, s ve τ 'nin bir fonksiyonudur. AD formülasyonu,

$$\psi_{s, \tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi \frac{t - \tau}{s} \quad (4.2)$$

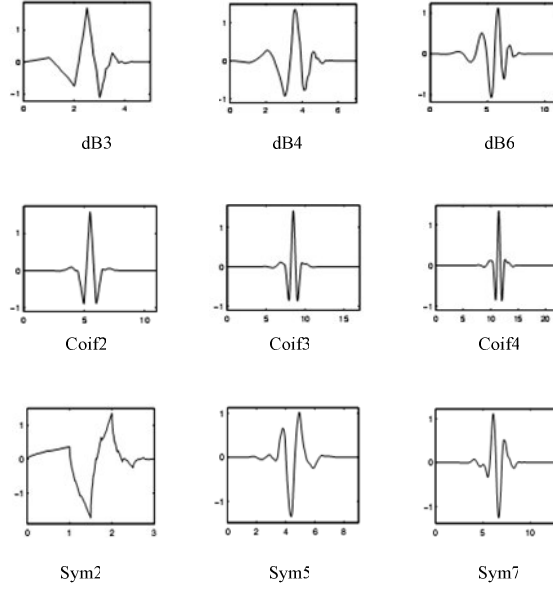
gibi yazılır. Şekil 4.2 (a) ve (b)'de farklı ölçeklere sahip dalgacıklar ve bu dalgacıkların zaman ekseninde sinyal boyunca ötelenmiş hali gösterilmiştir. Buradaki s , ölçekleme katsayısı olarak adlandırılır. Ölçekleme faktörünün küçük olması dalgacığın daha fazla sıkıştırılmış olduğu anlamına gelir.



Şekil 4.2 (a) Farklı ölçeklemelere sahip dalgacıklar; (b) Zaman ekseninde ötelenmiş dalgacıklar.

Literatürde kullanılan birçok ana dalgacık vardır. Bazı önemli dalgacık aileleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir. SDD, sinyali tüm zaman aralığı boyunca farklı ölçekleme faktörlerine

sahip ve ötelenen bir ana dalgacık ile tarar. Bu işlem ölçekleme faktörü değiştirilerek tekrarlanır. SDD'nin kullanımını zorlaştıran üç ana sebep vardır. Bunlardan birincisi, hesaplama fazlalığıdır. SDD, incelenen sinyal boyunca sürekli ötelenen ve ölçeklenebilen bir fonksiyon ve bu iki kavram arasındaki ilişkinin hesaplanmasıyla elde edilir. Bu işlemlerin sonucunda çok sayıda dalgacık katsayısı elde edilir. Çoğu uygulamada dalgacık katsayılarının fazla olması arzu edilen bir durum değildir.



Şekil 4.3 Bazı önemli dalgacık aileleri.

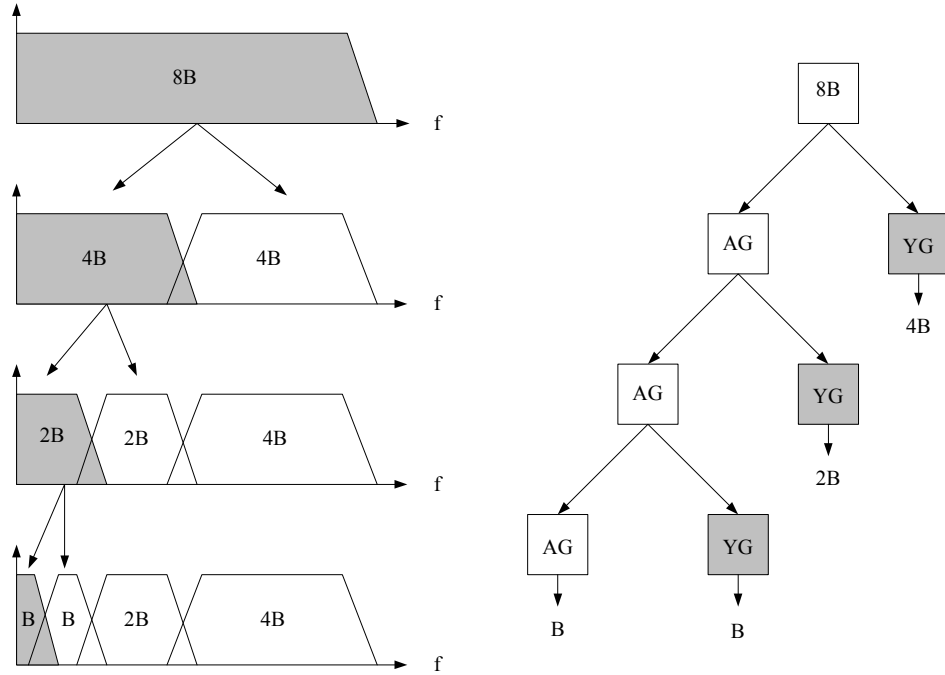
SDD'de karşılaşılan diğer bir problem, hesaplama zorluğu olmasa bile sonsuz sayıda dalgacığın olmasıdır. Dalgacık sayısının mümkün olduğu kadar az olması istenen bir durumdur. SDD'de karşılaşılan üçüncü sorun ise analitik çözümün olmamasıdır. DD genellikle sayısal yöntemler ile yapılır. Bu da hızlı hesaplanabilen bir dalgacık analizini zorunlu kılmaktadır. SDD'nin yukarıda bahsedilen olumsuzlukları ayrık dalgacıklar kullanılarak giderilmiştir. Ayrık dalgacıklar sadece ayrık adımlarda ölçeklenir ve dönüştürülür [73]. Ayrık dönüşüm denk. (4.2)'yi aşağıdaki gibi ayrıklaştırarak sağlanır:

$$\psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{s_0^j}} \psi\left(\frac{t - k\tau_0 s_0^j}{s_0^j}\right) \quad (4.3)$$

Buradaki j ve k birer tamsayı, $s_0 > 0$ genleşme katsayısı ve τ_0 genleşme katsayısına bağlı öteleme faktörüdür [69].

4.1.2. Alt Bant Kodlaması

DD bir filtre grubu olarak nitelendirilirse, bir sinyalin DD'si sinyalin bir filtre grubundan geçirilmesi anlamına gelir. Sinyalin bir filtre grubundan geçirilmesi yeni bir kavram değildir ve alt bant kodlaması olarak bilinir [69]. Alt bant kodlamasında kullanılacak süzgeç grupları farklı biçimlerde oluşturulabilir. Sinyal spektrumunu birçok bant geçiren süzgeç ile frekans bantlarına ayırmak bunlardan biridir. Bu yöntem ile bant aralıkları istenildiği gibi ayarlanabilir. Ancak bu işlem için her bir süzgecin ayrı ayrı tasarlanması gerekir ve bu da çok fazla zaman alır. Analiz için kullanılabilecek diğer bir yol, sinyal spektrumunu biri alçak-geçiren diğeri yüksek-geçiren olmak üzere iki süzgeç ile eşit iki parçaya bölmektir. Alçak geçiren süzgeç sinyale ait yaklaşıkları verirken, yüksek geçiren süzgeç, sinyale ait detayları verir. Bununla birlikte sinyalin yaklaşıkları halen sinyale ait detay bileşenleri içermektedir. Bu yüzden yaklaşıklar yine iki süzgeç yardımıyla ayrıştırılır ve bu işlem her defasında tekrarlanır. Bant sayısı genellikle veri miktarı veya hesaplama yeteneğine göre sonlandırılır. Şekil 4.4'te sinyal spektrumunun tekrarlanan bir süzgeç grubu ile yaklaşık ve detaylarına ayrıştırılması görülmektedir. Bu şekilde yapılan ayrışımın en büyük avantajı, yalnızca iki süzgeç tasarlanmasıdır. Dezavantajı ise sinyal spektrum kapsamının sabit olmasıdır



Şekil 4.4 Sinyal spektrumunun iki süzgeç yardımı ile ayrıştırılması.

4.1.3. Ayrık Dalgacık Dönüşümü

Çoğu uygulamada ilgilenilen sinyal belirli bir periyotta örneklenir. İncelenecek olan ayrık-zaman sinyalinin ADD'sini elde edebilmek için DD'yi de ayrıklaştırmak gerekir. Yukarıda bahsedilen ayrık dalgacık ifadesi, zaman bölgesinde ayrık olma anlamına gelmemektedir. Ayrık dalgacık ismi, ölçekleme ve öteleme adımlarının ayrık olmasından dolayı verilmiştir. Ölçekleme fonksiyonu;

$$\varphi(t) = \sum_{j,k} \gamma(j,k) \psi_{j,k}(t) \quad (4.4)$$

olarak elde edilir. Ölçekleme fonksiyonu spektrumuna bir dalgacık spektrumu eklenirse, öncekinin iki katı genişliğinde spektruma sahip yeni bir ölçek fonksiyonu elde edilir. Elde edilen yeni fonksiyon bir önceki fonksiyonu da kapsadığı için aynı özellikleri taşır. Bu işlem çoklu çözünürlük formülasyonu olarak bilinir ve (4.5)'deki gibi yazılır [66, 71].

$$\varphi(2^j t) = \sum_k h_{j+1}(k) \varphi(2^{j+1} t - k) \quad (4.5)$$

Çoklu çözünürlük formülasyonu, belirli bir ölçekteki ölçekleme fonksiyonunun ötelenen ve öncekinden daha küçük bir ölçeğe sahip ölçekleme fonksiyonu ile ilişkili olduğu anlamına gelir. Ölçekleme ne kadar küçük olursa, elde edilen detaylar da o kadar fazla olur [80]. İlk ölçekleme fonksiyonu bir dalgacık seti ile değiştirilirse, bu setteki dalgacıklar da bir sonraki ölçekteki ötelenmiş ölçekleme fonksiyonuna bağlı olarak;

$$\psi(2^j t) = \sum_k g_{j+1}(k) \varphi(2^{j+1} t - k) \quad (4.6)$$

yazılır. İncelenen sinyal $f(t)$, $j-1$ ölçeğine kadar genişleştirilen ve ötelenen bir dalgacığa bağlı olarak ifade edilebileceği için, $f(t)$ aynı zamanda j ölçeğindeki ötelenen bir ölçekleme fonksiyonuna bağlı olarak;

$$f(t) = \sum_k \lambda_j(k) \varphi(2^j t - k) \quad (4.7)$$

elde edilir. Burada sadece ölçekleme fonksiyonunun ayrık olarak genişleme ve ötelenmesinden

bahsedilebilir. Bu eşitlik $j-1$ adımlı bir ölçekle ifade edilirse ve bir dalgacık ilave edilirse;

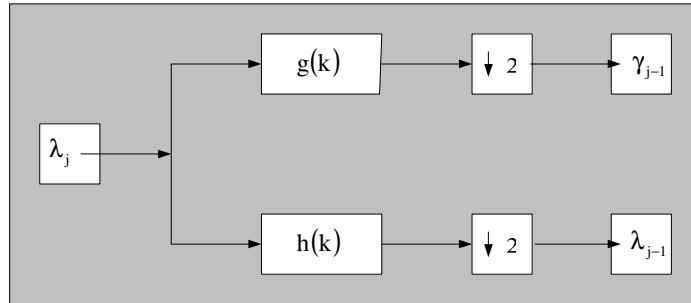
$$f(t) = \sum_k \lambda_{j-1}(k) \phi(2^{j-1}t - k) + \sum_k \gamma_{j-1}(k) \psi(2^{j-1}t - k) \quad (4.8)$$

eşitliği elde edilir. Ölçekleme fonksiyonu $\phi_{j,k}(t)$ ve dalgacıklar $\psi_{j,k}(t)$ ortonormal ise $\lambda_{j-1}(k)$ ve $\gamma_{j-1}(k)$ katsayıları aşağıdaki gibi bir iç çarpım ile [80, 81];

$$\begin{aligned} \lambda_{j-1}(k) &= \langle f(t), \phi_{j,k}(t) \rangle \\ \gamma_{j-1}(k) &= \langle f(t), \psi_{j,k}(t) \rangle \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned} \lambda_{j-1}(k) &= \sum_m h(m - 2k) \lambda_j(m) \\ \gamma_{j-1}(k) &= \sum_m g(m - 2k) \gamma_j(m) \end{aligned} \quad (4.10)$$

yazılır. Yukarıdaki eşitlikte görüldüğü gibi, herhangi bir ölçekteki ölçekleme ve dalgacık fonksiyonu katsayıları λ ve γ , bir önceki ölçekteki katsayıların ağırlıklı toplamıdır [82]. $\lambda_j(k)$ katsayılarının ayrıştırılmış sinyal spektrumunun alçak geçiren bandından geldiği bilindiği için, eşitlikteki $h(k)$ alçak geçiren süzgeç görevi görmektedir. Aynı zamanda $\gamma_j(k)$ katsayılarının spektrumun yüksek geçiren bandından gelmesi, eşitlikteki $g(k)$ ağırlığının yüksek geçiren süzgeç görevini gördüğü anlamını taşır [80]. Daha önceki eşitliklerden anlaşılacağı üzere $h(k)$ ölçekleme fonksiyonunu, $g(k)$ dalgacık fonksiyonunu içermektedir. Denk. (4.10)'daki $\lambda_j(k)$ ADD'de genellikle Yaklaşık Katsayıları (YK), $\gamma_j(k)$ ise Detay Katsayıları (DK) olarak adlandırılırlar. Şekil 4.5'te sinyal yaklaşımının yeniden detay ve yaklaşıklarına ayrıştırılması görülmektedir.



Şekil 4.5 Sinyal yaklaşımının yeniden detay ve yaklaşıklarına ayrıştırılması.

4.1.4. ADD ile Kısa Devre Arıza Sinyallerinin Analizi

Güç sistemleri analizinde en çok kullanılan DD yöntemi ADD'dir [83]. ADD, sinyal boyunca ayrıık katsayılarla ölçeklenen ve ötelenen bir dalgacık yardımıyla, sinyale ait yüksek frekans bileşenlerini ek bir süzgeç kullanımını gerektirmeden belirleyebilmektedir. Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi ADD, frekans spektrumlarını ayrıştırarak sinyale ait detay ve yaklaşık katsayılarını elde eden bir süzgeç grubu gibi davranır. ADD ile analiz yapılırken, ilk olarak orijinal sinyal bir yüksek ve alçak geçiren süzgeçten geçirilir. Daha sonra her iki süzgecin çıkışları ayrıştırılarak, birinci seviyedeki yaklaşık (A1) ve detay (D1) katsayıları elde edilir. Yaklaşık katsayıları, bir önceki işlemin tekrarı için ikinci adıma gönderilir. Bu işlemler tekrarlanarak, istenilen seviyeye kadar ayrışma devam edilir.

Üç seviyeli bir ADD için, frekansı F olan orijinal sinyalin birinci seviyedeki ayrışımından elde edilen D1 detay katsayılarının frekansı $F/4$ ile $F/2$ arasındadır. D2 katsayılarının yakaladığı bilgi frekans bandının $F/8$ ile $F/4$ 'ü, D3 detay katsayılarının yakaladığı bilgi $F/16$ ile $F/8$ 'i ve A3 yaklaşık katsayılarının yakaladığı bilgi ise geriye kalan 0 ile $F/16$ 'sı arasındadır. ADD ile sinyal analizi yapılırken istenen frekans aralığının bilinmesi, yapılacak olan ayrışımın kaçınıcı seviyede durdurulması gerektiği konusunda bilgi sahibi olunmasını sağlar. Örnekleme frekansının yüksek olması sinyal hakkında daha detaylı bilgi verirken, veri sayısının fazla olması ayrışım seviyesinin artmasına neden olur. Bu durum büyük bir hesaplama yükü doğururken, aynı zamanda özellikle bu katsayılar sınıflandırmada kullanılacağı zaman fazla sayıda giriş verisi ortaya çıkar. ADD'nin hesaplama hızını arttırmak için örnekleme frekansının makul bir seviyede tutulması gerekir.

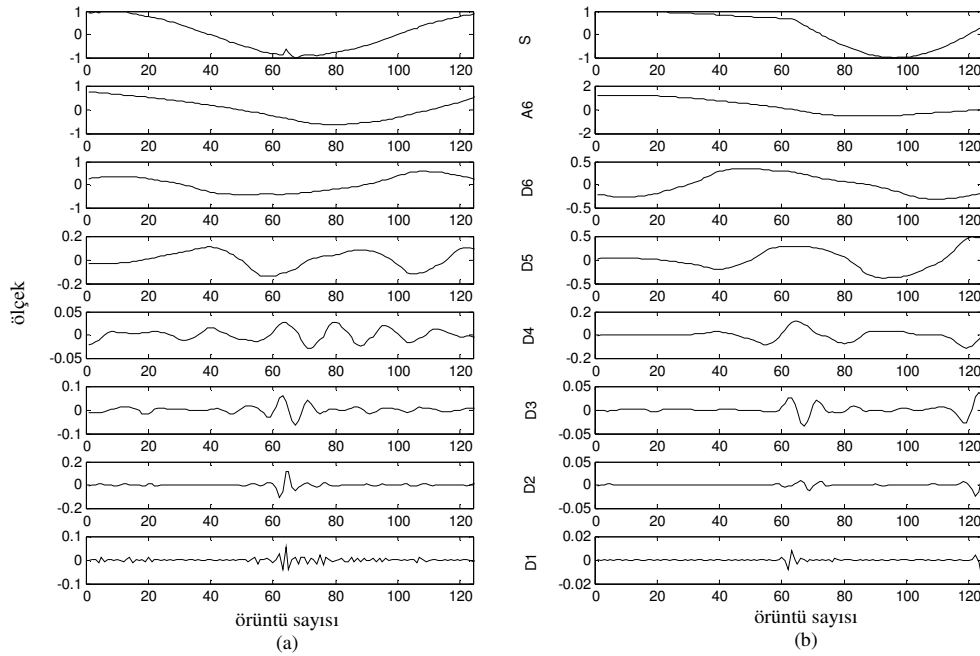
Bu tez çalışmasında, kısa devre arıza tiplerinin belirlenmesi için prototip güç sistemi modelinde ve ATP'de benzetimleri yapılan 1FTA, 2FA, 2FTA ve 3FSA durumlarına ait akım ve gerilim sinyallerine ADD yöntemi uygulanarak, sınıflandırmada kullanılacak ayırt edici özellikleri elde edilmiştir. ADD analizinde kullanılacak sinyaller, ayrışımın önce $[-1, 1]$ aralığında normalize edilmiştir. ADD analizinde, güç sistemlerinde arıza tespiti, yer tahmini ve sınıflandırma gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan Daubechies (dB4) dalgacık ailesi kullanılmıştır [80]. Sinyallere ait örnekleme frekansı 6200 Hz olduğu için 6 seviyeli ayrışım yapılmıştır. A6 yaklaşık katsayıları ve D6, D5, D4, D3, D2 ve D1 detay katsayıları sırasıyla; 0-48.437 Hz, 48.437-96.875 Hz, 96.875-193.75 Hz, 193.75-387.5 Hz, 387.5-775 Hz, 775-1150 Hz ve 1550-3100 Hz frekans bant aralıklarına karşılık gelir.

Kısa devre arıza sinyallerinin ADD ile analizi yapılırken, yarım periyodu arıza anından önce ve yarım periyodu da arıza anından sonra olmak üzere toplam bir periyotluk (124 adet veri) sinyal verileri kullanılmıştır. Böylece bir arızalı sinyale ait toplam 19957 adet veriyi

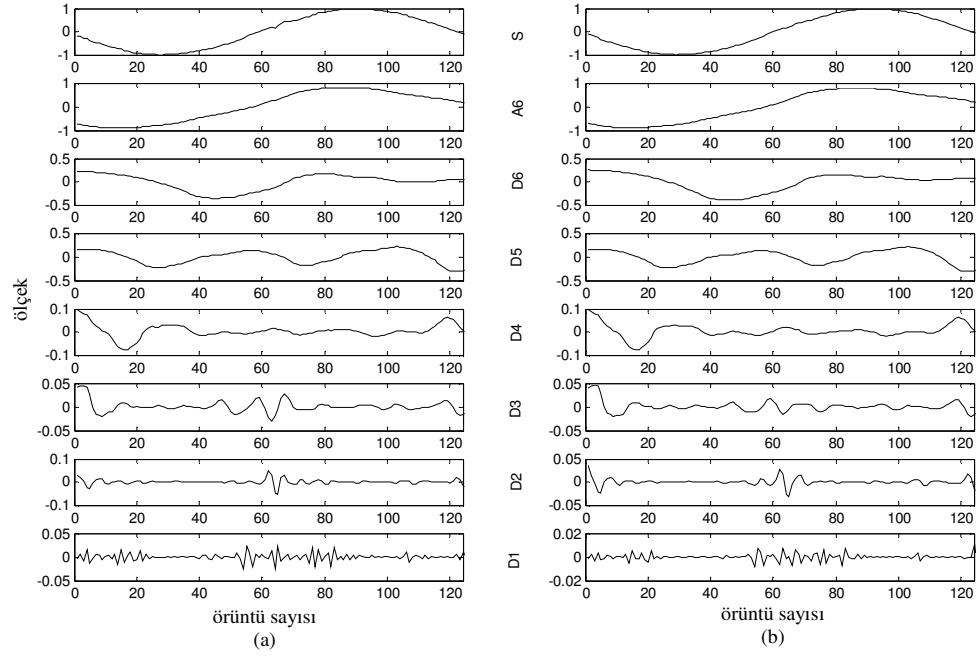
kullanmadan, hem sağlam durumu hem de arıza anındaki geçici durumu içeren bir periyotluk sinyalle, kısa devre arızalarına ait ayırt edici özellikler çıkarılmıştır. ADD ile analizi yapılan sinyal verilerinin az olması, analiz yapılırken geçen süreyi de kısaltmıştır.

ADD ile 6 seviyeli bir ayrışım yapılması, kullanılan veri sayısı ve buna bağlı olarak örnekleme frekansı ile ilişkilidir. Daha önce de belirtildiği gibi, ADD analizinde her iterasyon sonucu alçak geçiren süzgecin (yaklaşıklar) frekans spektrumu ikiye bölünmektedir. Altıncı seviyede A6 yaklaşık katsayıları 0-48.437 Hz, D6 detay katsayıları 48.437-96.875 Hz frekans bant aralığına karşılık gelmektedir. İşletme frekansı 50 Hz olduğundan, 6 seviyeli bir ayrışım sinyali analiz etmek için yeterlidir.

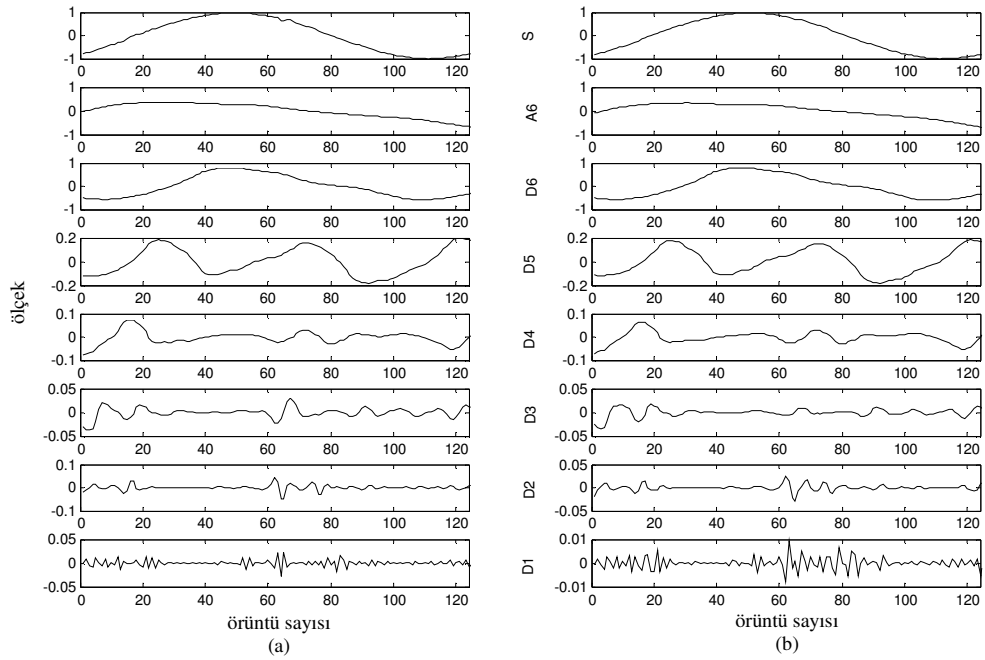
Bu tez çalışmasında, arıza tiplerini belirlemek için ADD analizi ile elde edilen detay katsayıları kullanılmıştır. ADD ayrışımından elde edilen yaklaşık katsayıları alçak frekans bileşenlerini içerdikleri için, arıza durumlarına ait ayırt edici geçici durum bilgilerini içermezler. Bu yüzden yaklaşık katsayıları, sınıflandırma ve tahmin uygulamalarında kullanılmamıştır. Şekil 4.6-4.17’de, kısa devre arıza tipleri için yapılan ADD ayrışımından sonra her üç fazın bir periyotluk sinyallerine ait, yeniden oluşturulmuş detay ve yaklaşık katsayıları görülmektedir.



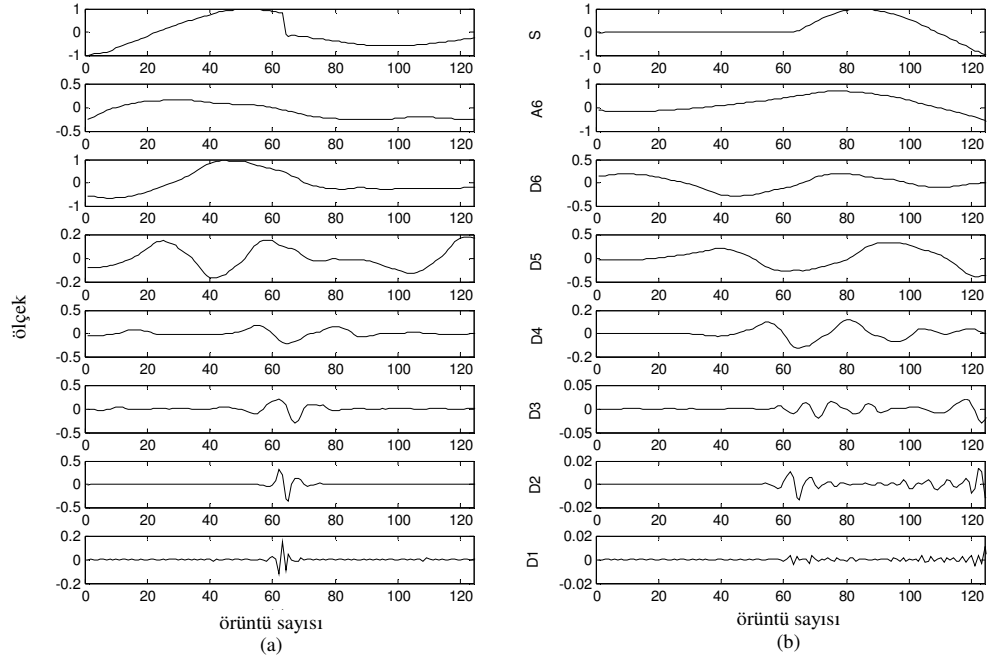
Şekil 4.6 Tek-faz toprak arızasında arızalı A fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.



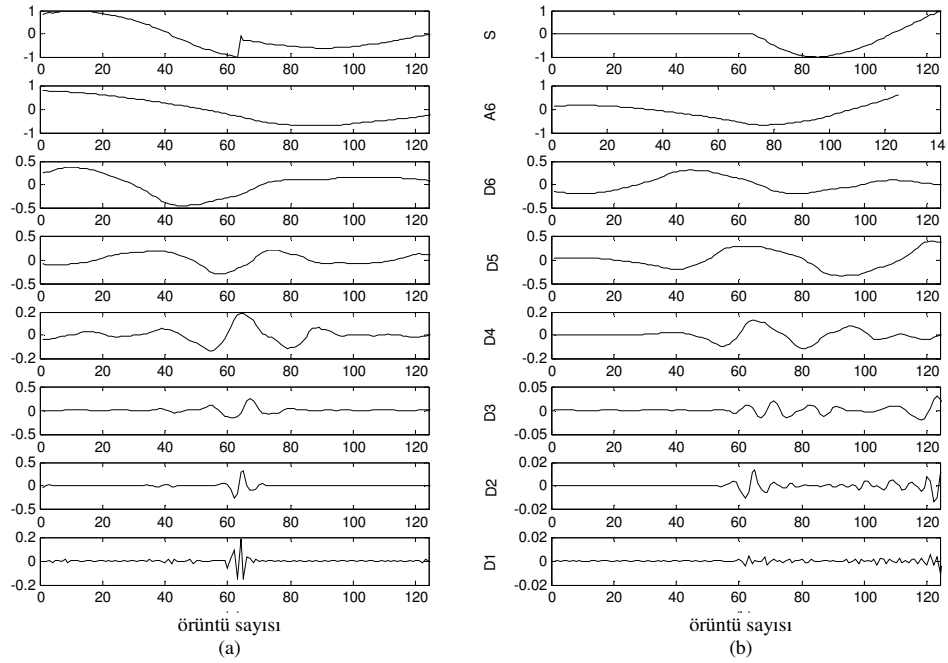
Şekil 4.7 Tek-faz toprak arızasında sağlam B fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.



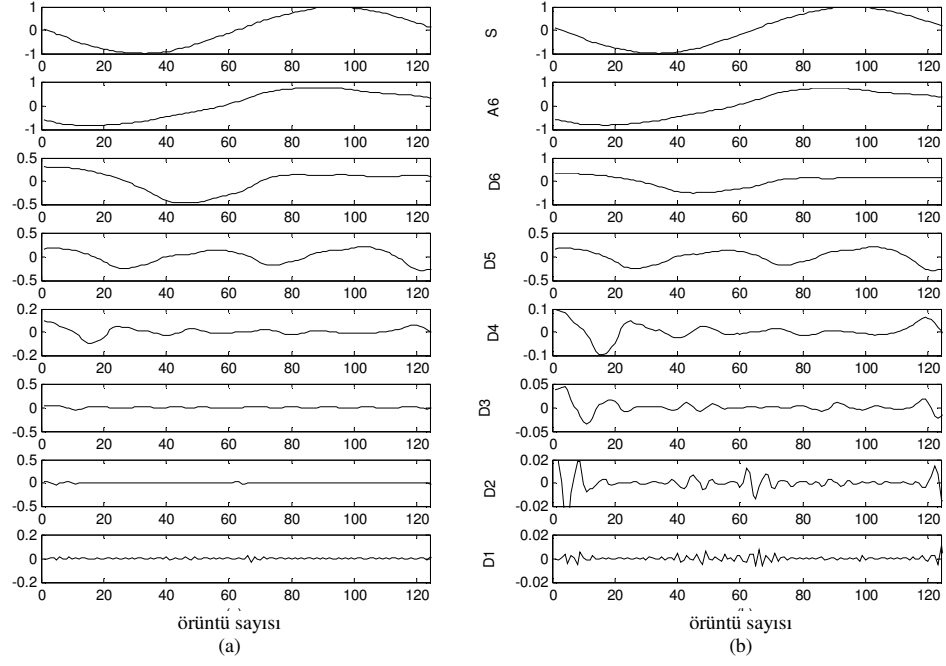
Şekil 4.8 Tek-faz toprak arızasında sağlam C fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.



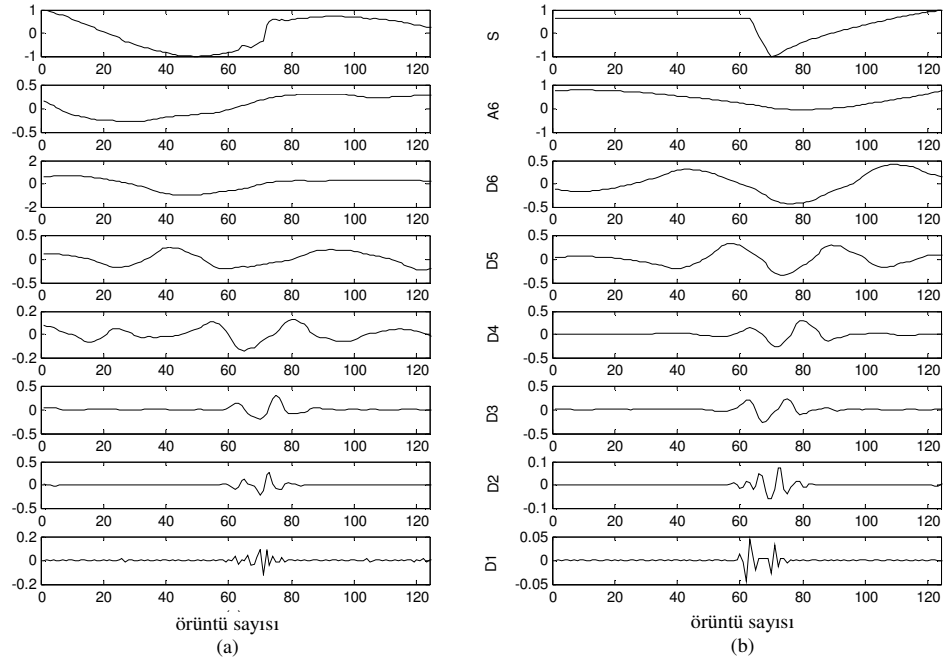
Şekil 4.9 İki-faz arızasında arızalı A fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.



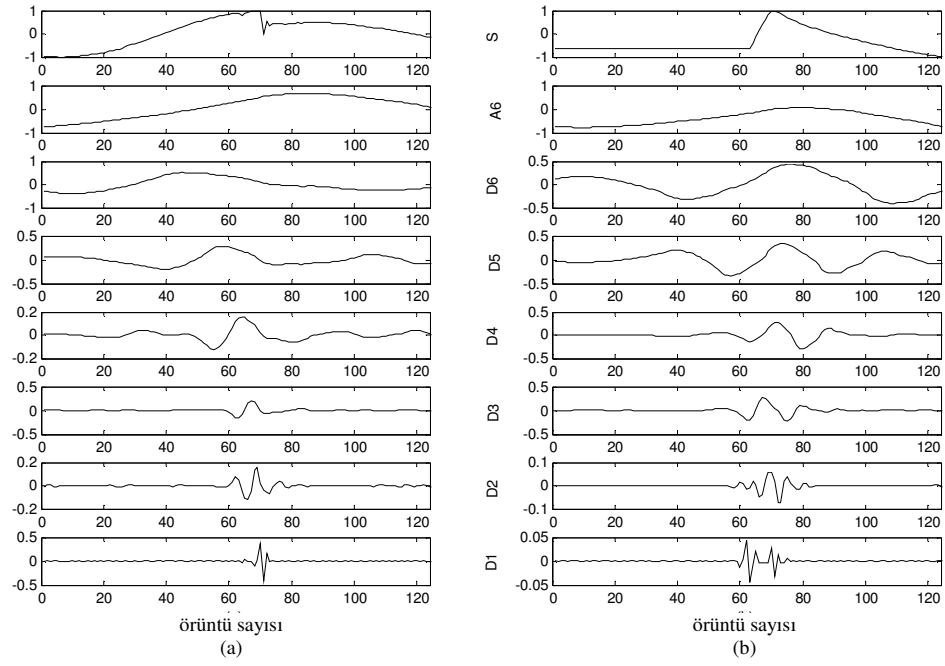
Şekil 4.10 İki-faz arızasında arızalı B fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.



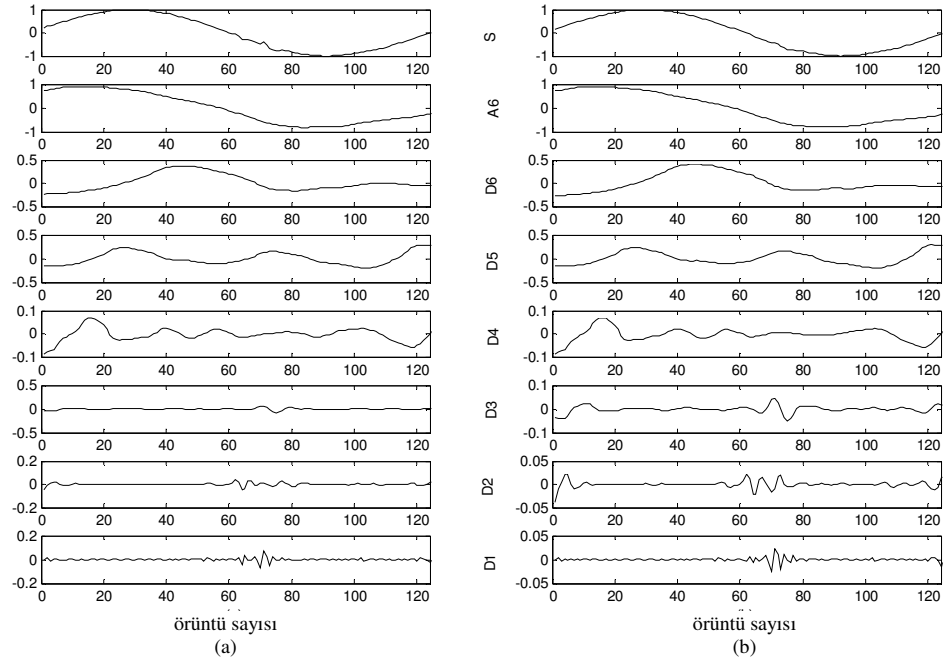
Şekil 4.11 İki-faz arızasında sağlam C fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.



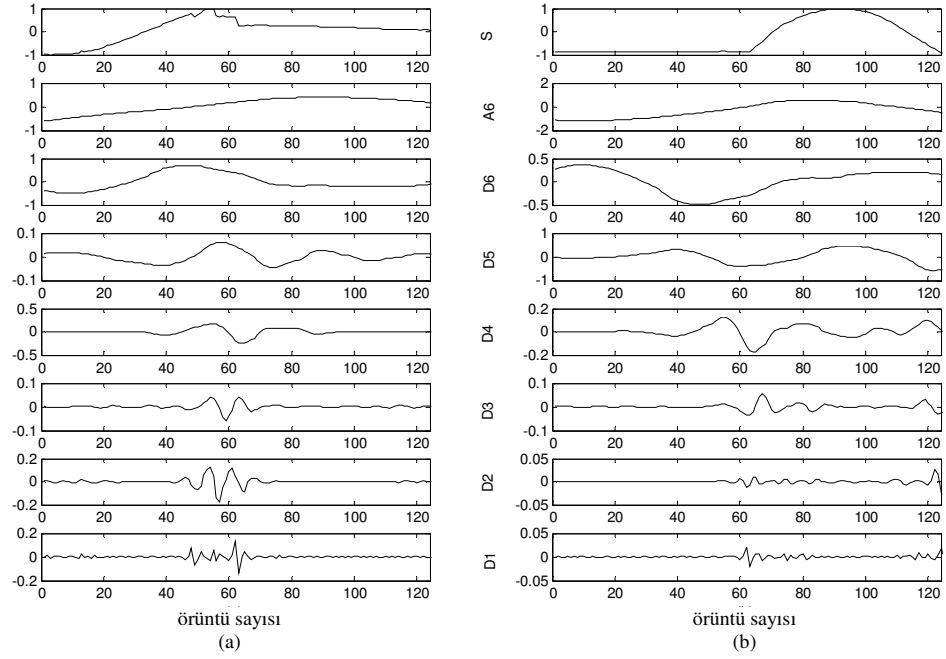
Şekil 4.12 İki-faz toprak arızasında arızalı A fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.



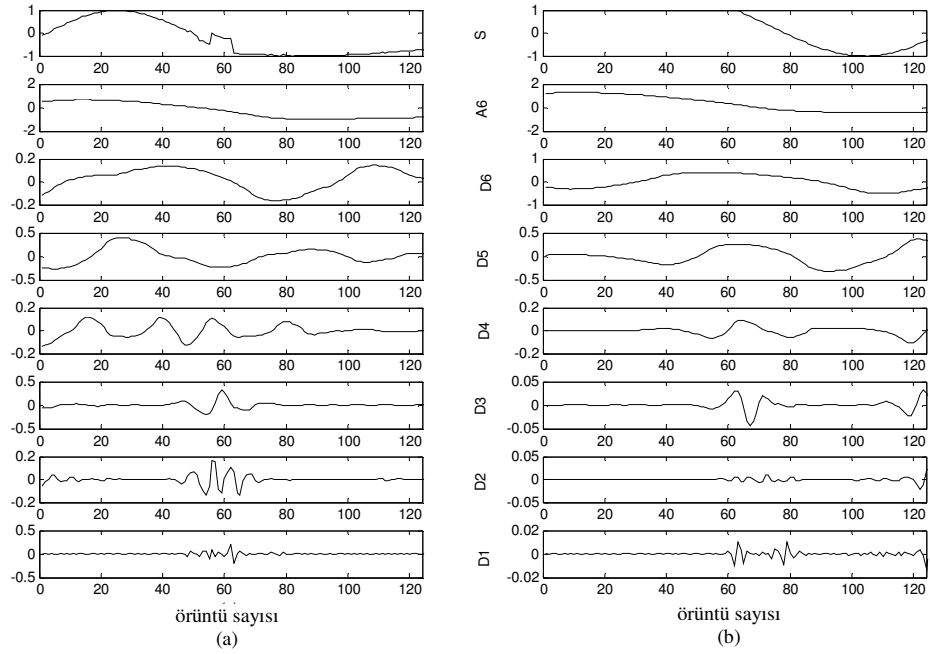
Şekil 4.13 İki-faz toprak arızasında arızalı B fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.



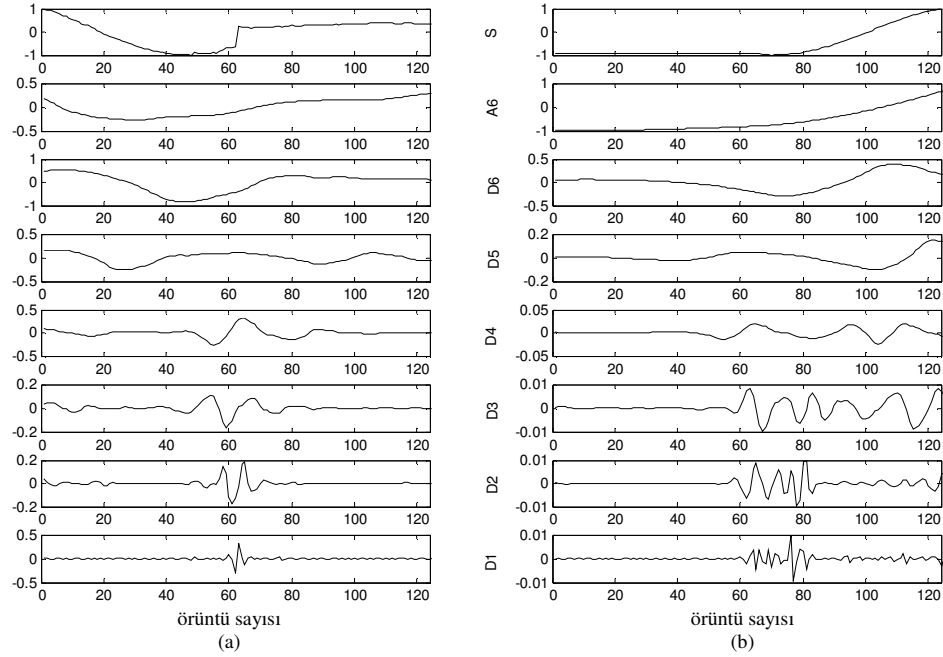
Şekil 4.14 İki-faz toprak arızasında sağlam C fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.



Şekil 4.15 Üç-faz toprak arızasında arızalı A fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.



Şekil 4.16 Üç-faz toprak arızasında arızalı B fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.



Şekil 4.17 Üç-faz toprak arızasında arızalı C fazının ADD analizi, (a) gerilim sinyali, (b) akım sinyali.

Altı seviyeli ADD analizinde, ilk üç seviyedeki detay katsayılarının (D1, D2, D3) ayırt edici olduğu görülmektedir. Dolayısıyla 3 seviyeli bir ADD analizi, arıza tipi belirlemede yeterli olacaktır. Ayrıca 3 seviyeli ayrışım, aşırı sayıda veri üretimini de önleyecek ve bu da arıza tipi sınıflandırma ve yer tahmini aşamalarında kolaylık sağlayacaktır. Sınıflandırma ve tahmin uygulamalarında, üç faz gerilim ve üç faz akım sinyallerinin özellikleri birlikte kullanılacağı için 6 seviyeli bir ayrışımından her bir faz sinyali için 12 (6 gerilim, 6 akım), üç faz için ise 36 detay elde edilir. Oysa 3 seviyeli bir ADD ayrışımından, üç faz için toplam 18 detay elde edilir. Yukarıda verilen ADD analizi şekillerine bakıldığında, arızalı fazlara ait akım ve gerilim sinyallerinin ilk üç seviyedeki ADD detay katsayılarının, sağlam fazlara göre daha fazla yüksek frekans bileşenlerine sahip oldukları görülmektedir. Bu farklılık, arıza sınıflandırma işleminde kullanılacak en önemli ayırt edici özelliktir.

4.1.5. Dalgacık Entropisi

Entropi, bir sistemin düzenliliğini ölçmek için yararlanılan ve işaret işlemede ilk olarak Shannon tarafından kullanılmış bir terimdir [84, 85]. Dalgacık entropi önermesi ise ilk olarak Burge tarafından yapılan bir çalışmada kullanılmıştır [86]. Entropi hesaplama tekniği, durağan olmayan bir işaretin düzensizlik derecesini ölçmek ve işaretin içerdiği bilginin ortalama miktarını ölçmek için uygun bir yöntemdir [77, 84, 85]. Yaygın olarak kullanılan birçok entropi

hesaplama yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, Shannon, Norm, Eşik, Logaritmik Enerji ve Sure metodlarıdır [77]. Dalgacık entropisi, $E(0) = 0$ gibi toplamsal bir değer fonksiyonu olmalıdır [87];

$$E(s) = \sum_i E(s_i) \quad (4.11)$$

Bir sinyalin / p normunda ve $p \geq 1$ için entropisi;

$$E(s_i) = |s_i|^p \quad (4.12)$$

olarak yazılır ve

$$E(s) = \sum_i |s_i|^p \quad (4.13)$$

elde edilir. Shannon entropisi;

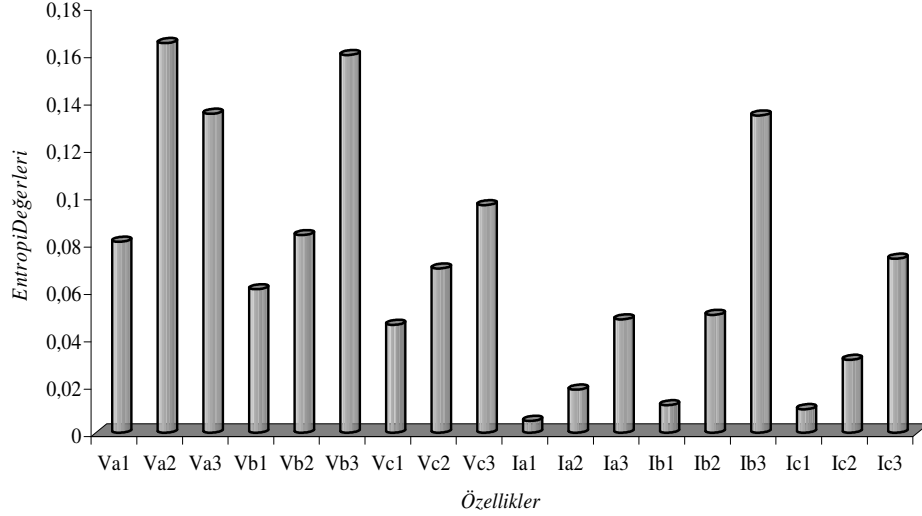
$$E(s) = \sum_i s_i^2 \log(s_i^2) \quad (4.14)$$

olarak ifade edilir. Buradaki s_i , birim boydaki s sinyalinin katsayılarını temsil etmektedir. Entropi değerinin 1'den büyük olması, bileşenlerin sinyale ait daha fazla bilgiyi bünyesinde barındırdığı ve sinyale ait temel frekans bilgilerinin elde edilmesi için sinyalin daha fazla ayrıştırılması gerektiği sonucunu verir [88]. Tablo 4.1'de diğer bazı önemli entropi türleri ve denklemleri verilmiştir [77, 84, 85].

Tablo 4.1 Sinyal işlemede yaygın kullanılan diğer entropi türleri ve denklemleri.

Entropi Türleri	Entropi Denklemleri
Logaritmik Enerji Entropisi	$E(s) = \sum_i \log_2(s_i^2)$ ve $\log(0) = 0$ kabul edilerek
Eşik Entropisi	$E(s) = \sum_i E(s_i)$, ε pozitif bir eşik değeri olmak üzere $ s_i > \varepsilon \Rightarrow E(s_i) = 1$ ve $ s_i \leq \varepsilon \Rightarrow E(s_i) = 0$
Sure Entropisi	$ s_i \leq \varepsilon \Rightarrow E(s) = \sum_i \min(s_i^2, \varepsilon^2)$ ε pozitif bir eşik değeri

Üç seviyeli ADD analizi ile elde edilen detay katsayılarına ait veri sayısı sınıflandırıcı için oldukça fazladır. Fazla sayıdaki veri, sınıflandırma aşamasının performansını ve hızını olumsuz yönde etkileyecektir. Bu tez çalışmasında veri sayısını azaltmak için, ADD analizlerinden elde edilen bütün detay katsayılarının entropi değerleri hesaplanmıştır. Böylece çok sayıda veriden oluşan her bir detay ayrışığı, bir entropi değeri ile karakterize edilmiştir. Şekil 4.18’de 1FTA için ADD detay katsayılarının entropi değerleri görülmektedir.



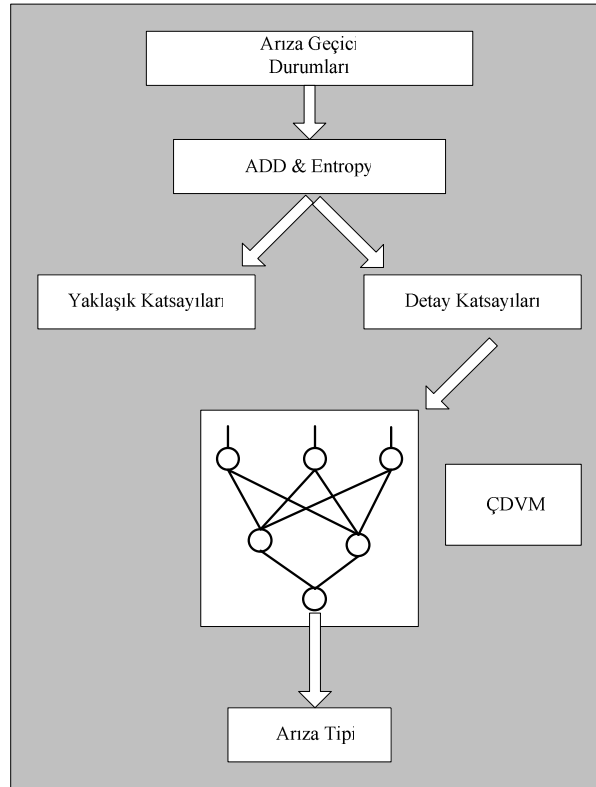
Şekil 4.18 Bir 1FTA sinyali için ADD detay katsayılarının entropi değerleri.

Üç seviyeli bir ADD ayrışımında daha önce de belirtildiği gibi, üç faz akım ve gerilim sinyali için toplam 18 detay ayrışığı (9 gerilim, 9 akım) elde edilmiştir. Bu detay ayrışıklarının entropi değerleri bulunduğu her bir arıza için 1x18’lik bir özellik vektörü elde edilir.

Bu tez çalışmasında, arıza tipi ve yerinin belirlenmesi için 4 farklı arızaya ait 50 farklı yerde meydana getirilen toplam 200 adet kısa devre arıza sinyali alınarak, ADD ile elde edilen detay katsayılarının dalgacık entropileri hesaplandığında, boyutu 200x18 olan bir veri matrisi elde edilmiştir. Bu veri matrisi, dört ayrı arıza tipi için 50 farklı noktada oluşturulan üç faza ait toplam 1200 adet gerilim ve akım sinyallerinin ayırt edici özelliklerini taşımaktadır. Her bir sinyalin 19957 adet veriden oluştuğu göz önüne alındığında, toplam 1200x19957 veri işlenmiştir. Bu kadar çok verinin sınıflandırma ve tahmin uygulamalarında kullanılması pratikte mümkün değildir. Veri matrisinin boyutunun 200x18’e düşürülmesi, sınıflandırma ve tahmin aşamalarının büyük bir başarı oranıyla hızlı bir şekilde yapılmasına imkan sağlamıştır.

5. KISA DEVRE ARIZA TİPLERİNİN BELİRLENMESİ

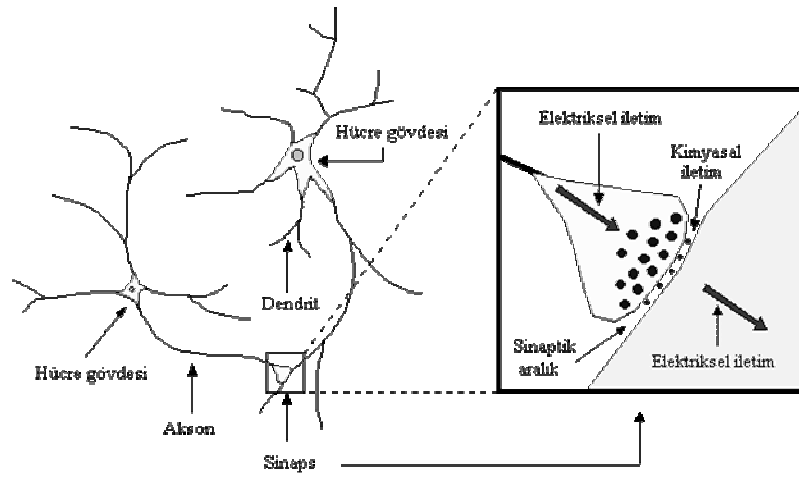
Bu bölümde, prototip güç sisteminden ve ATP’de benzetiminden elde edilen kısa devre arıza verileri kullanılarak arıza tipi sınıflandırması yapılacaktır. Sınıflandırma işleminden önce, arıza sinyallerinin arıza meydana gelmeden önceki yarım periyodu ve arıza anından sonraki yarım periyodu ele alınarak $[-1, 1]$ aralığında normalize edilmiştir. Sinyallere ait karakteristik özelliklerin elde edilebilmesi için ADD yöntemi kullanılmıştır. Veri sayısını uygun bir değere düşürmek için, ADD ile ayrıştırılan sinyallerin detay katsayılarının entropileri hesaplanmıştır. Bu işlemlerden sonra, elde edilen verilerin bir bölümü sınıflandırıcının eğitimi, geriye kalan bölümü ise testi için kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında, arıza tipi sınıflandırıcısı olarak Çok Sınıflı Destek Vektör Makineler (ÇDVM) yöntemi kullanılmıştır. Arıza tipi sınıflandırıcısı olarak ÇDVM’nin tercih edilme nedeni, yüksek doğruluk oranı ve eğitim hızıdır. Sınıflandırma başarımlarının karşılaştırılması için Çok katmanlı Algılayıcı ağları (ÇKA), RTF, k-En Yakın Komşuluklar (k-EYK) algoritması, Olasılıksal Sinir Ağları (OSA) ve Bayes sınıflandırıcılarının (BS) eğitim ve test sonuçları kullanılmıştır. Şekil 5.1’de arıza tipi belirleme uygulamasının aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Kısa devre arıza tipi belirleme aşamaları.

5.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları (YSA), özellikle analitik yöntemlerle çözülemeyen karmaşık ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan bir yöntemdir. YSA, insan beynine benzer olarak, deneysel bilgiyi toplayıp saklayan ve bu bilgiyi genelleştirmeye olanak sağlayan sinir hücrelerinden (nöron) oluşmuş paralel dağıtımlı bir işlemcidir [89, 90]. Şekil 5.2’de biyolojik bir sinir hücresinin yapısı görülmektedir.



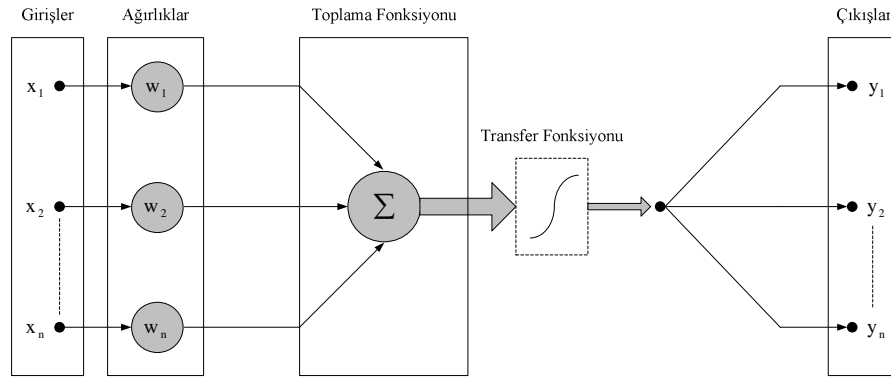
Şekil 5.2 Biyolojik nöron yapısı.

YSA, biyolojik nöron yapısından esinlenerek geliştirildiği için yapısal olarak benzerlik taşırlar. Bu benzerlik Tablo 5.1’de verilmiştir [90]. YSA’da bilgi, biyolojik nöron yapısındaki sinapslara karşılık gelen ağırlıklarda saklanır. Biyolojik nöron yapısındaki her bir aksonun çıkışı ayrıştırılmıştır ve bu çıkışlar diğer nöronun dendritlerine bağlanmıştır. Sinapslarda depolanan elektriksel bilgi kimyasal bir yolla diğer nöronun dendritine aktarılır [91]. Her bir işlem elemanında yalnızca bir çıkışa izin verilir. Bu çıkış, diğer binlerce biyolojik sinir hücresinin girişi olabilir.

Tablo 5.1 Sinir sistemi ile YSA’nın benzerlikleri.

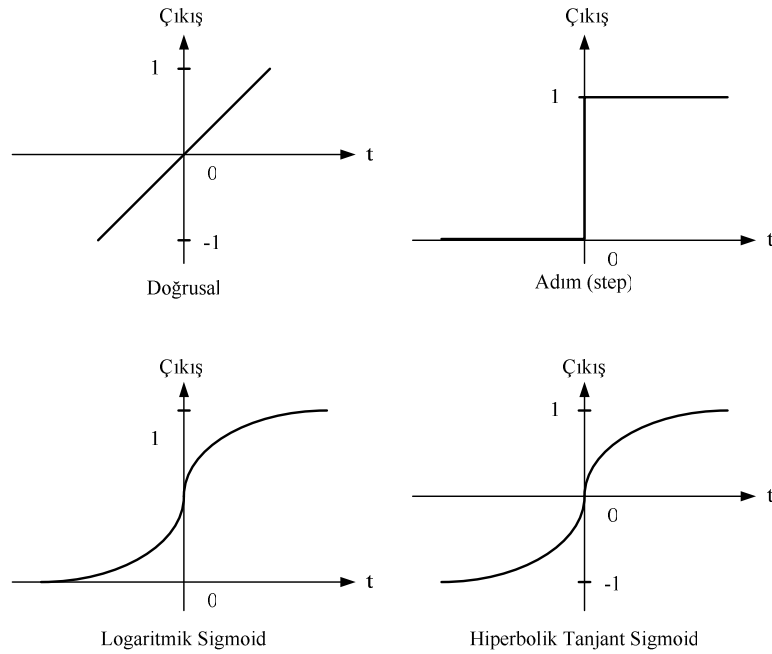
SİNİR SİSTEMİ	YSA SİSTEMİ
Nöron	İşlem elemanı
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Aktivasyon fonksiyonu
Aksonlar	Eleman çıkışı

YSA, insan beynine benzer olarak öğrenme, hatırlama ve genelleme yeteneğine sahiptir. İlk olarak girişler ağırlıklarla çarpılarak toplanır, daha sonra bu toplam belirlenen bir aktivasyon (etkinlik) fonksiyonundan geçirilerek çıkış olarak iletilir. Şekil 5.3'te bir yapay sinir hücresinin yapısı görülmektedir.



Şekil 5.3 Yapay sinir hücresinin yapısı.

YSA'da kullanılan birçok aktivasyon fonksiyonu vardır. Bunlardan en önemlileri Şekil 5.4'te verilmiştir. Aktivasyon fonksiyonunun en önemli kullanım amacı, zaman söz konusu iken toplama işlevinin değişimine olanak sağlamaktır [90].



Şekil 5.4 Aktivasyon fonksiyonları.

Bir yapay nöronun ağırlıklara, toplama ve aktivasyon fonksiyonlarına bağlı olarak giriş-çıkış ilişkisi;

$$N_j = \sum_{j=1}^n w_j x_j \quad (5.1)$$

şeklinde yazılır ve

$$y_j = \phi(N_j + b_j) \quad j=1,2,\dots,n \quad (5.2)$$

olur. Buradaki N_j toplam işlevi, w_j ağırlıklar, x_j girişler, y_j çıkış işlevi, ϕ aktivasyon fonksiyonu ve b_j ise j . işlem elemanının eşik değeridir [84].

YSA'nın analitik yöntemlere göre birçok üstünlüğü vardır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır [89].

✓ **Genelleştirilebilirlik**

Etkili paralel dağıtım yapısı ve öğrenebilme kabiliyeti ile bir YSA, daha önce kendisine gösterilmemiş olaylar hakkındaki giriş verilerine karşılık uygun ve mantıklı çıkışlar üretebilir. YSA, eksik ya da kusurlu veriler olsa bile belirli bir hata toleransı ile mutlaka bir çıkış üretir. Bu yönüyle YSA, gürültü gibi bozucu etkenler içeren verilerin analizinde etkili olabilmektedir.

✓ **Doğrusal olmama**

YSA doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Bu özellikleri ile güç sistemleri gibi oldukça karmaşık yapıya sahip olan büyük sistemlerin analizinde etkili olmaktadır.

✓ **Uyarlanabilirlik**

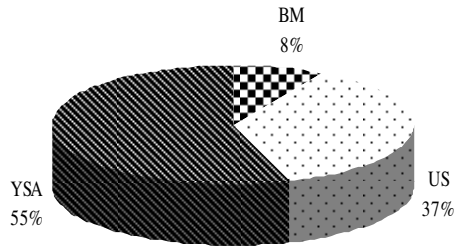
YSA, mevcut durum bilgisini değişikliklere paralel olarak ayarlayabilir. Değişken bir ortamda kendini çok hızlı bir biçimde adapte ederek çalışmaya devam eder. Bu yönüyle YSA, uyarlamalı örüntü tanıma, sinyal işleme gibi alanlarda oldukça etkili bir yöntemdir.

✓ **Hız**

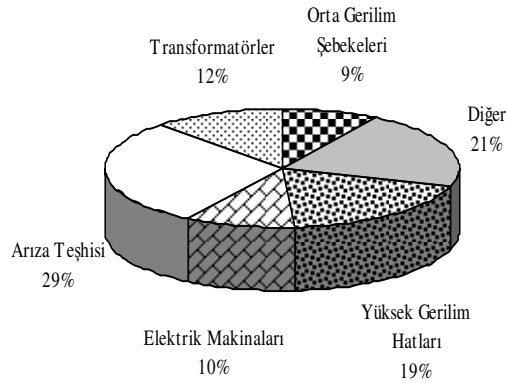
YSA birbirine bağlı paralel işlem elemanlarından oluşan yapısıyla, insan beynine benzer olarak çok fazla sayıdaki veriyi hızlı bir biçimde işleyebilir. Hızlı hesaplama kabiliyeti YSA'yı zamanın çok önemli olduğu arıza analizi gibi uygulamalarda etkili kılar.

McCulloch ve Pitts'in 1943 yılında ilk çalışmalarından günümüze kadar YSA birçok alanda kullanılmış ve kullanılmaya devam etmektedir [89]. YSA; modelleme, zaman serilerinin

analizi, örüntü tanıma, sinyal işleme ve kontrol gibi birçok değişik uygulamada kullanılmıştır. YSA ayrıca uzay bilimleri, telekomünikasyon, biyoloji, tıp, inşaat, otomotiv, bilgisayar oyunları ve hatta bankacılık gibi birçok alanda kullanılmaktadır. YSA'nın güç sistemleri uygulamalarında kullanılmaya başlanması yaklaşık 15 yıllık bir süreyi kapsamaktadır [4]. YSA, diğer alanlarda olduğu gibi güç sistemlerinde de birçok değişik probleme uygulanmıştır. Yük tahmini, kontrol, arıza analizi, sistem tanımlama, işletme, koruma ve gözlemleme YSA'nın uygulandığı bazı güç sistemi uygulamalarıdır [89, 92]. YSA enerji iletim hatlarında meydana gelen kısa devre arızalarının analizinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. YSA'nın iletim hattı arıza analizinde kullanıldığı bazı konular; arıza tespiti [93, 94], yüksek empedanslı arızalar [82, 95, 96], seri kompanzasyonlu iletim hatlarında koruma [97] ve bu tez çalışmasının da konusu olan arıza tipi sınıflandırma [98-100] ve arıza yerinin belirlenmesidir [3, 89, 92, 101]. Şekil 5.5'te YSA ile Uzman Sistemler (US) ve Bulanık Mantık (BM) gibi diğer yapay zeka tekniklerinin güç sistemlerindeki kullanım oranları karşılaştırılmıştır. Şekil 5.6'da ise YSA'nın güç sistemlerinde uygulandığı alanlar görülmektedir [3].



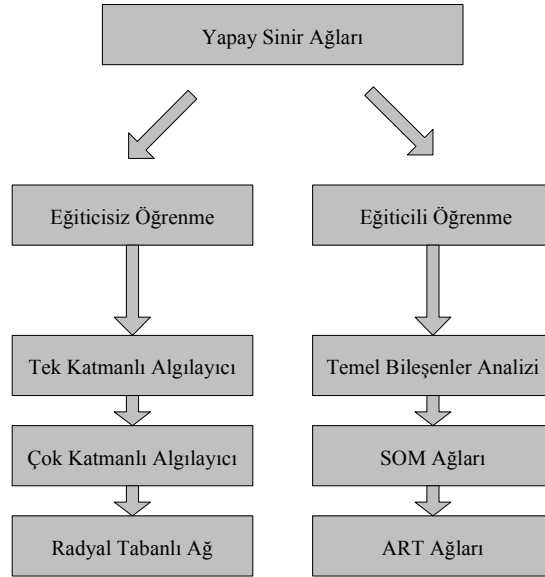
Şekil 5.5 Güç sistemlerinde kullanılan yapay zeka yöntemleri.



Şekil 5.6 YSA'nın uygulandığı güç sistemi alanları.

YSA için en önemli işlem öğrenme aşamasıdır. YSA, öğrenme yapılarına göre eğitici ve eğitici olmamak üzere iki kategoride incelenebilir [90-92]. Eğitici öğrenmede girişler ve bu girişlerden beklenen çıkışlar bilinir. Beklenen çıkışlar ağı eğitimi için kullanılır. Ağ girişleri, beklenen çıkışları en az hata oranı ile verinceye kadar eğitim süreci devam eder. Eğitim aşaması bittiğinde, sadece giriş verileri kullanılarak ağ test edilir ve beklenen çıkışlara ne kadar doğruluk ile ulaşıldığı kontrol edilir. Eğitici öğrenmede ise çıkışlar ağda belirtilmemiştir. Bu öğrenme yapısında ağ, bazı kümeleme tekniklerini kullanarak örüntüler arasındaki ortak özellikleri bulmaya çalışır. Eğitici öğrenmede amaç, aynı kümedeki girişler benzer çıkışlar verene kadar ağırlıkları yenilemektir.

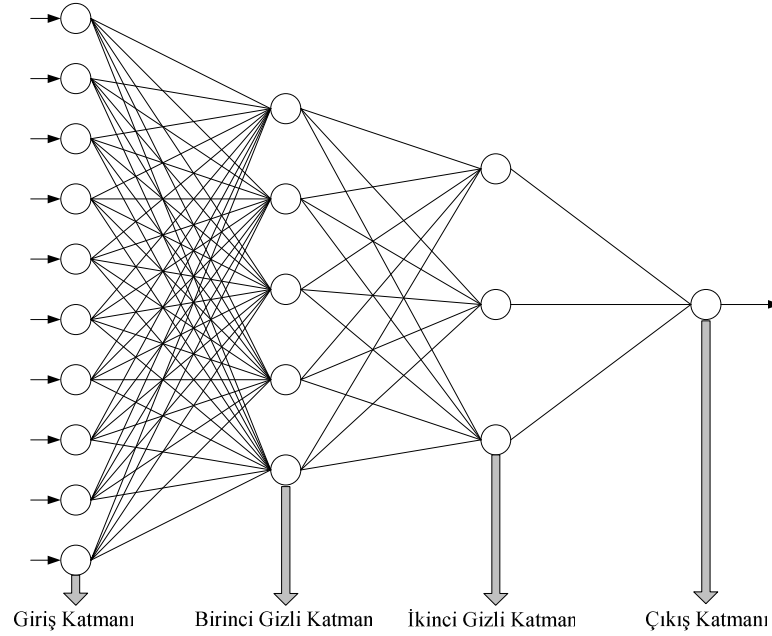
En çok bilinen bazı eğitici ve eğitici öğrenme grubundaki YSA'lar Şekil 5.7'de verilmiştir [92].



Şekil 5.7 Eğitici ve eğitici öğrenme ağ yapıları.

Tek katmanlı algılayıcı ağları (TKA), 1958 yılında Rosenblatt tarafından önerilen ilk eğitici öğrenme yöntemidir [89]. Çok basit bir yapıya sahip olması, bu ağ yapısının kullanım alanlarını kısıtlamıştır. YSA uygulamalarında en çok tercih edilen ağ, çok katmanlı algılayıcı ağlarıdır (ÇKA). Bu ağ yapısı, bir veya birden fazla gizli katman kullanarak karmaşık ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde etkili bir yöntemdir. YSA ağ topolojilerine göre, ileri beslemeli ve geri beslemeli olmak üzere iki kategoride incelenebilir [102]. İleri beslemeli ağlarda giriş ve çıkış birimleri arasında bir döngü olmadığı halde, geri beslemeli ağlarda giriş ve çıkış birimleri arasında bir döngü söz konusudur. YSA eğitimi için değişik öğrenme algoritmaları geliştirilmiştir. 1986 yılında Rumelhart ve McClelland, ÇKA ağlarını eğitmek için

geri yayılım algoritmasını (GYA) geliştirmişlerdir [89]. GYA’da, ağdan beklenen çıkış ile hesaplanan çıkış arasındaki hata değeri ağırlıklara eşit oranda yansıtılarak yeniden eğitilmektedir [103]. Şekil 5.8’de ileri beslemeli bir ÇKA ağının yapısı görülmektedir.



Şekil 5.8 Çok katmanlı algılayıcı ağ yapısı.

RTF, gizli katmanında yerel olarak ayarlanabilen düğümlere sahip iki katmanlı bir ağ yapısıdır [104, 105]. Bu ağ yapısı sadece bir gizli katmana sahip olması ve sahip olduğu iki katmanın eğitimlerinin ÇKA’daki gibi döngüsel olarak birbirlerine bağlı olmamasından dolayı GYA’ya göre çok daha hızlıdır [105, 106]. Diğer bir eğitimci öğrenme ağı 1990’larda Vapnik tarafından geliştirilen Destek Vektör Makineleridir (DVM) [107].

En basit ağ yapısı olan TKA ağları dışında, yukarıda bahsedilen tüm ağ yapıları güç sistemleri arıza analizinde kullanılmıştır. GYA kullanan ÇKA ağları, bu yöntemler arasında en yaygın olanıdır. GYA kullanan ÇKA ağları, literatürde en çok kullanılan YSA tipi olmalarına rağmen eğitim sürelerinin uzun olması, kullanılacak gizli katman nöron sayısının ve uygun öğrenme oranının belli olmaması ve yerel minimuma takılma gibi dezavantajlara sahiptir [92].

Bu tez çalışmasında, iletim hatlarında meydana gelen kısa devre arıza tiplerinin belirlenmesi için ADD tabanlı ÇDVM sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Eğitim hızının ve başarı performansının diğer sınıflandırıcılara göre yüksek olması, ÇDVM yönteminin arıza tipi belirlemede tercih edilmesinin en büyük nedenidir.

5.2. Destek Vektör Makineler

Birçok YSA arasında geri yayımlı ağ olarak da bilinen çok katmanlı ileri beslemeli ağlar en çok tercih edilenlerdir. Bu tip ağ yapısının en büyük dezavantajı, GYA'nın hata uzayında en düşük hataya sahip noktayı bulmaya çalışan bir rasgele arama algoritması olmasıdır [108]. Eğitim süreci arama uzayının geniş olması durumunda minimum hatayı yakalayamama riski ile birlikte çok uzun olabilir. ÇKA ağlarının diğer bir dezavantajı, kaç tane katman kullanılacağı ve bu katmanlardaki nöron sayısının bilinmemesidir. Kullanılacak gizli katman sayısı ve bu katmanlardaki nöron sayıları genellikle deneme yanılma yoluyla belirlenir ve bu işlem büyük zaman kaybına neden olur. Ayrıca ağ mimarisinin değiştirilmesi durumunda YSA'nın kendini bu yeni ağ yapısına adapte etmesi zordur. Bu durumda ağ mimarisi değiştirildiğinde, ağın yeni verilerle yeniden eğitilmesi gerekir ki bu da yine zaman kaybına neden olur. Güç sistemleri gibi yapısı sürekli değişebilen büyük ve karmaşık sistemlerde kullanılan ağ mimarisinin değişmesi olağan bir durumdur. Bu yüzden, kullanılacak YSA modelinin değişik ağ yapılandırmalarına kolay adapte olması gerekir.

Destek vektör makineleri (DVM), Vapnik tarafından geliştirilen ve istatistiksel öğrenme teorisine dayanan oldukça yeni bir yöntemdir [109]. İlk olarak optik karakter tanıma alanına uygulanan DVM, son otuz yılda Vapnik ve çalışma arkadaşları (Chervonenkis, Boser, Guyon, Cortes, Schölkopf) tarafından bugünkü haline getirilmiştir [110]. DVM yönteminde orijinal giriş uzayı, özellik uzayı olarak adlandırılan ve içerisinde sınıflandırıcının genelleme kabiliyetini arttırmak için en uygun aşırı düzlemlerin belirlendiği yüksek boyutlu bir iç çarpım uzayı üzerinde haritalandırılır. En uygun ayırıştırıcı düzlemler, matematiğin bir dalı olan optimizasyon teorisi ve bununla ilişkili olan istatistiksel öğrenme teorisini kullanarak bulunur [109]. DVM yöntemi son yıllarda birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. El yazını rakamların tanınması, resim ve nesne tanıma, ses tanımlama ve zaman serilerinin tahmin edilmesi DVM'nin kullanıldığı bazı alanlardır [111]. Bu uygulama alanlarının yanı sıra özellikle son yıllarda arıza tipi ve yerinin bulunması için de kullanılmışlardır [112-113]. DVM yönteminin YSA'ya göre bazı üstün yönleri aşağıda belirtilmiştir.

- ✓ DVM çok az giriş ile öğrenebilir [114]. YSA'da ise giriş boyutunun fazla olması öğrenmeyi olanaksız kılar ya da yavaşlatır. Çoğu DVM uygulamasında veri sayısını azaltmak için özellik çıkarma işlemine gerek duyulmaz [109].
- ✓ DVM' de YSA'da görülen yerel minimum noktaları bulunmaz [107].
- ✓ DVM yapısal hatalı sınıflandırma riski olarak adlandırılan hatayı en aza indirmeye çalıştığı için YSA'ya göre daha iyi bir genelleme özelliğine sahiptir [107].

DVM temelde ikili sınıflandırma için (Binary SVM) geliştirilen bir yöntem olmasına rağmen, arıza tipi belirlemede olduğu gibi çoğu uygulamada birden fazla sınıf mevcuttur. İki'den fazla farklı kümeyi sınıflandırmak için, birden fazla ikili DVM kullanan çok sınıflı DVM yöntemi (Multiclass SVM) geliştirilmiştir [107, 110, 116].

5.2.1. İkili DVM Sınıflandırma Algoritması

N adet gözlemden oluşan ve her biri bir veri çiftinden oluşan veri vektörü n -boyutlu uzayda $x_i \in \mathbb{R}^n$ ve $i = 1, 2, \dots, N$ olmak üzere, veri vektörlerine karşılık gelen sınıf etiketi $y_i \in \{+1, -1\}$ olsun. Bu durumda $y_i = +1$ ise x_i I. sınıfa, $y_i = -1$ ise x_i II. Sınıfa dahil edilir. Bu veri çiftleri eğitim setini oluşturmaktadır [107]. Doğrusal olarak birbirlerinden ayrılabilen veriler için, bu verileri birbirinden ayıran bir $f(x)$ aşırı düzlemi tanımlanabilir. Bu aşırı düzlemi tanımlamak için, x_i pozitif sınıfa ait ise $f(x) \geq 0$ ve x_i negatif sınıfa ait ise $f(x) < 0$ şartı uygulanır [107],

$$f(x) = w^T \cdot x + b = \sum_{j=1}^n w_j \cdot x_j + b \quad (5.3)$$

$$y_i f(x_i) = y_i (w^T \cdot x_i + b) \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (5.4)$$

Buradaki w n -boyutlu bir vektör, b ise eşik değeridir. Buna ilave olarak w ve x 'in $1/|w|$ uzaklığındaki aşırı düzleme en yakın nokta olma koşulu getirilirse denk.(5.4) aşağıdaki gibi yeniden düzenlenebilir;

$$y_i (w^T \cdot x + b) \geq 1, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (5.5)$$

Aşırı düzlem ile en yakın noktaya uzaklığı en fazla olan düzlem (maksimum aralıktaki), en uygun ayırıştırıcı aşırı düzlem (optimal separating hyperplane) olarak adlandırılır. DVM'nin genelleme kabiliyeti bu ayırıştırıcı düzlemi maksimize etmekle sağlanır [107, 116]. Şekil 5.9'da en uygun aşırı düzlem görülmektedir. Buradaki m maksimum aralık, H ise en uygun ayırıştırıcı düzlemdir.

(x_i) destek vektör olarak adlandırılır [112]. Diğer tüm eğitim verileri ($\alpha_i = 0$) en uygun aşırı düzlemi etkilemeksizin eğitim setinden çıkarılır. α 'nın ikili problem için en uygun çözümünün α^* olduğu varsayılırsa w ve b 'nin en uygun çözümleri,

$$w^* = \sum_{i=1}^N \alpha_i^* y_i x_i = \sum_{\text{destek vektörler}} \alpha_i^* y_i x_i \quad (5.10)$$

$$b^* = 1 - w^* x_i, \quad x_i \text{ ve } y_i = 1 \text{ için} \quad (5.11)$$

olur [109]. Sınıflandırıcı, eğitimden sonra herhangi bir bilinmeyen x örneğini aşağıdaki karar fonksiyonu ile;

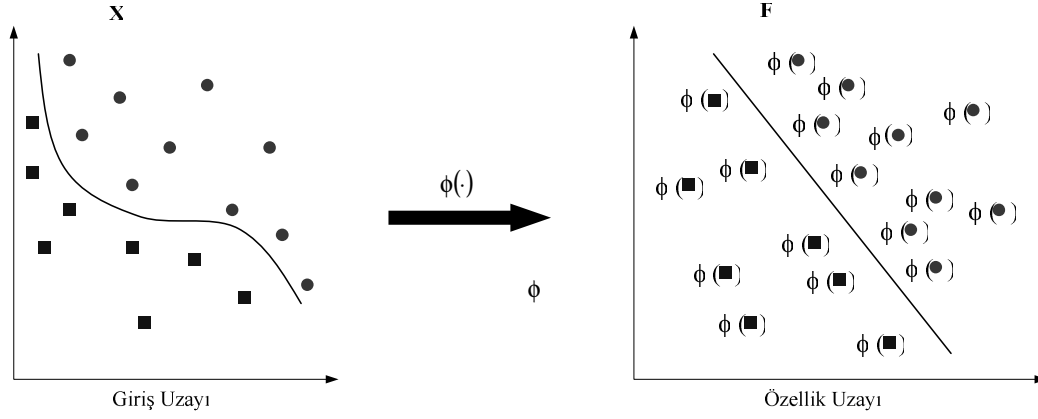
$$f(x) = \text{sign} \left(\sum_{j=1}^N \alpha_j^* y_j x_j \cdot x + b^* \right) \quad (5.12)$$

$$x \in \begin{cases} \text{I. sınıf} \Rightarrow f(x) = +1 \\ \text{II. sınıf} \Rightarrow f(x) = -1 \end{cases} \quad (5.13)$$

elde edilir. DVM, doğrusal olmayan, çekirdek fonksiyon tabanlı bir sınıflandırıcıdır. DVM yöntemi, daha önce de belirtildiği gibi orijinal R^n uzayındaki verileri, özellik uzayı olarak adlandırılan ve verilerin doğrusal olarak sınıflandırılabilirdiği yeni bir uzaya taşır. Şekil 5.10'da orijinal uzayın, özellik uzayına dönüştürülmesi gösterilmiştir. Doğrusal olmayan bir vektör fonksiyonu ($\phi(x) = \phi_1(x), \dots, \phi_L(x)$) kullanarak n -boyutlu giriş vektörü x 'i L -boyutlu F özellik uzayına taşıyan ikili formdaki doğrusal karar fonksiyonu,

$$f(x) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i^* y_i \phi^T(x_i) \cdot \phi(x) + b^* \right) \quad (5.14)$$

yazılır. Denk.(5.7) ve (5.13)'deki optimizasyon problemleri iç çarpım kullanmaktadır. F özellik uzayında ise $\phi^T(x) \cdot \phi(z)$ iç çarpımıyla ilgilenilir. Bu iç çarpımlar, özellik uzayındaki veri sayısının çok fazla olması durumunda hesaplama işlemini zorlaştırır. Bu problemin üstesinden gelmek için $\phi^T(x) \cdot \phi(z)$ iç çarpımının yerine, $K(x, z) = \phi^T(x) \cdot \phi(z)$ gibi bir çekirdek fonksiyonu kullanılır [107, 116].



Şekil 5.10 Giriş uzayının özellik uzayına taşınması.

Bazı önemli çekirdek fonksiyonları Tablo 5.2’de verilmiştir [109]. Çekirdek fonksiyonunu kullanarak denk.(5.14)’deki karar fonksiyonu,

$$f(x) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^N \alpha_i^* y_i K(x_i, x) + b^* \right) \quad (5.15)$$

olur. Doğrusal olmayan bir çekirdek fonksiyonu kullanılarak çözülen denk.(5.15) eşitliği sonucunda, x eğitim örneğinin hangi sınıfa ait olduğunu belirlemek için sınır şartları;

$$x \in \begin{cases} \text{I. sınıf} \Rightarrow f(x) = +1 \\ \text{II. sınıf} \Rightarrow f(x) = -1 \end{cases} \quad (5.16)$$

olarak yazılır.

Tablo 5.2 Yaygın olarak kullanılan çekirdek fonksiyonları

Polinomal	$K(x, z) = (x^T \cdot z + 1)^m$
Radyal tabanlı	$K(x, z) = \exp \left(-\frac{\ x - z\ ^2}{2\sigma^2} \right)$
Sigmoid	$K(x, z) = \tanh[b(x, z) - c]$

Tablo (5.2)’deki m , polinomsal çekirdek fonksiyonunun derecesi, σ radyal tabanlı fonksiyonun genişliği ve c kullanıcı tarafından belirlenen bir sabittir.

5.2.2. Çok Sınıflı DVM Sınıflandırma Algoritması

DVM yöntemi ilk olarak ikili sınıflandırma için geliştirilmiştir. Uygulamalardaki sınıflandırma problemlerinin büyük çoğunluğu ikiden fazla sınıftan oluştuğu için, çok sınıflı bir DVM sınıflandırıcısına ihtiyaç duyulmaktadır. Çok sınıflı sınıflandırma, ikili sınıflandırıcıların birleştirilmesiyle elde edilebilir [109]. Sınıflandırılabilir k -sınıflı bir problem ikili sınıflandırıcılar kullanılarak çözülebilir. Çok sınıflı sınıflandırma için önerilen pek çok DVM ayrıştırma yöntemi vardır. Bunlardan en önemlileri, bire-karşı-diğer (BKD) ve bire-karşı-bir (BKB) yöntemleridir [114, 116].

BKD yönteminde, eğitim verisini ikili DVM ile ayırabilen k adet sınıflandırıcı oluşturulur. Bu sınıflandırıcılardan her biri, bir sınıfı geriye kalan diğer sınıflardan ayırır [114]. Bu işleme, tüm sınıflandırıcılar kullanılana kadar devam edilir ve tüm sınıflandırıcıların ikili sınıflandırma sonuçları birleştirilerek karar işlevi yerine getirilir.

BKB yönteminde ise, k -sınıflı bir sınıflandırma problemi için $M = k(k-1)/2$ adet sınıflandırıcı oluşturulur. Bu sınıflandırıcılar i . ve j . sınıflara ait veriler ile eğitilir. BKB yönteminde ikili sınıflandırma problemi,

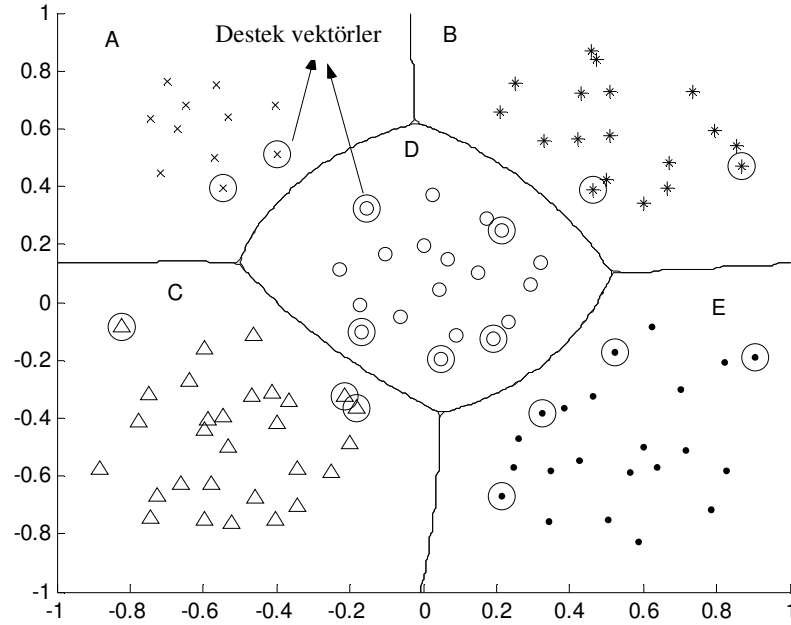
$$\min_{w^{ij}, b^{ij}, \xi^{ij}} \frac{1}{2} (w^{ij})^T w^{ij} + C \sum_t \xi_n^{ij} (w^{ij})^T$$

$$(w^{ij})^T K(x, z) + b^{ij} \geq 1 - \xi_n^{ij}, \quad y_n = i \text{ ise,} \quad (5.17)$$

$$(w^{ij})^T K(x, z) + b^{ij} \leq 1 - \xi_n^{ij}, \quad y_n = j \text{ ise,}$$

$$\xi_n^{ij} \geq 0$$

çözülerek elde edilir [109]. Buradaki $K(x, z)$ çekirdek fonksiyonu, (x_n, y_n) i . ya da j . eğitim örneği, b eşik değeri ve C ise düzenleme faktörüdür. Eğitim örneklerinin hangi sınıfa ait olduğunu belirlemek için bir yarışma stratejisi uygulanır. Eğer bir x eğitim örneğinin i . sınıfa ait olduğuna karar verilirse, i . sınıfın puanı 1 artırılır. Aksi durumda j . sınıfın puanı hanesine 1 eklenir. Bu yarışma stratejisi sonucunda, hangi sınıfın puanı daha fazla ise x eğitim örneğinin kesin olarak o sınıfa ait olduğuna karar verilir [109]. Şekil 5.11'de 5 farklı sınıfın BKB yöntemi ile sınıflandırılması gösterilmiştir [116].



Şekil 5.11 Farklı 5 sınıfın BKB ayrışımı kullanan çoklu-sınıf DVM ile sınıflandırılması.

Şekil 5.11'deki 5 farklı sınıftan oluşan sınıflandırma problemini çözmek için BKB yöntemi $M = k(k-1)/2 = 10$ adet sınıflandırıcı kullanmıştır. BKB yönteminde kullanılan sınıflandırıcı sayısı $k \geq 3$ olması durumunda BKD yöntemine göre daha fazla olmasına rağmen ($M = k(k-1)/2 \geq k$), BKD yöntemi her örnek için geriye kalan tüm veri setini eğittiğinden eğitimi daha yavaştır [109].

5.2.3. DVM Yönteminin Regresyon için Kullanılması

DVM yöntemi daha çok sınıflandırmada kullanılmasına rağmen, regresyon problemlerinin çözümü için de kullanılır [110, 117, 118]. Bu durumda DVM algoritması, özellik uzayında doğrusal bir işlev oluşturmayı amaçlar [118]. DVM'nin öğrenmesi, hata fonksiyonunun ϵ -duyarsız kayıp fonksiyonu $L_\epsilon(u, f(x))$ 'e bağlı olarak minimize edilmesiyle elde edilir. ϵ -duyarsız kayıp fonksiyonu,

$$L_\epsilon(u, f(x)) = \begin{cases} |u - f(x)| - \epsilon, & |u - f(x)| \geq \epsilon \text{ için} \\ 0, & |u - f(x)| < \epsilon \text{ için} \end{cases} \quad (5.18)$$

olarak yazılır [119]. Buradaki ϵ varsayılan doğruluk, u hedef, x giriş vektörü ve $f(x)$

DVM'nin gerçek çıkışıdır. DVM'nin gerçek çıkışı,

$$f(x) = \sum_{j=0}^N w_j x_j + b_j = w^T x + b \quad (5.19)$$

Burada $w = [w_0, w_1, \dots, w_N]^T$ ağırlık vektörü, N örnek sayısı ve x giriş veri setidir. Öğrenme işlemi, hata fonksiyonu E 'nin minimize edilmesiyle,

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_\epsilon(u_i, f(x_i)) \quad (5.20)$$

elde edilir [119]. Öğrenme problemi, ξ_i ve ξ_i^* yapay değişkenlerini kullanarak aşağıdaki gibi bir değer işlevinin minimize edilmesiyle,

$$\theta(w, \xi, \xi^*) = C \left[\sum_{i=1}^N (\xi_i + \xi_i^*) \right] + \frac{1}{2} w^T w \quad (5.21)$$

yeniden tanımlanabilir. Bu eşitlik için sınır şartları;

$$\begin{aligned} u_i - w^T x_i &\leq \epsilon + \xi_i \\ w^T x_i - u_i &\leq \epsilon + \xi_i^* \\ \xi_i, \xi_i^* &\geq 0 \end{aligned} \quad (5.22)$$

biçiminde yazılabilir. Yukarıdaki eşitliklerde yer alan ϵ ve C ifadeleri kullanıcı tarafından belirlenen iki bağımsız parametre olup, özellik uzayı boyutlarının düzenlenmesi için kullanılırlar [119, 115, 116]. Optimizasyon probleminin çözümü Lagrangian işlevi ile elde edilir [119]. Lagrangian çarpanları α_i, α_i^* ($i=1,2,\dots,N$) işlevsel sınırlamalar için kullanılır. İkili problem için kullanılan Lagrangian fonksiyonunun maksimize edilmesiyle;

$$\max \sum_{i=1}^N u_i (\alpha_i - \alpha_i^*) - \epsilon \sum_{i=1}^N (\alpha_i + \alpha_i^*) \pm \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) (\alpha_j - \alpha_j^*) K(x, z) \quad (5.23)$$

elde edilir. Burada sınır şartları,

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) &\geq 0 \\
0 \leq \alpha_i &\leq C, \\
0 \leq \alpha_i^* &\leq C
\end{aligned} \tag{5.24}$$

olarak yazılır. $K(x, z) = \phi^T(x)\phi(z)$ Mercer teoremine uygun olarak tanımlanan iç çarpım çekirdek fonksiyonudur [119]. İkili problemin çözümünden sonra w ağırlık vektörü için en uygun çözüm;

$$w = \sum_{i=1}^N (\alpha_{i0} - \alpha_{0i}^*) \phi(x_i) \tag{5.25}$$

olarak elde edilir. Destek vektör sayısı, değeri 0 olmayan Lagrange çarpanlarının sayısı kadardır [119]. DVM'nin çıkış fonksiyonu olan $f(x)$, Lagrange çarpanları ve çekirdek fonksiyonuna bağlı olarak,

$$f(x) = \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x, z) + b_i \tag{5.26}$$

elde edilir [119]. DVM'de dikkat edilmesi gereken en önemli işlem ε ve C parametrelerinin seçimidir. ε sabiti, içerisinde hatanın ihmal edildiği aralığı tanımlar. Bu sabitin küçülmesiyle DVM'nin bulacağı destek vektör sayısı artar. C düzenleme sabiti (regularization constant), ise ağırlık vektörü ile karakterize edilen sistem karmaşıklığı ve duyarsız değişkenler ile ölçülen tahmin hataları arasındaki düzeni sağlar. Bu parametrelerin en uygun değerlerde kullanılması, DVM'nin başarısında oldukça etkilidir [119].

5.3. ÇDVM ile Arıza Tiplerinin Belirlenmesi

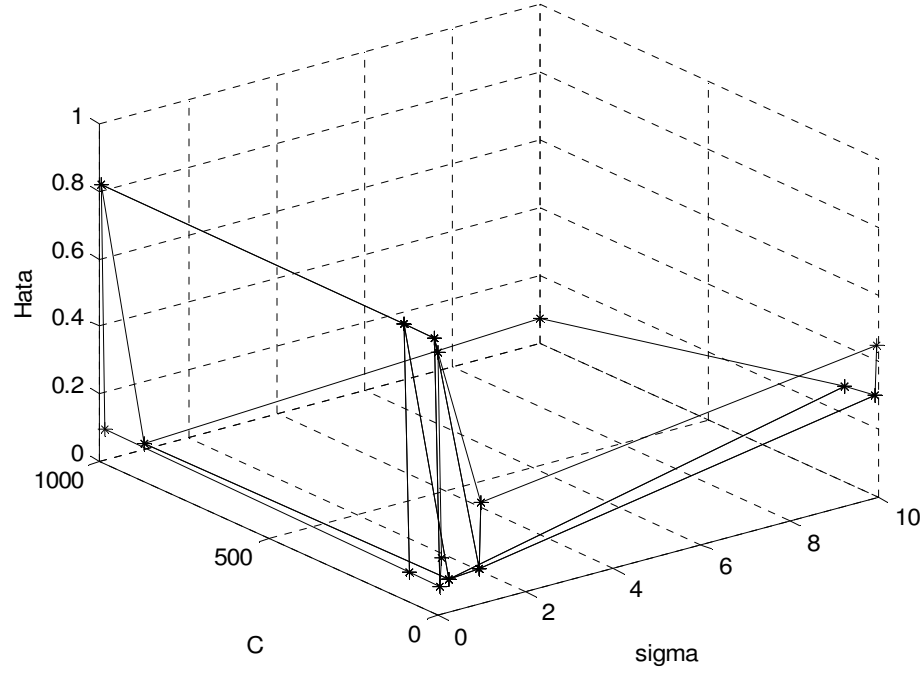
Bu bölümde, Şekil 3.5'de gösterilen prototip güç sisteminden ve Şekil 3.22'de gösterilen ATP benzetiminden elde edilen iletim hattı kısa devre arızalarına ait verilerin ÇDVM ile sınıflandırması yapılarak arıza tipinin belirlenmesi gösterilecektir. Arızalı fazlara ait geçici durum ve sağlam fazlara ait verilerin ayırt edici özelliklerinin elde edilmesi için 3 seviyeli ADD analizi yapılmıştır. Arıza analizlerinde, en çok tercih edilen dalgacık tipi olan Daubechies 4 (dB4) ana dalgacık olarak seçilmiştir. ADD analizinden elde edilen yaklaşık katsayıları, arıza geçici durumlara ait yüksek frekans bileşenlerini içermedikleri için sınıflandırmaya dahil

edilmemişlerdir. Üç seviyeli ayrışımından, her bir faz için 9 gerilim ve 9 akım detay katsayısı elde edilmiştir. Sınıflandırmada kullanılacak veri sayısının azaltılması için ADD analizinden elde edilen detay katsayılarına dalgacık entropisi yöntemi uygulanmıştır. Böylece 50 farklı yerde meydana getirilmiş arıza durumlarına ait 1200x19957 olan veri setinin boyutu 200x18'e düşürülmüştür. 1FTA, 2F, 2FTA ve 3FSA durumlarına ait akım ve gerilim verilerinin bir bölümü ÇDVM sınıflandırıcısının eğitimi için, geriye kalan bölümü ise sınıflandırıcının test edilmesi için kullanılmıştır. Eğitim ve test verilerinin geniş ve dağınık bir özellik uzayında olması sınıflandırıcının başarısını etkileyeceği için veri setinin [0, 1] ya da [-1, 1] aralığında normalize edilmesi gerekir. Özellik veri seti sınıflandırıcıya giriş olarak uygulanmadan önce, aşağıda verilen ve maks-min normalizasyonu olarak bilinen yöntemle [-1, 1] aralığında normalize edilmiştir [89]:

$$x' = \frac{x - x_2}{x_1 - x_2} \cdot (x'_1 - x'_2) + x'_2 \quad (5.27)$$

Burada x normalize edilecek örnek; x_1 , x_2 veri setinin en büyük ve en küçük değerleri, x'_1 ve x'_2 ise, normalize edilmek istenen aralıktaki en büyük ve en küçük değerlerdir. Arıza tiplerinin sınıflandırılması için MATLAB Neural Network Toolbox [104] ve Statistical Pattern Recognition Toolbox [116] kullanılmıştır. ÇDVM sınıflandırıcısının eğitimi için BKB ayrışım yöntemi tercih edilmiştir. Bunun nedeni daha önceden belirtildiği gibi, BKB algoritmasının BKD algoritmasına göre daha az zamanda eğitilebilmesidir.

ÇDVM sınıflandırıcısının eğitiminde kullanılacak serbest parametrelerin seçimi oldukça önemlidir. Düzenleme katsayısı C ve kullanılacak çekirdek fonksiyonu tipi kullanıcı tarafından belirlenmektedir. ÇDVM sınıflandırıcısının eğitiminde kullanılacak çekirdek fonksiyonunun belirlenmesi için, Tablo 5.2'de verilen çekirdek fonksiyonları test edilmiş ve en yüksek başarı radyal tabanlı fonksiyon ile sağlanmış $(K(x_a, x_b) = \exp(-0.5\|x_a - x_b\|^2 / \sigma^2))$. ÇDVM sınıflandırıcısının eğitiminde belirlenmesi gereken serbest parametreler, düzenleme katsayısı C ve çekirdek fonksiyonu sabiti σ 'dır. Bu sabitlerin seçimi için kullanılan en yaygın yöntem, önceden belirlenmiş bir $\theta = \{(C_1, \sigma_1), \dots, (C_k, \sigma_k)\}$ veri seti ile çapraz-geçerlilik testi yapmaktır [116]. Sınıflandırıcının eğitiminde, θ veri seti içerisindeki en az çapraz-geçerlilik testi hatasına sahip olan C ve σ değerleri kullanılmıştır. En uygun C ve σ değerlerinin bulunması için yapılan çapraz geçerlilik testi sonuçları Şekil 5.12'de görülmektedir. En uygun C parametresinin bulunması için [1, 10000] aralığı, σ parametresinin bulunması için ise [0.01, 10] aralığı kullanılmıştır.



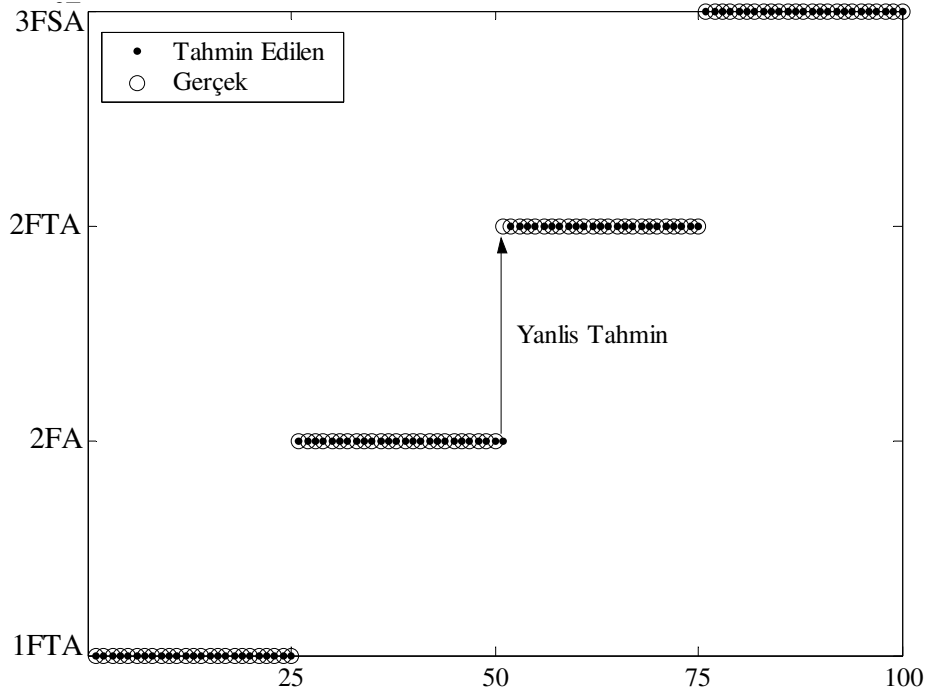
Şekil 5.12 En uygun C ve σ parametresinin çapraz geçerlilik testi ile bulunması.

Şekil 3.5'te gösterilen prototip güç sisteminde, 50 noktada farklı zamanlarda meydana getirilen 1FTA, 2FA, 2FTA ve 3FSA durumlarına ait ADD detay katsayıları ÇDVM ile eğitilmiş ve bu arızaların % 99'u doğru olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma yapılırken 1FTA 1, 2FA 2, 2FTA 3 ve 3FSA ise 4 rakamı ile temsil edilmiştir. Şekil 5.12'de görüldüğü gibi test başarısının en yüksek olduğu durum, C 'nin 1000 ve σ 'nın 1 olarak seçildiği durumdur. Bu parametrelerin seçilmesiyle elde edilen çapraz-geçerlik testi hatası 0.02'dir.

Tablo 5.3'te ÇDVM arıza sınıflandırıcısının eğitim ve testi için kullanılan ve doğru olarak sınıflandırılan arıza sayıları verilmiştir. Şekil 5.13'te ise sınıflandırıcıdan beklenen gerçek çıkışlar ve ÇDVM'nin test edilmesinden elde edilen çıkışlar gösterilmiştir. Şekil 5.13'te de görüldüğü gibi, test edilen 100 arıza durumundan 99'u doğru sınıflandırılmıştır. Sadece 1 arıza durumu için beklenen gerçek çıkış 2FTA iken ÇDVM sınıflandırıcısı bu arızayı 2FA olarak algılamıştır.

Tablo 5.3 ÇDVM sınıflandırıcısı ile eğitilen ve test edilen arıza sayıları.

Arıza Tipi	1FTA	2FA	2FTA	3FSA	Toplam
Eğitilen Arıza Sayısı	25	25	25	25	100
Test Edilen Arıza Sayısı	25	25	25	25	100
Doğru Sınıflandırılan Arıza Sayısı	25	25	24	25	99



Şekil 5.13 ÇDVM sınıflandırıcısından beklenen ve tahmin edilen çıkışlar.

ÇDVM sınıflandırıcısının eğitim ve test başarısı oldukça yüksek olmasına rağmen, sonuçların rastlantısal olma olasılığı vardır. Ayrıca sınıflandırıcının eğitimi için ayrılan veri sayısının az olması, test başarımını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. ÇDVM'nin sınıflandırmadaki güvenilirliğini ve geçerliliğini sağlamlaştırmak için ikinci bir geçerlilik testi uygulanmıştır. K -katlı çapraz geçerlilik testinde (K -fold cross-validation) ilk olarak, veri seti K sayısı kadar alt sete bölünür [120]. $K-1$ adet alt veri seti eğitim için kullanılırken, 1 adet alt veri seti eğitilen ağın testi için kullanılır. Bu işleme, bütün alt veri setleri eğitim dışında bırakılıp test edilinceye kadar devam edilir. Test edilen veri setlerinin başarılı sonuç vermesi, kullanılan ağın güvenilirliğinin ve geçerliliğinin derecesini verir. K adet veri setinin test başarısının ortalaması alınarak tek bir geçerlilik değeri elde edilebilir.

Bu tez çalışmasında kullanılan ÇDVM sınıflandırıcısının geçerliliğinin test edilmesi için 5-katlı çapraz-geçerlilik testi uygulanmıştır. Toplam 200 adet arıza durumu olduğu için, 5-katlı çapraz-geçerlilik testinde kullanılan her bir alt veri seti 40 arıza durumuna ait verileri içermektedir. 5 aşamadan oluşan testin her aşamasında 18×160 adet veri ağın eğitimi için, 18×40 adet veri ise ağın test edilmesi için kullanılmıştır. Tablo 5.4'te 5 ayrı ÇDVM sınıflandırıcısından oluşan çapraz geçerlilik testinin sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.4 Beş katlı çapraz-geçerlilik testi sonuçları.

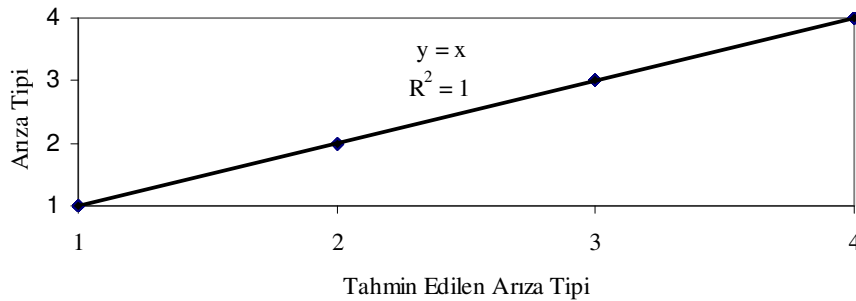
	ÇDVM-1	ÇDVM-2	ÇDVM-3	ÇDVM-4	ÇDVM-5
Eğitim	18x160	18x160	18x160	18x160	18x160
Test	18x40	18x40	18x40	18x40	18x40
% Başarı	100	100	100	100	100

Tablo 5.4'te görüldüğü gibi, ÇDVM sınıflandırıcısı arıza tiplerinin tamamını doğru olarak sınıflandırmıştır. Çapraz geçerlilik testi sonuçları, kullanılan ÇDVM sınıflandırıcısının arıza tiplerini belirlemedeki başarısının rastlantısal olmadığını göstermektedir. Çapraz geçerlilik testi ile 18x200 boyutundaki özellik veri setinin tamamı eğitilmiş ve test edilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, ÇDVM'nin eğitiminde giriş olarak 100 yerine 160 arıza verisinin kullanılması test başarılarını arttırmıştır.

ÇDVM ağının eğitim kalitesini değerlendirmek için kullanılan diğer bir yöntem R^2 regresyon yöntemidir [121]. R , bilinen değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişkiyi gösteren istatistiksel bir ölçümdür. R^2 bu ilişkinin karesidir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir;

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n \sigma^2} \quad (4.24)$$

Buradaki $\hat{y}$, y , n ve σ^2 sırasıyla bilinen değer, tahmin edilen değer, örnek sayısı ve varyanstır. R^2 değeri 0'dan 1'e kadar herhangi bir değer alır. Bu değer 1'e yakın olması sonuçların o denli yüksek doğrulukta olduğunu gösterir. ÇDVM sınıflandırıcısının R^2 hata grafiği Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Beklenen ve tahmin edilen sınıflandırıcı çıkışlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.14'teki 1, 2, 3, 4 eksen değerleri sırasıyla 1FTA, 2FA, 2FTA ve 3FSA'yı temsil etmektedir. Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, arıza tipinin belirlenmesini etkileyen; arıza direnci ve yük değişimi, arızanın oluş açısı, hattın birden fazla kaynak ile beslenmesi gibi unsurlar vardır. Şimdiye kadar eğitilen ve test edilen arıza verileri prototip güç sisteminden farklı oluş zamanlarında alındıkları için, ÇDVM sınıflandırıcısının arıza oluş açısından etkilenmediği görülmüştür. Arıza direncinin değişimi, hattın beslediği yükün değişimi ve birden fazla kaynak ile beslenme durumlarında meydana gelecek arızaların doğru olarak sınıflandırılıp sınıflandırılmadığını belirlemek için Şekil 3.22 ve 3.39'da gösterilen ATP benzetimlerinden alınan veriler kullanılmıştır. Arıza direncinin değişiminin arıza tipi belirlemedeki etkisini incelemek için Şekil 3.22'deki ATP benzetiminde sırasıyla 10, 100 ve 1000 Ω 'luk dirençler kullanılmıştır. Tablo 5.5'te bu arıza dirençlerini içeren kısa devre arızaları için, ÇDVM sınıflandırıcısının test sonuçları gösterilmiştir. Farklı arıza dirençlerinde meydana gelen arıza tipleri için ÇDVM sınıflandırıcısı yeniden eğitilmemiş, daha önce eğitilen ağ bu veriler ile test edilmiştir. Doğru sınıflandırılan veriler D, yanlış sınıflandırılan veriler ise Y harfi ile gösterilmiştir.

Tablo 5.5 Arıza direnci değişiminin arıza sınıflandırmasına etkisi.

	1FTA	2FA	2FTA	3FSA
10 Ω	D	D	D	D
100 Ω	D	D	D	D
1000 Ω	D	Y	D	D

Tablo 5.5'te görüldüğü gibi, değişik arıza dirençleri ile test edilen ÇDVM sınıflandırıcısının, 12 adet arıza durumundan sadece 2FA'ya ait bir veri setini yanlış sınıflandırdığı görülmektedir. Tablo 5.6'da ise sırasıyla yüksüz, 383 Ω ve 766 Ω yüklü durumlarda meydana gelen arızaların sınıflandırma sonuçları görülmektedir.

Tablo 5.6 Yük değişiminin arıza sınıflandırmasına etkisi.

	1FTA	2FA	2FTA	3FSA
Yüksüz	D	D	Y	D
383 Ω	D	D	D	D
766 Ω	D	D	D	D

Tablo 5.6'da görüldüğü gibi, ÇDVM sınıflandırıcısı sadece yüksüz durumda meydana gelen bir 2FT arızasını yanlış olarak sınıflandırmıştır. İletim hattının birden fazla kaynak ile beslenmesi durumunda meydana gelen arızaların sınıflandırılması için, Şekil 3.39'da ATP benzetimi verilen 760 kV'luk, 480 km uzunluğundaki iletim hattından elde edilen veriler

kullanılmıştır. Toplam 192 arıza durumuna ait verilerin 100 tanesi ÇDVM sınıflandırıcısının eğitimi için, geriye kalan 92 arıza durumuna ait veri ise ÇDVM sınıflandırıcısının test edilmesi için kullanılmıştır. Her iki tarafından beslenen iletim hattına ait verilerle eğitilen ÇDVM sınıflandırıcısı test edilen 92 adet arızayı da doğru olarak sınıflandırmıştır.

ÇDVM sınıflandırıcılarının arıza tipi belirlemedeki başarısını değerlendirmek için Bayes, k-EYK, RTF ağları, Elman ağları, ÇKA ağları ve OSA gibi sınıflandırıcılar kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Aşağıda, kısaca sınıflandırma işleminde kullanılan sınıflandırıcılardan ve genel özelliklerinden bahsedilmiştir. Tablo 5.7’de ise bu sınıflandırıcıların eğitimi için geçen süreler ve yüzdelik başarımları gösterilmiştir.

✓ Bayes sınıflandırıcıları, Bayes olasılık kuralına dayanan ve eğitici öğrenme grubunda yer alan bir sınıflandırma yöntemidir [122]. Bu sınıflandırıcılar fazla eğitim verisi gerektirmezler ve oldukça hızlı cevap verirler.

✓ k-EYK algoritması sınıflandırmada kullanılan en basit yapay zeka tekniklerinden biridir [123]. Buradaki k , sınıflandırılacak veri noktasına en yakın olan komşuluk sayısıdır. Örneğin bu değerin 3 olması durumunda, sınıflandırılacak veriye en yakın 3 komşuluk incelenir ve sınıflandırılacak veri bu 3 komşuluktan sayısı en fazla olan sınıfa dahil edilir [124].

✓ RTF ağları bir giriş, bir doğrusal olmayan gizli katman ve bir doğrusal çıkış katmanından oluşan ileri beslemeli bir ağ yapısıdır [106]. Ara katmandaki düğümler radyal tabanlı işlem birimleridir. Bu katmanda eğriseli çoklu-karesel ve Gauss transfer fonksiyonu kullanılabilir. Çıkış katmanı ise toplama işlevi görür. RTF ağları gizli katmandaki radyal tabanlı işlem elemanları yüzünden sadece sınırlı bir aralıkta eğitilebilir [105]. Bu ağ yapısı yerel bir eğitime sahip oluğu ve katmanlar arasında döngüsel bir işlem yapılmadığı için, GYA kullanan ÇKA ağlarına göre çok daha hızlıdır. OSA ağları da daha önce bahsedildiği gibi RTF ağlarının değiştirilmiş bir şeklidir.

✓ 1990’da Elman tarafından geliştirilen Elman ağları, gizli katmanından özel bir dinamik hafıza birimine bağlantısı olan geri beslemeli bir ağ yapısıdır [125]. Böylece girişler hem ileri yönde hem de geri yönde aktarılmış olur [126]. Elman ağlarını karmaşık öğrenme algoritmaları kullanan diğer yinelenen ağ yapılarından ayıran özellik, ağ eğitiminin GYA ile yapılabilmesidir [127]. Giriş-çıkış birimleri dış çevreyle ilişki halindeyken dinamik hafıza birimi dış ortamdaki yalıtılmıştır [128]. Elman ağları özellikle zamanın önemli olduğu, süreklilik arz eden uygulamalarda etkili bir yapay zeka yöntemidir.

✓ Daha önce de belirtildiği gibi ÇKA ağları, uygulamalarda en çok tercih edilen ağ yapısıdır. Bu ağ yapılarında, bir giriş katmanı, bir veya birden fazla gizli katman ve bir çıkış katmanı vardır [126, 129]. Ağın girişine uygulanan girişler her döngüde değiştirilen ağırlıklar ile çarpılarak toplanır. Bu toplam bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıkış katmanına

iletilir. Ağ çıkışı, ağdan beklenen gerçek çıkış ile karşılaştırılarak bir hata değeri hesaplanır. Bu hata değeri, ağın girişine doğru ağırlıklara eşit olarak yansıtılarak yeni ağırlıklar elde edilir. Bu işlem, arzu edilen bir hata değerine ulaşmaya kadar ya da önceden belirlenen döngü sayısından devam ettirilir. ÇKA ağlarının eğitimi için birçok değişik eğitim algoritması kullanılabilir. Bu ÇKA ağlarının en önemli özelliklerinden biridir. Uygulamalarda en çok kullanılan eğitim algoritması GYA'dır [127]. ÇKA ağları sınıflandırma ve tahmin uygulamalarında yaygın olarak kullanılmalarına rağmen, giriş veri sayısı fazla olduğunda eğitim süreleri oldukça uzun olabilir.

✓ Olasılıksal sinir ağları yöntemi D. Specht tarafından 1988 yılında geliştirilmiştir [108]. OSA Bayes karar stratejisi ve Parzen'in olasılıksal yoğunluk tahmini yöntemlerine dayanır [130, 131]. Bayes sınıflandırma kuralı beklenen sınıflandırma hatasını minimize ederek ağ performansını artırır. Specht'e göre OSA, GYA'ya göre 100.000 kat daha hızlı çalışır [131]. Genel olarak bir OSA ağı, giriş katmanından sonra örüntü/örnek katmanı, toplama katmanı ve karar/çıkış katmanı olmak üzere 3 katmana sahiptir [132].

✓ Elman ağları ise, birinci katman işlemci elemanı çıkışı ile girişi arasında bir geri besleme birimine sahip iki katmanlı bir ağ yapısıdır [38]. Bu geri besleme bağlantısı, Elman ağlarının zamana bağlı olarak değişen örüntüleri belirlemesine olanak sağlar [104].

Tablo 5.7 ÇDVM sınıflandırıcısının diğer sınıflandırıcılar ile karşılaştırılması.

Sınıflandırıcı	Eğitim Süresi (s)	% Başarı
OSA	0.2410	99
Bayes	0.1400	45
k-EYK	-	96
RTF	0.2500	97
Elman	327.7720	85
ÇKA	105.1310	99
ÇDVM	0.04	99

Tablo 5.7'den görüldüğü gibi farklı arıza tiplerini belirlemede başarısı en yüksek olan sınıflandırıcılar OSA, ÇKA ve DVM'dir. Sınıflandırma başarısı en düşük olan yöntem ise % 45 doğruluk oranına sahip olan Bayes sınıflandırıcısıdır. Tablo 5.7'ye bakıldığında, Bayes sınıflandırıcısı dışındaki tüm sınıflandırıcıların başarı performansı oldukça iyidir. Başarı performansı yanında sınıflandırıcı seçiminde dikkat edilmesi gereken diğer önemli bir husus, ağın oluşturulması, eğitim ve testi için harcanan zamandır. Başarı oranı en yüksek ve eğitimi için harcanan zamanı en az olan sınıflandırıcı, doğal olarak uygulamada kullanılacak sınıflandırıcının seçimi için en önemli ölçüttür. Tablo 5.7'den de görüldüğü gibi, %99'luk başarı oranı ile bu tez çalışmasında da kullanılan ÇDVM'nin arıza tiplerini belirlemek için harcadığı zaman sadece 40 milisaniyedir. Çalışmada kullanılan veriler ve ağ yapılarına ait parametreler EK-3'te verilmiştir.

6. KISA DEVRE ARIZA YERİNİN BELİRLENMESİ

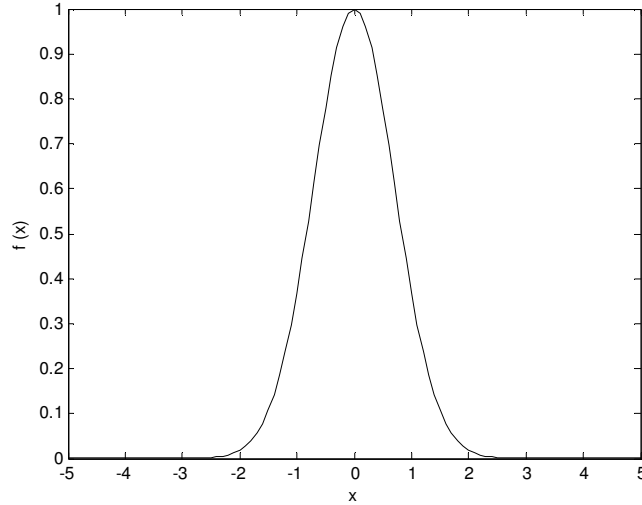
Elektrik güç sistemlerini, meydana gelen kısa devre arızalarının hasar verici etkilerinden korumak için yapılması gereken en önemli uygulamalardan biri, arızanın meydana geldiği yerin hızlı bir biçimde belirlenmesidir. Arıza yerinin belirlenmesi, arızanın algılanması ve tipinin belirlenmesinden sonraki aşamadır. Arızanın hızlı bir biçimde algılanması ve ilgili koruma rölelerinin gerekli komutu vererek arızalı kesimi sistemden çıkarmasıyla, arızanın güç sistemi teçhizatına vereceği hasarlar en az seviyeye indirgenebilir. Ancak arızanın meydana gelmesiyle birlikte oluşan fiziki hasarların bakım ve onarım ekiplerince en kısa sürede giderilmesi gerekmektedir. Arızanın giderilmesi için geçen süre, iletim hattının beslediği tüketicilerin bu süre boyunca enerjisiz kalmasına neden olur. Enerji kesintisi çok kısa süreli olsa da tüketicilere büyük ekonomik zararlar verir. Hastane, okul ve buna benzer yerlerde de enerji kesinti süresi büyük önem arz eder. Meydana gelen kayıpların en az seviyeye indirgenebilmesi için arıza noktasının çok kısa sürede belirlenmesi ve gerekli onarım işlemlerinin yapılması gerekir.

Bu bölümde, enerji iletim hatlarında meydana gelen kısa devre arızalarının yerini hızlı ve doğru bir biçimde belirleyen bir yöntem sunulacaktır. Bir önceki bölümde sunulan arıza tipi belirlemede olduğu gibi, yer tahmini için de ilk olarak Şekil 3.5'te gösterilen deneysel güç sisteminde farklı noktalarda arızalar oluşturulmuş, daha sonra bu arızalara ait ayırt edici özelliklerin elde edilebilmesi için ADD analizi yapılmıştır. ADD analizinden elde edilen detay katsayılarına dalgacık entropisi yöntemi uygulanarak veri sayısı büyük ölçüde düşürülmüştür. Elde edilen arıza geçici durum verileri $[-1, 1]$ aralığında normalize edilerek giriş uzayının boyutları sınırlandırılmıştır. Arıza yerinin tahmini için RTF ağları kullanılmıştır. Şekil 3.22'de gösterilen ATP benzetiminden elde edilen arıza sinyalleri de aynı işlemlerden geçirilmiş ve bu veriler, arıza yerinin bulunmasını etkileyen arıza direnci ve yük değişimi gibi durumların incelenmesinde kullanılmıştır. RTF ağları ile DVM, ÇKA ve Elman ağlarının arıza yeri belirlemedeki başarı oranları karşılaştırılarak, RTF ağlarının arıza yeri belirlemedeki en uygun yöntem olduğu gösterilmiştir.

6.1. Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları

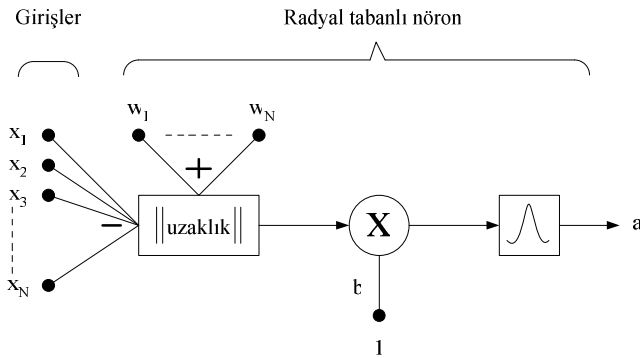
Birçok YSA uygulamasında çoğunlukla geri yayımlı, ileri beslemeli çok katmanlı algılayıcı ağları kullanılmasına rağmen bu tip ağlar eğitim sürelerinin uzun olması, yerel minimuma takılma, kaç ara katman kullanılacağı ve bu ara katmanlardaki nöron sayısının belli olmaması gibi dezavantajlara sahiptir [106]. RTF ağları çoğu zaman daha fazla nöron gerektirmelerine rağmen GYA'ya göre çok daha hızlıdır [104]. RTF ağları giriş katmanı, ara

katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşan ileri beslemeli bir ağ yapısıdır. Bu tip ağlarda ara katmandaki işlemci elemanı, girişlerin ağırlıklandırılmış şeklini kullanmaz [126]. Sadece ara katman işlemci elemanı çıkışları ağırlıklandırılarak çıkış katmanına iletilir. RTF ağlarının en önemli özelliği, ara katmanda transfer fonksiyonu olarak doğrusal olmayan radyal tabanlı bir fonksiyon kullanmasıdır. Şekil 6.1’de Gauss radyal tabanlı transfer fonksiyonu görülmektedir.



Şekil 6.1 Gauss radyal tabanlı transfer fonksiyonu.

RTF ağlarında ara katmandaki işlemci elemanlarının çıkışı, YSA girişleri ile temel fonksiyonun merkezi arasındaki uzaklığa göre belirlenmektedir [105, 126]. RTF ağları temel olarak, ara katmanlarında radyal olarak simetrik işlemci elemanları içeren ağlardır. Şekil 6.2’de radyal fonksiyon kullanan ara katman nöronunun yapısı görülmektedir [104].



Şekil 6.2 Radyal tabanlı nöron yapısı.

Radyal olarak simetrik ara katman işlemci elemanı üç bileşenden oluşmaktadır [126]. Bunlardan birincisi, giriş uzayındaki merkez vektörüdür. Bu vektör, giriş katmanı ile ara katman arasındaki ağırlık vektörü olarak saklanır. İkinci bileşen, giriş vektörünün merkezden ne kadar uzak olduğunu belirlemek için kullanılan uzaklık ölçütüdür. Uzaklık ölçütü, standart öklit uzaklığıdır. Üçüncü bileşen ise, uzaklık ölçütü çıkışını giriş olarak alan ve ara katman nöron çıkışını veren doğrusal olmayan transfer (aktivasyon) fonksiyonudur. Şekil 6.2’de görüldüğü gibi, N adet veriden oluşan YSA girişleri $(x_1, x_2, \dots, x_N)$ ile doğrusal olmayan temel fonksiyonun merkezleri $(w_1, w_2, \dots, w_N)$ arasındaki öklit uzaklıkları hesaplandıktan sonra, bu uzaklıklar transfer fonksiyonundan geçirilmektedir. Başka bir ifadeyle, ara katman transfer fonksiyonu sadece uzaklık ölçütüne bağımlı tek değişkenli bir fonksiyondur. Ara katman işlemci elemanı için öklit uzaklık ölçütü;

$$u_k = \|x_i - w_{ki}\|, \quad k = 1, 2, 3, \dots, N \quad (6.1)$$

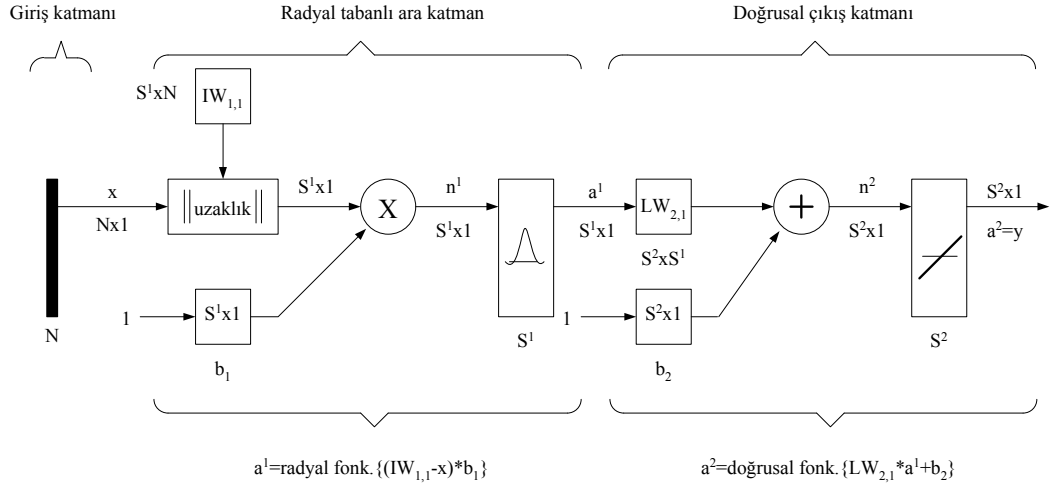
ile ifade edilir [106, 126]. Bu uzaklık ölçütü transfer fonksiyonundan geçirildiğinde ara katman nöron çıkışı ise;

$$a_k = e^{-\frac{u_k^2}{\sigma_{ki}^2}} \quad (6.2)$$

olur. Buradaki σ_{ki}^2 , Gauss transfer fonksiyonu için standart sapma değeridir [133]. Bu değer, Gauss fonksiyonunun genişliği olarak da ifade edilebilir [105, 133]. Ara katman işlemci elemanlarının eğitilebilmesi için w_{ki} ağırlıkları ile σ_{ki} genişliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ara katman işlemci eleman fonksiyonlarının merkezi konumlarının (w_{ki}) belirlenmesi için literatürde bazı yöntemler önerilmiştir [126]. Ara katman çıkışı a_k , doğrusal çıkış katmanına giriş olarak uygulanır. Ağırlık çıkışı ise;

$$y_k = \sum_{k=1}^N a_k w_{kj} + b_k \quad (6.3)$$

ile hesaplanır. Buradaki b_k , çıkış katmanı için eşik değerlerini göstermektedir. Şekil 6.3’de radyal tabanlı fonksiyon ağıının genel yapısı görülmektedir [104].



Şekil 6.3 Radyal tabanlı fonksiyon ağı yapısı.

Burada N giriş elemanı sayısı, x giriş, S^1 birinci katmandaki nöron sayısı, S^2 ikinci katmandaki nöron sayısı, a^1 ara katman çıktısı, a^2 çıkış katmanı çıktısı, b^1 , b^2 ara katman ve doğrusal çıkış katmanı için eşik değerleridir. Şekil 6.3'de görüldüğü gibi, ara katman çıkışı a^1 , ara katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıklar ile çarpılmakta, bu çarpıma b^2 eşik değeri ilave edilmekte ve çıkan sonuç doğrusal transfer fonksiyonundan geçirildikten sonra a^2 ağı çıkışları elde edilmektedir. Ara katmandaki ağırlık vektörünün girişlerden çok farklı olması durumunda ara katman transfer fonksiyonu, denk.(6.2) gereği sıfır ya da sıfıra çok yakın çıkışlar üretir. Bunun tersi durumda, yani ağırlık vektörü ile giriş vektörünün birbirine çok yakın olması durumunda, aralarındaki uzaklık sıfır ya da sıfıra yakın bir değer olacağı için, nöron çıkışı 1 olur. RTF ağı için beklenen çıkış ifadesi ise denk.(6.3)'e bir hata ifadesi ϵ_k ilave edilerek,

$$h_k = f(x_k) + \epsilon_k \quad (6.4)$$

bulunur. RTF ağının eğitiminin her döngüsünde ağı bir nöron ilave edilir. Bu işlem, önceden belirlenen nöron sayısına ulaşıncaya veya hata değeri belirli bir sınırın altına düşünceye kadar devam eder. RTF ağlarının öğrenme hızları, ÇKA ağlarına göre daha hızlıdır. Fakat artan girişlerle çok yüksek boyutlu RTF yapılarına ihtiyaç duyulur. RTF ağlarının ÇKA ağlarına göre üstünlükleri [126]:

- ✓ ÇKA ağlarından daha hızlı öğrenmeleri,
- ✓ Karar sınırlarının belirlenmesinde ve sınıflandırmada ÇKA yapılarından daha doğru sonuçlar verebilmeleri,
- ✓ ÇKA ara katmanından daha doğal bir yorumlama yeteneğine sahip olması,

- ✓ Yeni bir giriş vektörünün, eğitim vektörü olarak aynı dağılımın parçası olma olasılığını ortaya çıkarabilmesi,
- ✓ RTF ara katman elemanlarıyla giriş uzayının bir yoğunluk fonksiyonuyla temsil edilebilmesi,

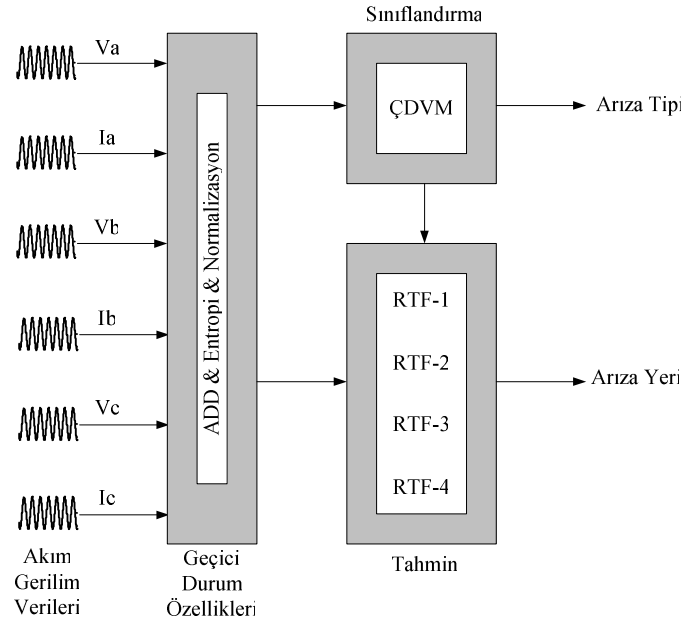
olarak sıralanabilir. RTF ağ yapılarının sakıncaları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir [126];

- ✓ Eğitiminin ilk aşamasında merkez vektörünün belirlenmesi için kontrolsüz öğrenme yönteminin kullanılması durumunda önemli diskriminant bilgilerinin kaybolabilmesi,
- ✓ Regresyon problemlerinin çözümünde sınırlandırılmamış transfer fonksiyonlarına ihtiyaç duymaları,
- ✓ RTF ağ yapılarının, ÇKA gibi farklı yapısal formlarda oluşturulamamaları.

6.2. RTF ile Arıza Yerinin Belirlenmesi

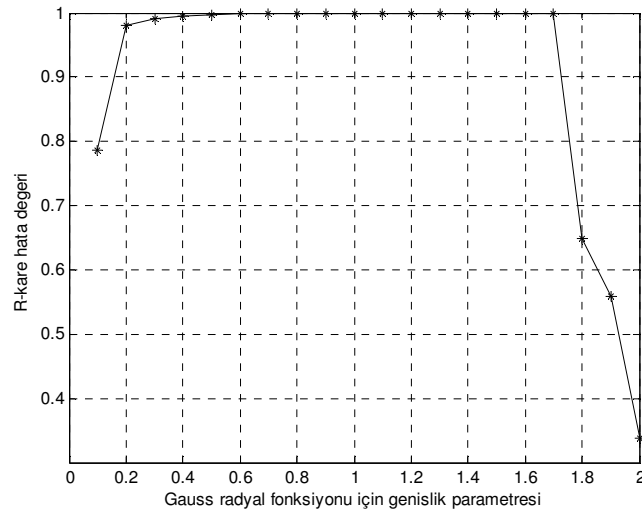
Bu bölümde, iletim hatlarında meydana gelen arızaların meydana geldiği noktanın RTF ağları ile bulunması sunulmuştur. Arıza yerlerini belirlemek için yapılan YSA benzetimleri, MATLAB Neural Network Toolbox kullanılarak gerçekleştirilmiştir [104]. Sunulan yöntem 4. bölümde belirlenen arıza tiplerine bağlı olarak çalışmaktadır. İletim hatlarında meydana gelen 1FTA, 2FA, 2FTA ve 3FSA'nın her biri için arıza yerlerini bulan bir RTF ağı kullanılmıştır. Tüm arıza tipleri için arıza yerini bulan tek bir YSA kullanılması, elde edilen sonuçların doğruluğunu olumsuz yönde etkileyeceğinden, bu çalışmada her bir arıza tipi için 1 YSA olmak üzere toplam 4 ayrı ağ kullanılmıştır (RTF-1, RTF-2, RTF-3, RTF-4). RTF ağının eğitimi ve testi için kullanılan veriler Şekil 3.5'teki prototip deney setinden elde edilmiştir.

Arıza direnci ve yükün değişmesi durumlarında, RTF ağının arıza yerlerini belirlemedeki başarısını incelemek için Şekil 3.22'deki ATP benzetiminden elde edilen veriler kullanılmıştır. Prototip deney setinden ve ATP benzetimlerinden elde edilen verilerin bir bölümü RTF ağının eğitimi için, geriye kalanlar ise test işlemi için kullanılmıştır. Arıza geçici durumlarına ait ayırt edici ve belirleyici özelliklerin elde edilmesi için ADD yöntemi kullanılmıştır. Arıza yeri belirlemede, RTF ağına giriş olarak uygulanacak akım ve gerilim verileri, arıza tipi belirlemede kullanılan veriler ile aynıdır. Arıza tipi belirlemedeki ağ çıkışları arıza tipleri iken, RTF ağının eğitiminde kullanılan çıkışlar arıza yerleridir. Şekil 6.4'te arıza yerini belirleme aşamaları görülmektedir.



Şekil 6.4 Arıza yeri belirleme aşamaları.

RTF ağının eğitimini etkileyen ve kullanıcı tarafından belirlenen Gauss fonksiyonu genişliğinin (σ_{ki}) en doğru sonucu verecek biçimde ayarlanması için farklı σ_{ki} değerleri kullanılmıştır. Şekil 6.5'te en uygun σ_{ki} değerinin belirlenmesi için $[0, 2]$ aralığında değişen farklı σ_{ki} değerleri ile yeniden eğitilen RTF ağının benzetim sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.5 En uygun σ_{ki} değerinin belirlenmesi.

Farklı değerler kullanılarak eğitilen RTF ağı başarımının en yüksek olduğu σ_{ki} değeri, 1.3 olarak bulunmuştur. Kullanıcı tarafından belirlenen ve Gauss RTF fonksiyonunun genişliğini ifade eden σ_{ki} değerinin, giriş vektörü ile ağırlıklar arasındaki en küçük uzaklık değerinden büyük, en büyük uzaklık değerinden ise küçük olması gerekir [126]. Bu değer çok küçük olması durumunda ağı genelleme kabiliyeti azalır. Genişlik değerinin çok büyük olması durumunda ise ağı eğitim süresi artar [104]. RTF ağına eğitiminin durdurulması için kullanılan, amaca yakınlık değeri ise 0,001 olarak seçilmiştir. Amaca yakınlık değeri, ağdan beklenen çıkış ile tahmin edilen çıkış arasındaki farktır. Ağ eğitimi, RTF ağına çıkışı ile beklenen çıkışlar arasındaki farka bağlı olarak hesaplanan ortalama karesel hata değeri, kullanıcı tarafından belirlenen amaca yakınlık değerine eşit ya da daha düşük oluncaya kadar devam eder. Bu değere ulaşıldığında ağ eğitimi kendiliğinden sona ermektedir.

RTF ağına eğitimi sonlandırmak için kullanılan diğer bir parametre, ağa dahil edilen nöron sayısının belirlenmesidir. MATLAB’da benzetimi yapılan RTF ağı için hesaplanan ortalama karesel hata değeri, amaca yakınlık değerinden büyük ise ara katmana 1 nöron ilave edilir. Bu işleme her döngüde bir nöron eklenerek devam edilir. Hesaplanan ortalama karesel hata değeri, amaca yakınlık değerinin altına düşünce ya da önceden belirlenen eklenecek nöron sayısına ulaşıncaya ağ eğitimi durdurulur. Bu çalışmada ağa ilave edilecek maksimum nöron sayısı 25 olarak seçilmiştir.

Şekil 3.5’teki prototip deney setinden elde edilen arızalı durum akım ve gerilim sinyallerine ait verilerin bir kısmı YSA’nın eğitimi için, daha önce ağa hiç uygulanmamış olan diğer veriler ise YSA’nın testi için kullanılmıştır. Her bir arıza tipi için 50 farklı arıza yerinden elde edilen 18x25 veri YSA’nın eğitimi için, geriye kalan 18x25 veri ise ağı test edilmesi için kullanılmıştır.

Tablo 6.1-4’de sırasıyla 1FTA, 2FA, 2FTA ve 3FSA için eğitilen RTF-1, RTF-2, RTF-3 ve RTF-4 ağlarının test sonuçlarının, DVM, ÇKA ve Elman ağlarının test sonuçlarıyla karşılaştırılması gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, RTF ağlarının DVM, ÇKA ve Elman ağlarına göre çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. RTF ağlarından sonra ÇKA ve DVM yöntemlerinin sonuçları dahi iyiyken, en kötü sonuçları Elman ağları üretmektedir.

Tablo 6.1 IFTA durumunda gerçek ve tahmin edilen arıza yerleri.

No	Gerçek	Tahmin Edilen Arıza Yerleri (km)							
	Arıza Yeri (km)	DVM	% Hata	ÇKA	% Hata	RTF	% Hata	Elman	% Hata
1	7,65	19,22	151,31	13,69	79,05	6,73	11,95	1,33	82,61
2	14,97	14,05	6,14	14,49	3,23	14,13	5,64	16,66	11,29
3	22,00	22,18	0,78	22,14	0,64	22,29	1,32	22,61	2,75
4	28,75	28,86	0,38	28,95	0,69	28,85	0,35	27,88	3,02
5	35,24	35,47	0,67	35,23	0,02	35,13	0,30	33,57	4,72
6	44,50	44,62	0,28	44,59	0,21	44,63	0,29	47,58	6,91
7	50,39	50,40	0,03	50,33	0,11	50,41	0,04	59,12	17,32
8	56,06	55,91	0,27	56,09	0,04	56,07	0,01	64,03	14,21
9	61,53	61,51	0,03	61,57	0,07	61,53	0,00	59,66	3,03
10	66,80	66,95	0,22	66,81	0,01	66,79	0,02	57,10	14,53
11	71,90	71,85	0,07	71,86	0,05	71,92	0,03	61,76	14,10
12	79,21	79,01	0,26	79,58	0,46	79,16	0,07	70,19	11,39
13	92,78	92,88	0,11	92,96	0,19	92,90	0,13	88,95	4,13
14	108,95	109,03	0,07	108,90	0,05	108,91	0,04	116,96	7,35
15	118,10	118,12	0,02	118,10	0,00	118,07	0,03	126,24	6,89
16	129,85	129,83	0,02	129,75	0,08	129,95	0,08	135,44	4,30
17	139,05	138,84	0,15	139,03	0,01	139,01	0,03	141,10	1,47
18	155,40	155,24	0,10	155,45	0,03	155,23	0,11	152,59	1,81
19	167,28	167,38	0,06	167,39	0,07	167,26	0,01	163,40	2,32
20	175,84	175,73	0,06	175,81	0,02	175,85	0,01	173,01	1,61
21	187,34	186,91	0,23	187,42	0,04	187,14	0,11	186,32	0,54
22	195,88	195,72	0,08	195,96	0,04	195,91	0,02	197,91	1,04
23	217,09	216,50	0,27	211,74	2,46	216,94	0,07	216,48	0,28
24	246,44	240,51	2,41	216,60	12,11	242,49	1,60	222,50	9,71
25	263,04	260,78	0,86	271,07	3,05	263,65	0,23	248,89	5,38
Ortalama hata (%)			6,59		4,11		0,89		9,30

Tablo 6.2 2FA durumunda gerçek ve tahmin edilen arıza yerleri.

No	Gerçek	Tahmin Edilen Arıza Yerleri (km)							
	Arıza Yeri (km)	DVM	% Hata	ÇKA	% Hata	RTF	% Hata	Elman	% Hata
1	7,65	7,73	1,07	7,70	0,66	7,73	1,11	3,63	52,54
2	14,97	15,61	4,22	14,91	0,41	14,99	0,09	11,38	23,97
3	22,00	24,62	11,88	26,36	19,80	22,16	0,73	18,75	14,80
4	28,75	28,39	1,26	28,79	0,15	28,75	0,02	25,85	10,08
5	35,24	34,80	1,24	35,28	0,13	35,23	0,02	32,65	7,34
6	44,50	44,16	0,78	44,54	0,09	44,50	0,01	41,86	5,93
7	50,39	50,30	0,18	50,36	0,06	50,39	0,01	49,93	0,91
8	56,06	56,16	0,18	56,16	0,17	56,05	0,02	55,04	1,82
9	61,53	61,56	0,05	61,60	0,12	61,51	0,03	60,36	1,90
10	66,80	66,87	0,10	66,93	0,19	66,77	0,05	65,67	1,70
11	71,90	71,76	0,19	71,79	0,14	71,91	0,01	71,95	0,08
12	79,21	79,37	0,21	79,11	0,12	79,22	0,02	79,98	0,97
13	92,78	93,09	0,33	93,17	0,42	92,81	0,03	91,09	1,81
14	108,95	108,91	0,04	109,16	0,19	108,88	0,06	104,91	3,71
15	118,10	117,20	0,76	118,12	0,02	117,97	0,11	118,26	0,14
16	129,85	130,09	0,18	130,12	0,21	129,80	0,04	130,94	0,84
17	139,05	140,75	1,22	140,76	1,23	138,72	0,24	142,82	2,71
18	155,40	155,85	0,29	155,48	0,05	155,34	0,04	154,80	0,39
19	167,28	166,97	0,19	167,30	0,01	167,25	0,02	166,04	0,74
20	175,84	174,95	0,51	175,69	0,09	175,80	0,02	176,00	0,09
21	187,34	186,92	0,22	187,07	0,14	187,30	0,02	185,81	0,82
22	195,88	196,53	0,33	196,23	0,18	196,07	0,10	196,91	0,53
23	217,09	218,74	0,76	217,16	0,03	217,10	0,00	213,44	1,68
24	246,44	245,80	0,26	264,15	7,19	251,61	2,10	240,50	2,41
25	263,04	257,80	1,99	261,26	0,68	261,49	0,59	275,24	4,64
Ortalama Hata (%)			1,13		1,29		0,21		5,70

Tablo 6.3 2FTA durumunda gerçek ve tahmin edilen arıza yerleri.

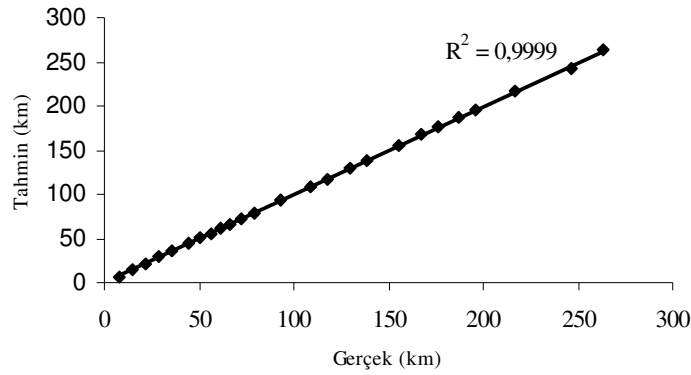
No	Gerçek	Tahmin Edilen Arıza Yerleri (km)							
	Arıza Yeri (km)	DVM	% Hata	ÇKA	% Hata	RTF	% Hata	Elman	% Hata
1	7,65	11,32	48,02	6,10	20,18	7,81	2,10	3,00	60,76
2	14,97	17,42	16,31	15,08	0,69	14,97	0,00	11,18	25,36
3	22,00	22,15	0,68	21,94	0,29	21,99	0,04	18,80	14,56
4	28,75	27,35	4,86	28,64	0,39	28,73	0,06	26,19	8,89
5	35,24	32,95	6,50	35,19	0,14	35,21	0,06	33,37	5,31
6	44,50	41,88	5,89	44,61	0,24	44,50	0,00	44,94	1,00
7	50,39	48,02	4,71	50,46	0,14	50,39	0,01	50,10	0,58
8	56,06	54,24	3,25	56,12	0,11	56,06	0,01	55,14	1,63
9	61,53	60,31	1,98	61,39	0,23	61,51	0,02	60,85	1,10
10	66,80	66,31	0,73	66,57	0,35	66,80	0,01	66,80	0,01
11	71,90	72,21	0,44	71,94	0,06	71,90	0,01	72,76	1,21
12	79,21	80,50	1,63	79,34	0,17	79,19	0,03	79,90	0,87
13	92,78	94,70	2,07	94,55	1,91	92,77	0,01	91,25	1,65
14	108,95	109,12	0,16	108,93	0,02	108,94	0,01	106,45	2,29
15	118,10	117,52	0,49	118,03	0,06	118,09	0,01	119,57	1,24
16	129,85	129,66	0,15	129,63	0,17	129,87	0,02	130,85	0,77
17	139,05	138,69	0,26	139,02	0,02	139,07	0,01	141,51	1,77
18	155,40	154,18	0,79	155,09	0,20	155,39	0,01	154,17	0,79
19	167,28	198,28	18,53	154,03	7,92	180,41	7,85	166,98	0,18
20	175,84	175,48	0,20	175,55	0,16	175,90	0,03	176,79	0,54
21	187,34	187,58	0,13	187,23	0,06	187,24	0,05	186,27	0,57
22	195,88	197,44	0,80	195,63	0,13	195,99	0,06	197,17	0,66
23	217,09	220,03	1,35	217,48	0,18	217,11	0,01	214,60	1,15
24	246,44	246,49	0,02	246,80	0,15	246,99	0,22	242,85	1,46
25	263,04	256,30	2,56	262,68	0,14	263,75	0,27	274,94	4,52
Ortalama hata (%)			4,90		1,36		0,43		5,55

Tablo 6.4 3FSA durumunda gerçek ve tahmin edilen arıza yerleri.

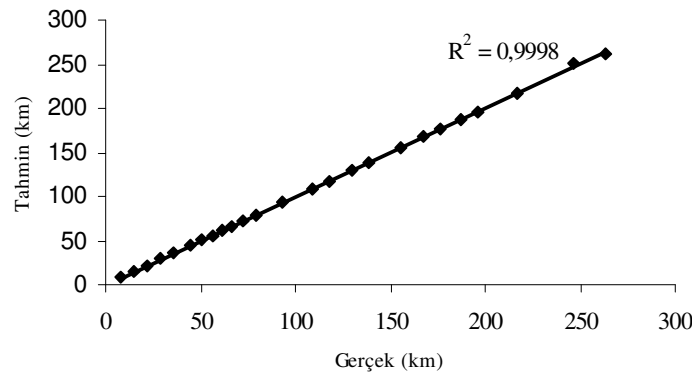
No	Gerçek	Tahmin Edilen Arıza Yerleri (km)							
	Arıza Yeri (km)	DVM	% Hata	ÇKA	% Hata	RTF	% Hata	Elman	% Hata
1	7,65	6,96	9,03	4,68	38,80	7,87	2,94	3,66	52,08
2	14,97	15,00	0,19	15,22	1,65	14,91	0,46	11,43	23,69
3	22,00	21,96	0,21	21,64	1,67	22,01	0,01	19,13	13,06
4	28,75	28,85	0,33	29,59	2,92	28,73	0,09	26,11	9,18
5	35,24	35,20	0,10	35,12	0,34	35,24	0,00	33,02	6,30
6	44,50	44,42	0,19	44,48	0,05	44,49	0,03	43,05	3,25
7	50,39	50,37	0,03	50,46	0,15	50,38	0,01	48,64	3,46
8	56,06	56,08	0,03	56,07	0,01	56,06	0,00	55,04	1,82
9	61,53	61,54	0,01	61,42	0,18	61,52	0,01	61,14	0,63
10	66,80	66,90	0,14	66,69	0,17	66,80	0,00	66,78	0,04
11	71,90	82,83	15,21	235,97	228,21	74,96	4,26	72,34	0,62
12	79,21	79,20	0,01	79,41	0,25	79,22	0,02	79,11	0,12
13	92,78	92,70	0,08	92,27	0,55	92,81	0,03	91,44	1,45
14	108,95	108,87	0,07	108,98	0,03	108,95	0,00	105,58	3,09
15	118,10	118,19	0,08	117,64	0,39	118,10	0,00	118,06	0,03
16	129,85	129,76	0,07	130,56	0,55	129,86	0,01	130,34	0,38
17	139,05	139,15	0,07	139,15	0,07	139,07	0,01	142,23	2,29
18	155,40	164,75	6,02	122,36	21,26	167,01	7,47	154,91	0,32
19	167,28	171,43	2,48	163,12	2,49	167,39	0,07	167,25	0,02
20	175,84	175,45	0,22	177,08	0,71	175,71	0,07	177,38	0,88
21	187,34	182,30	2,69	188,06	0,38	211,32	12,80	186,67	0,36
22	195,88	196,21	0,17	195,14	0,38	195,93	0,03	197,41	0,78
23	217,09	217,16	0,03	213,74	1,54	216,81	0,13	214,13	1,36
24	246,44	245,39	0,43	247,05	0,25	246,31	0,05	242,41	1,64
25	263,04	260,04	1,14	256,60	2,45	263,12	0,03	278,38	5,83
Ortalama hata (km)			1,56		12,21		1,141		5,30

RTF ağı, 50 farklı yerde meydana gelen arıza yerlerini oldukça yüksek bir doğrulukla tahmin etmektedir. En düşük başarı 1,59 km'lik ortalama hata ile RTF-4'e aittir. RTF-1, RTF-2 ve RTF-3 ağlarının ortalama hata oranı 1 km'nin altındadır. RTF ağı, birçok arıza yerini sıfır ya da sıfıra yakın bir hata ile tahmin etmiştir. 3FSA'nın tahminindeki hata oranının diğer arıza tiplerine göre biraz fazla olması, 187. km'de meydana gelen arızanın %12'lik bir hata oranı ile 211. km olarak tahmin edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu arıza yeri test veri setinden çıkarıldığında tahmin edilen tüm arıza durumları için ortalama hata oranı 350 m'yi aşmamaktadır. DVM, ÇKA ve Elman ağlarının sonuçlarına bakıldığında, RTF ağının başarı oranlarından oldukça düşük başarı sağlandığı görülmektedir. Bu ağ yapılarına ait detaylı bilgiler EK-3'te verilmiştir.

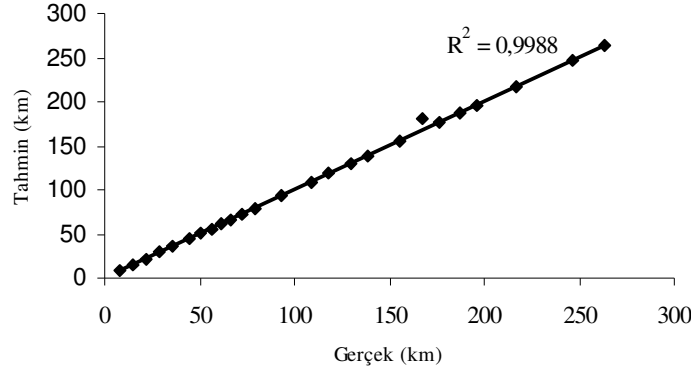
Regresyon için kullanılan DVM yönteminin, özellikle hat başına ve hat sonuna yakın yerlerde meydana gelen arızaların yerini oldukça düşük bir başarı oranı ile tahmin ettiği görülmektedir. RTF ağının performansını daha iyi değerlendirebilmek için R^2 testi uygulanmıştır. Şekil 6.6-9'da RTF ağının 4 farklı arıza tipi için R^2 testi sonuçları görülmektedir.



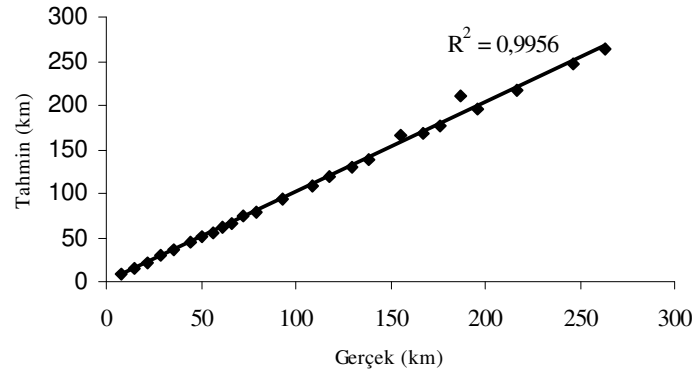
Şekil 6.6 Tek-faz toprak arızası durumu için R^2 testi sonuçları.



Şekil 6.7 İki-faz arızası durumu için R^2 testi sonuçları.



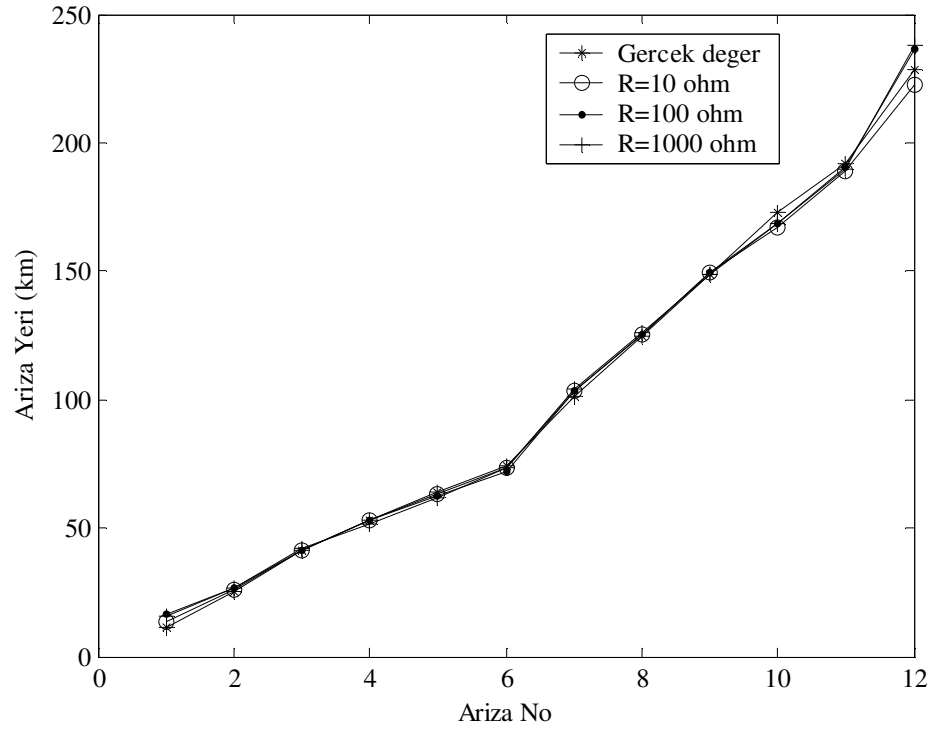
Şekil 6.8 İki-faz toprak arızası durumu için R^2 testi sonuçları.



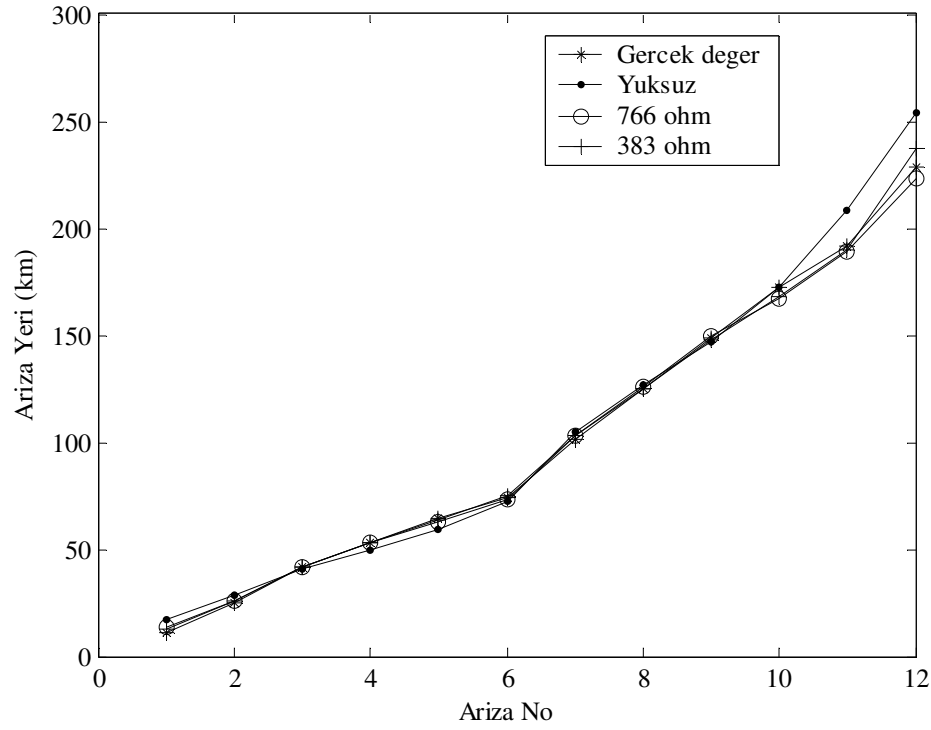
Şekil 6.9 Üç fazlı simetrik arıza durumu için R^2 testi sonuçları.

Daha önce de bahsedildiği gibi, arıza yeri ve tipinin belirlenmesini etkileyen faktörlerden biri, kısa devre sonucu oluşan arıza direncidir. Arıza direnci, kısa devrede arıza noktası ile toprak arasında oluşan ark direnci, kısa devre akımını sınırlamak için bağlanan empedans ya da toprağa temas esnasındaki geçiş direncidir. Arıza geçiş direnci, arazi şartlarına göre değişiklikler gösterebilmektedir. Arıza direncinin değişimi arıza geçici olaylarını etkilediği için, arıza geçici durumlarına göre arıza yerini ve tipini belirleyen yöntemlerin çalışmasını da etkilemektedir. Arıza direncinin arıza yerini belirlemedeki etkisini incelemek için, Şekil 3.22'deki ATP modeline sırasıyla 10, 100 ve 1000 Ω 'luk dirençler ilave edilmiştir. RTF ağının farklı arıza dirençleri kullanılması durumundaki test başarımı Şekil 6.10'da görülmektedir.

Arıza geçici durumlarını etkileyen diğer faktörlerden biri de, hattın beslediği yüklerin değişimidir. Şekil 6.11'de yüksüz durum, 383 Ω ve 766 Ω yük olması durumu için RTF ağının arıza yeri belirlemedeki test başarımı görülmektedir. Daha önceki arıza yeri belirleme uygulamaları farklı oluş açılarında meydana gelen arıza geçici durum bilgilerini içerdiği için, arıza yeri belirlenmesini etkileyen bu etkene yeniden değinilmemiştir.



Şekil 6.10 Farklı arıza dirençleri ile eğitilen RTF ağının test başarımları sonuçları.



Şekil 6.11 Farklı yük durumları için eğitilen RTF ağının test başarımları sonuçları.

Şekil 6.10'a bakıldığında, arıza direncinin artmasıyla birlikte RTF ağının test başarımının düştüğü görülmektedir. Buna rağmen, en yüksek ortalama hata değerinin arıza direnci 1000 Ω iken 1,75 km.yi aşmadığı görülmektedir.

Şekil 6.14'te ise, farklı yük durumları için eğitilen RTF ağının en yüksek hatayı yüksüz durumda gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni başarı oranının, özellikle generatöre ve hat sonuna yakın yerlerde oluşan arızalarda düşük olmasıdır. Diğer noktalarda ise, meydana gelen arıza yerlerinin 1 km'nin altındaki hata oranı ile doğru olarak tahmin edildiği görülmektedir. Diğer yük durumlarında ise, RTF ağının arıza yerlerini 1 km'nin altında bir hata oranı ile tahmin ettiği görülmektedir. Tablo 6.5'te, enerji iletim hatlarında meydana gelen kısa devre arızalarının yerini bulmak için yapılan bazı çalışmalardaki başarı oranları verilmiştir [3]. Tablo 6.5'te A ile belirtilen çalışmalar sadece hattın tek tarafından alınan verileri kullanmış, B ile gösterilen çalışmalar ise iletim hattının her iki tarafından alınan verileri kullanmıştır.

Tablo 6.5 Arıza yerini belirleme yöntemleri ve hata oranları.

Kullanılan Yöntem	Hattın besleme durumu	
	Tek taraftan	İki taraftan
	% hata	% hata
A1 Sant, Tech and Paithankar	20.12	22.76
A2 Wiszensiki	24.85	26.63
A3 Takagi, Yamakoshi, Baba, Uemura and Sakaguchi	4.13	7.23
A4 Takagi, Yamakoshi, Yamaura, Kondow and Matsushima	3.85	6.82
A5 Eriksson, Saha, Rockefeller	6.97	7.65
A6 Girgis, Makram	5.84	6.23
B1 Jeyasurha & Rahmen	2.02	2.14
B2 A.T. Johns, Jamali	1.37	1.51
B3 Novosel, Hart, Urden and Garitty	9.62	9.73
B4 Jiang, Lin, Yang, Too and Liu	1.32	1.40
B5 Cook	8.12	8.26
B6 Sachdev and Agarwal	6.42	6.64

Tablo 6.5'teki sonuçlara bakıldığında, B2 ve B4 ile gösterilen çalışmaların diğerlerine göre daha düşük bir hata oranı ile arıza yerlerini buldukları görülmektedir. Bu tez çalışmasında önerilen yöntemin ise, % 0,67'lik bir hata oranı ile arıza yerlerini belirlediği görülmüştür.

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Enerji iletim hatlarında meydana gelen kısa devre arızaları güç sistemlerinde görülen en önemli olaylardan biridir. İletim hattının herhangi bir noktasında meydana gelen bir kısa devre arızası güç sistemi elemanlarına büyük hasarlar verebilir. Kısa devre arızaları sonucu meydana gelen uzun süreli enerji kesintileri büyük ekonomik zararlara neden olur. Bu zararları en aza indirmek için, meydana gelen arızanın hızlı bir biçimde tespit edilip arızalı kesimin sistemden çıkarılması ve arızanın onarılması gerekir.

Bu tez çalışmasında, güç sistemlerinde meydana gelen kısa devre arızalarının yerini ve tipini doğru ve hızlı bir biçimde tespit eden bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntem başlıca dört temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama, kullanılacak verilerin elde edilmesidir. Bu amaçla, 380 kV–360 km’lik prototip bir güç sisteminde dört arıza tipi (1FTA, 2FA, 2FTA ve 3FSA) için 50 farklı noktada kısa devre arızaları meydana getirilmiştir. Bir veri iletişim kartı ile arıza anındaki akım ve gerilim sinyalleri bilgisayar ortamına alınarak kaydedilmiştir. Veri iletişim kartının örnekleme frekansı, yaklaşık olarak 6200 Hz’dir. Hat konfigürasyonunun kolaylıkla değiştirilebilmesi için, ATP programı kullanılarak prototip güç sisteminin benzetimi yapılmıştır. ATP benzetimi sayesinde arıza direnci, hattın beslediği yük değişimleri ve hattın birden fazla kaynak ile beslenmesi gibi durumlarda meydana getirilen arızalara ait veriler kolaylıkla elde edilmiştir. Arızalı ve sağlam fazlar için, yarım periyodu arıza öncesi ve diğer yarım periyodu arıza sonrası olmak üzere toplam bir periyotluk sinyaller ele alınmıştır.

İkinci aşamada ise, literatürde diğer sinyal analiz yöntemlerine göre üstünlükleri ispatlanmış olan, ADD yöntemiyle sinyallere ait ayırt edici özellikler çıkarılmıştır. Daubechies-4 ana dalgacığı kullanılarak, üç seviyede ayrıştırılan akım ve gerilim sinyallerinin sadece detay katsayıları kullanılmıştır. Bunun nedeni, yaklaşık katsayılarının düşük frekans bileşenlerini içermesidir. ADD ile elde edilen detay katsayılarının fazla olması nedeniyle dalgacıkların düzensizlik derecelerini hesaplayan entropi yöntemi kullanılarak veri sayısı düşürülmüştür. Bu sayede, her bir detay katsayı matrisi için bir entropi değeri hesaplanmış ve böylece her biri 19957 veriden oluşan toplam 1200 akım ve gerilim sinyali için her bir arızaya ait 18 ayırt edici özellikten oluşan 200x18’lik bir veri matrisi elde edilmiştir.

Üçüncü aşamada, bir önceki aşamada elde edilen indirgenmiş akım ve gerilim verileri kullanılarak meydana gelen arızaların tipi belirlenmiştir. Arıza tipini belirlemek için oldukça yeni bir istatistiksel öğrenme algoritması olan destek vektör makineler yöntemi kullanılmıştır.

Destek vektör makineler yöntemi, temelde iki sınıflı problemlerin çözümü için geliştirildiğinden, bu yöntemin birden fazla sınıftan oluşan problemlerin çözümünde kullanılan güncellenmiş bir sürümü olan çok sınıflı destek vektör makineler yöntemi kullanılmıştır. ADD

katsayılarına entropi ölçütü uygulanarak elde edilen verilerin yarısı sınıflandırıcının eğitimi için, diğer yarısı ise test işlemi için kullanılmıştır. Destek vektör makineler sınıflandırıcısından en yüksek başarı oranını elde etmek için, kullanıcı tarafından belirlenen düzenleme katsayısı C ve çekirdek fonksiyonu sabiti σ 'nın en uygun değerleri araştırılmıştır. Çapraz geçerlik testi kullanılarak en uygun C parametresi 1000 ve σ değeri 1 olarak bulunmuştur. Çekirdek fonksiyonu olarak ise daha iyi sonuçlar veren ve daha yaygın olarak kullanılan radyal tabanlı fonksiyon tercih edilmiştir. Farklı arıza tipleri için eğitilen çok sınıflı destek vektör makineler yöntemi, daha önce kullanılmamış verilerle test edilmiş ve 100 arızadan 99'u doğru olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırıcının başarı geçerliliğini değerlendirmek için ikinci bir çapraz geçerlik testi uygulanmış ve bu kez her seferinde 160x18 veri eğitim için, 40x18 veri test işlemi için kullanılmıştır. 5 katlı çapraz geçerlilik testi sonucunda bütün arızaların doğru olarak sınıflandırıldığı görülmüştür. Çoklu destek vektör makinelerin arıza tiplerini sınıflandırmadaki başarısını değerlendirmek için Bayes sınıflandırıcıları k-en yakın komşuluklar algoritması, olasılıksal sinir ağları, geri yayımlı-çok katmanlı algılayıcı ağları, RTF ağları ve Elman ağları gibi sınıflandırıcılar kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Kullanılan sınıflandırıcılarının test başarımları incelendiğinde çok katmanlı algılayıcı ve olasılıksal sinir ağlarının da, destek vektör makineler sınıflandırıcısı gibi %99 başarı oranı sağladığı görülmüştür. Genelleme özelliğinin yüksek olması, az sayıda veri kullanarak da doğru sonuçlar verebilmesi ve özellikle eğitimi için harcanan sürenin az olması çoklu destek vektör makineler yöntemini üstün kılmış ve bu yüzden bu tez çalışmasında tercih edilmiştir.

Dördüncü ve son aşamada ise, kısa devre arızalarının meydana geldiği noktalar tespit edilmiştir. Arıza yerinin belirlenebilmesi için öncelikle arıza tipinin belirlenmiş olması gerekir. Arıza yerinin belirlenmesinde RTF ağları kullanılmıştır. Tüm arıza tipleri için tek bir sinir ağ yapısının kullanılması sonuçları olumsuz yönde etkilediğinden dolayı, belirlenen her bir arıza tipi için 1 radyal tabanlı sinir ağ yapısı oluşturulmuştur. Böylece 1FTA, 2FA, 2FTA ve 3FSA için toplam 4 sinir ağ yapısı kullanılmıştır. RTF'nin yapısındaki doğrusal olmayan radyal transfer fonksiyonunun genişlik katsayısının belirlenmesi için farklı değerler test edilmiş ve en uygun değer 1,3 olarak tespit edilmiştir. Her bir sinir ağ yapısının eğitimi için 25x18 veri kullanılmış, geriye kalan 25x18 boyutundaki veri seti de RTF'nin test edilmesi için kullanılmıştır. Böylece 100 arıza durumuna ait veriler yapay sinir ağlarının eğitiminde, geriye kalan 100 arıza durumuna ait veriler ise ağın test edilmesinde kullanılmıştır. Arıza tiplerinin belirlenmesinde olduğu gibi, öncelikle arıza noktasından alınan 1 periyotluk akım ve gerilim sinyallerine ADD yöntemi uygulanmış, daha sonra DD'den elde edilen detay katsayılarına entropi ölçütü uygulanarak her bir arıza durumu için 18 ayırt edici özellik elde edilmiştir. RTF, en kötü sonucu %1,14'lük ortalama hata oranı ile 3FSA durumunda vermiştir. Bu arıza tipinde

arıza yeri belirlemedeki ortalama hata, sadece birkaç arıza yerinin daha yüksek bir hata oranı ile tespit edilmesinden dolayı yüksek çıkmıştır. Ortalama 1,59 km'lik hata oranına rağmen bu arıza tipindeki arıza noktalarının çoğu 100 m'nin altında olan bir hata oranı ile tespit edilmiştir. Diğer arıza tipleri için ise ortalama hata oranı 1 km'nin altındadır. RTF'nin başarımlarının değerlendirilebilmesi için elde edilen sonuçlar, geri yayılım algoritması kullanan ileri beslemeli, ÇKA ağları, Elman ağları ve destek vektör makineler yönteminin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları incelendiğinde, RTF'nin test başarımlarının diğer yöntemlerine göre çok daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Çok katmanlı algılayıcı ağları ve destek vektör makineler yönteminin sonuçları nispeten iyi olduğu halde, Elman ağlarının arıza yeri belirlemede yetersiz kaldığı görülmüştür. Arıza tipi ve yerinin belirlenmesi için yapılan bu çalışmada getirilen yenilikler ve yöntemin kazandırdığı avantajlar şunlardır:

1. Arıza durumlarına ait veriler güç sistemin sadece bir noktasından alınmış, böylece sistemin her iki ucundan veri alan yöntemlere göre daha az veri ile sınıflandırma ve tahmin yapılmıştır.
2. Arıza durumlarına ait hem akım hem de gerilim sinyallerinin birlikte kullanılması, kullanılacak veri sayısını arttırmakla birlikte sinyallere ait daha fazla ayırt edici özellik elde edilmesini sağlamıştır.
3. Arıza durumlarına ait akım ve gerilim sinyalleri ADD yöntemi ile zaman-frekans bölgesinde analiz edilerek daha ayırt edici özellikler elde edilmiştir.
4. DD katsayılarının entropi değerleri hesaplanmış, böylece veri sayısı büyük oranda azaltılmıştır.
5. Çok sınıflı destek vektör makineler yönteminin kullanılması, arıza tipinin mevcut yöntemlere göre daha hızlı ve doğru olarak belirlenmesini sağlamıştır.
6. Arıza yerini belirlemek için RTF ağları kullanılmış ve bu yöntemin, arıza yerlerini diğer yöntemlere göre daha yüksek bir doğruluk oranıyla belirlediği görülmüştür.
7. Arıza tipi ve yerini bulmak için değişik sinir ağ modelleri denenmiş, elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak önerilen yöntemin başarımları ve üstünlükleri gösterilmiştir.

İlerideki çalışmalarda, bu tez çalışmasında önerilen yöntemleri kullanan gerçek zamanlı bir uygulama yapılabilir. Bu amaçla, öncelikle önerilen yöntemin daha karmaşık yapıya sahip güç sistemlerine uygulanarak, geçerlilik ve güvenilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında bahsedilmeyen ve arıza geçici durumlarına etkisi olan seri kompanzasyonu yapılmış iletim hatlarında meydana gelen arıza durumları için önerilen yöntemin başarımları incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. El-Hawary, M.E., 2000, *Electrical Energy Systems*. CRC Press LLC, Boca Raton, 361p.
2. Çakır, H., 1986, *Elektrik Güç Sistemleri Analizi*. Nesil Yayıncılık San. Tic., 337s.
3. Kawady, T.A.S., 2005, Fault Location Estimation in Power Systems with Universal Intelligent Tuning, Doktora Tezi, Darmstadt Teknik Üniversitesi, 143s.
4. Hanninen, S., Single Phase Earth Faults In High Impedance Grounded Networks, Characteristics, Indication and Location, Espoo 2001, Technical Research Centre of Finland, VTT Publications 453, 78s.
5. Kezunovic, M., 1981, Digital protective relaying algorithms and systems-an overview, Electric Power Systems Research, 4, 3, 167-80.
6. Davall, P.W., 1980, Yeung, G.A., A software design for a computer based impedance relay for transmission line protection, IEEE Trans. on Power App. and Systems, PAS-99, 1, 235-45.
7. Cook, V., 1986, Fundamental aspects of fault location algorithms used in distance protection, IEE Proceedings-C, Generation, Transm. and Distrib., 133, 6, 359-368.
8. Hassan, A.A.M., 1990, A fast microprocessor-based computational algorithm for transmission line fault impedance, Electric Power Systems Research, 19, 57-9.
9. Youssef, O.A.S., 1992, Fundamental approach to impedance relaying, IEEE Trans. on Power Delivery, 7, 4, 1861-70.
10. Igel, M., Koglin, H.J., Schegner, P., 1991, New algorithms for earth fault distance protection in insulated and compensated networks, European Transaction in Electrical Power, 1, 5, 253-259.
11. Sachdev, M.S., Sidhu, T.S., 1993, A technique for estimating the location of a transmission line shunt fault, Electrical and Computer Engineering, Canadian Conference on, 1, 562-565
12. Crossley, P.A., McLaren, P.G., 1983, Distance protection based on travelling waves, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, PAS-102, 9, 2971-2983.
13. Bollen, M.H.J., 1989, Extensive testing of algorithms for travelling wave based protection, 4th Int. Conf. on Developments in Power System Protection, IEE Pub., No.302, 135-139.
14. Christopoulos, C., Thomas, D.W.P., Wright, A., 1989, Signal processing and discriminating techniques incorporated in a protective scheme based on travelling waves, IEE Proceedings-C, 136, 5, 279-288.

15. Bollen, M.H.J., 1993, Travelling-wave based protection of double-circuit lines, IEE Proceedings-C, 140, 1, 37-47.
16. Chanda, D., Kishore, N.K., Sinha, A.K., 2004, A wavelet multi-resolution based analysis for location of the point of strike of a lightning over voltage on a transmission line, IEEE Trans. on Power Delivery, 19, 4, 27-33.
17. Girgis, A.A., 1982, A new Kalman filtering based digital distance relay, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, 101, 9, 3471-3480.
18. Girgis, A.A., Hart, D.G., 1989, Implementation of Kalman and adaptive Kalman filtering algorithms for digital distance protection and vector/signal processor, IEEE Trans. on Power Delivery, 4, 1, 141-56.
19. Pinto de Sa, J.L., 1992, A new Kalman filter approach to digital relaying, IEEE Trans. on Power Delivery, 7, 3, 1652-1660.
20. Chaari, O., Bastard, P., Meunier, M., 1995, Prony's method: an efficient tool for the analysis of earth fault currents in Petersen coil protected networks, IEEE Trans. on Power Delivery, 10, 3, 1234-41.
21. Greenwood, A., 1971, *Electrical Transients in Power Systems*. Wiley-Interscience, 544p.
22. Hector, J.A.F., Ismael, D.V., Ernesto, V.M., 1996, Fourier and Walsh digital filtering algorithms for distance protection, IEEE Trans. on Power Systems, 11, 1, 457-462.
23. Jiang, J.A., Yang, J.Z., Lin, Y.H., Liu, C.W., Ma, J.C., 2000, An adaptive PMU based fault detection/location technique for transmission lines, IEEE Trans. Power Delivery, 15, 486-493.
24. Morlet, J., 1982, Wave propagation and sampling theory and complex waves, Technical Report, Geophysics, 47, 2, 222-236.
25. Chaari, O., Neunier, M., Brouaye, F., 1996, Wavelets: A new tool for the resonant grounded power distribution system relaying, IEEE Transaction on Power Delivery, 11, 3, 1301-1308.
26. Youssef, O.A.S., 2002, New algorithm to phase selection based on wavelet transforms, IEEE Trans. on Power Delivery, 17, 4, 908-914.
27. Kim, C.H., Kim, H., Ko, Y., Byun, S.H., Aggarwal, R.K., Johns, A.T., 2002, A novel fault-detection technique of high-impedance arcing faults in transmission lines using the wavelet transform, IEEE Trans. on Power Delivery, 17, 4, 921-929.
28. Cichocki, A., Lobos, T., 1994, Artificial neural networks for real-time estimation of basic waveforms of voltages and currents, IEEE Trans. on Power Systems, 9, 2, 612-8.

29. Perez, L.G., Flechsiz, A.J., Meador, J.L., Obradovic, A., 1994, Training an artificial neural network to discriminate between magnetizing inrush and internal faults, IEEE Trans. on Power Delivery, 9, 1, 434-41.
30. Li, K.K., Lai, L.L., David, A.K., 2000, Application of artificial neural network in fault location technique, International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 226-231.
31. Chakravarthy, S.K., Nayar, C.V., Achuthan, N.R., 1992, Applying pattern recognition in distance relaying part 2: feasibility, IEE Proceedings-C, 139, 4, 306-14.
32. Tan, J.C., Crossley, P.A., McLaren, P.G., Gale, P.F., Hall, I., Farrell, J., 2001, Application of a wide area back-up protection expert system to prevent cascading outages, 2001 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2, 903-908.
33. So, C.W., Li, K.K., Lai, K.T., Fung, K.Y., 1997, Application of genetic algorithm for overcurrent relay coordination, 6th Int. Conf. on Developments in Power System Protection, IEE, 434, 66-69.
34. Kumar, P., Jamil, M., Thomas, M.S., Moinuddin, 1999, Fuzzy approach to fault classification for transmission line protection, Proceedings of the IEEE Region 10 Conference, TENCN 99, 2, 1046-1050.
35. Dalstein, T., Kulicke, B., 1995, Neural network approach to fault classification for high speed protective relaying, IEEE Trans. on Power Delivery, 10, 2, 1002-1011.
36. Novosel, D., Bachmann, B., Hart, D., Hu, Y., Saha, M.M., 1996, Algorithms for locating faults on series compensated lines using neural network and deterministic methods, IEEE Trans. on Power Delivery, 11, 4, 1728- 1736.
37. Dalstein, T., Friedrich, T., Kulicke, B., Sobajic, D., 1996, Multi neural network based fault area estimation for high speed protective relaying, IEEE Trans. on Power Delivery, 11, 2, 740-747.
38. Sanaye-Pasand, M., Malik, P., 1998, High speed transmission system directional protection using an Elman network, IEEE Transactions on Power Delivery, 13, 4, 1040-1045.
39. Lin, W.M., Yang, C.D., Lin, J.H., Tsay, M.T., 2001, A fault classification method by RBF neural network with OLS learning procedure, IEEE Trans. on Power Delivery, 16, 4, 473-477.
40. Sałat R., Osowski S., 2000, Fault location in transmission line using self-organizing neural network, World Congress on Computers-Signal Processing Conf., 1585-1588.
41. Wang, H., Keerthipala, W.W.L., 1998, Fuzzy-neuro approach to fault classification for transmission line protection, IEEE Transactions on Power Delivery, 13, 4, 1093-1104.

42. Dash, P.K., Padhan, A.K., Panda, G., 2000, A novel fuzzy neural network-based distance relaying scheme, IEEE Trans. Power Delivery, 15, 902-907.
43. Vasilic, S., Kezunovic, M., 2005, Fuzzy ART neural network algorithm for classifying the power system faults, IEEE Trans. on Power Delivery, 20, 2, 1306-1314.
44. Song, Y.H., Johns, A.T., Xuan, Q.Y., Liu, J.Y., 1997, Genetic algorithm based neural networks applied to fault classification for EHV transmission lines with a UPFC, 6th Int. Conf. on Developments in Power System Protection, IEE 434, 278-281.
45. Martin, F., Aguado, J.A., 2003, Wavelet-based ANN approach for transmission line protection, IEEE Trans. on Power Delivery, 18, 4, 1572-1574.
46. Cheong, W.J., Aggarwal, R.K., 2002, Accurate fault location in high voltage transmission systems comprising an improved thyristor controlled series capacitor model using wavelet transforms and neural network, Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2, 840-845.
47. Gilany, M.I., Malik, O.P., Hope, G.S., 1992, A digital protection technique for parallel transmission lines using a single relay at each end, IEEE Trans. on Power Delivery, 7, 1, 118-125.
48. Gracia, J., Mazon, A.J., Zamora, I., 2005, Best ANN structures for fault location in single-and double-circuit transmission lines, IEEE Trans. on Power Delivery, 20, 4, 2389-2395.
49. ANSI/IEEE Std. 100, 1992, Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms.
50. Burke, J.J., Lawrence, D.J., 1984, Characteristics of fault currents on distribution systems, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, PAS-103, 1, 1-6.
51. Short, T.A., 2004, *Electric Power Distribution Handbook*. CRC Press LCC, 773p.
52. Van Der Sluis, L., 2001, *Transients in Power Systems*. John Wiley & Sons Ltd., 207p.
53. IEEE Standard 1159-1995, Recommended Practice on Monitoring Electric Power.
54. El-Hawary, M.E., 1995, *Electrical Power Systems: Design and Analysis Revised Printing*. IEEE Press, New York, 808p.
55. Alperöz, N., 1987, *Elektrik Enerjisi Dağıtımı*. Nesil Matbaacılık Yayıncılık San. Tic. A.Ş., İstanbul, 342s.
56. Bi, T., Wen, F., Ni, Y., Wu, F.F., 2002, Distributed fault section estimation systems using radial basis function neural network and companion fuzzy system, Electrical Power and Energy Systems, 25, 5, 377-386.
57. Resmi Gazete, 2000, *Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği*. Sayı: 22280.
58. Chang, C.S., Tian, L., Wen, F.S., 1999, A new approach to fault section estimation in power systems using Ant system, Electric Power Systems Research, 49, 63-70.

59. De Lorenzo Engineering, Teaching Systems for Technical Training, DL GTU 102.2.
60. Erentürk, K., 2002, Güç Sistemleri İçin Akıllı Bir Röle Tasarımı, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 138s.
61. Palo Alto, C.A., 1989, *Electromagnetic Transient Program (EMTP) - Rule Book*, EPRI EL 6421-1, Electric Power Research Institute.
62. Natick, M.A., 2002, *Using MATLAB, Version 6*, The MathWorks Inc.
63. Prikler, L., Hoidalén, H.K., 2002, *ATPDraw Version 3.5, User's Manual, Preliminary Release 1.0.*, 198-200.
64. CanAm EMTP User Group, 1992, *Alternative Transients Program (ATP) - Rule Book*.
65. Pongsak, M., Sulee, B., 2002, Fault diagnosis in transmission lines using wavelet transform analysis, Proc. of IEEE Power Eng. Soc. Trans. Distrib. Conf., 3, 2246-2250.
66. Michalik, M., Okraszewski, T., 2003, Application of the wavelet transform to backup protection of MV networks - wavelet phase comparison method, 2003 IEEE Bologna PowerTech Proceedings, 23-26.
67. Chanda, D., Kishore, N.K., Sinha, A.K., 2004, Identification and classification of fault on transmission lines using wavelet multi-resolution analysis, Electric Power Components and Systems, 32, 4, 391-405.
68. Fernández R.M.C., Rojas, H.N.D., 2002 An overview of wavelet transforms in power system, Proceedings of the 14th Power System Computational Conference (PSCC'02), Sevilla, Spain, 24-28.
69. Kaiser, G., 1994, *A Friendly Guide To Wavelets*. Birkhauser Boston, 324p.
70. Weiss, L.G., 1994, Wavelets and wideband correlation processing, IEEE Signal Processing Magazine, 13-32.
71. Burrus, C.S., Gopinath, R.A., Guo, H., 1998, *Introduction To Wavelets And Wavelet Transforms: A Primer*. Upper Saddle River, NJ (USA): Prentice Hall, 282p.
72. Sheng, Y., 1996, *Wavelet Transform*, In: A.D. Poularikas (Ed.), *The Transforms and Applications Handbook*, CRC Press, 747-827.
73. Daubechies, I., 1992, *Ten Lectures On Wavelets, 2nd ed.*. Philadelphia: SIAM, CBMS-NSF regional conference series in applied mathematics, 61p.
74. Hubbard, B.B., 1998, *The World According To Wavelets: The Story Of A Mathematical Technique In The Making*. A.K. Peters, Ltd., Natick, MA, USA, 264p.
75. Mallat, S.G., 1989, A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intell., 11, 7, 674- 693.
76. Vetterli, M., Herley, C., 1992, Wavelets and filter banks: theory and design, IEEE Trans. on Signal Processing, 40, 9, 2207-2232.

77. Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., Poggi, J.M., 2005, *Wavelet Toolbox, For Use with MATLAB*. The MathWorks, User's Guide, Ver:3,
78. Momoh, J. and Rizy, T., 1996, Application of wavelet theory to power distribution systems for fault detection, Proceeding of International Conference on Intelligent Systems Applications, 345-350.
79. Özgönel, O., Önbilgin, G., Kocaman, Ç., 2004, Wavelets and its applications of power system protection, 17, 2, 77-90.
80. Lee, C.H., Wang, Y.J., Hang, W.L., 2000, A literature survey of wavelets in power engineering applications, Proceeding of National Science Council, 24, 4, 249-258.
81. Lin, X., Liu, P., Cheng, S., 2000, Effective transmission line fault detection during power swing with wavelet transform, IEEE Power Eng. Society Winter Meeting, 3, 1950-1955.
82. Lai, T.M., Snider, L.A., 2005, High-impedance fault detection using wavelet transform and frequency range and RMS conversion, IEEE Trans. on Power Delivery, 20, 397-407.
83. Zhang, N., Kezunovic, M., Transmission line boundary protection using wavelet transform and neural network, IEEE Trans. on Power Delivery, 22, 2, 859-869.
84. Türkoğlu, İ., 2002, Durağan Olmayan İşaretler İçin Zaman-Frekans Entropilerine Dayalı Akıllı Örüntü Tanıma, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 112 s.
85. Hanbay, D., 2007, Yapay Sinir Ağı Tabanlı Akıllı Yöntemlerle Karmaşık Sistemlerin Modellenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 100s.
86. He, Z., Cai, Y., Qian, Q., 2004, A study of wavelet entropy theory and its applications in power systems, Proceedings of the 2004 International Conference on intelligent Mechatronics and Automation, 847-851.
87. Coifman, R.R., Wickerhauser, M.V., 1992, Entropy-based algorithms for best basis selection, IEEE Transactions on Information Theory, 38, 2, 713-718.
88. Shinde, A.D., 2004, A wavelet packet based sifting process and its application for structural health monitoring, Proc. of the 2004 American Control Conf., 5, 4219-4224.
89. Zhang, N., 2006, Advanced Fault Diagnosis Techniques and Their Role in Preventing Cascading Blackouts, Doktora Tezi, Texas A&M University, 175 s.
90. Elmas, Ç., 2003, *Yapay Sinir Ağları*, Seçkin Yayıncılık, 192 s.
91. Öztemel, E., 2003, *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık, 232 s.
92. Vasilic, S., 2004, Fuzzy Neural Network Pattern Recognition Algorithm for Classification of The Events in Power System Networks, Doktora Tezi, Texas A&M University, 132 s.
93. Pasand, M.S., Zadeh, H.K., 2003, Transmission line fault detection & phase selection using ANN, International Conference on Power Systems Transients, IPST 2003, 1-6.

94. Swarup, K.S., Chandrasekharaiah, H.S., 1991, Fault detection and diagnosis of power systems using artificial neural networks, Proceedings of 3rd International Conference on Neural Networks to Power Systems, 102-106.
95. Sharaf, A.M., Snider, L.A., Debnath, K., 1993, A neural network based relaying scheme for distribution system high impedance fault detection, Proceedings of 1993 The First New Zealand International Two-Stream Conference on Artificial Neural Networks and Expert Systems, 321-324.
96. Khorashadi-Zadeh, H., 2004, A novel approach to detection high impedance faults using artificial neural networks, Proceeding of 39th International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2004, 373-376.
97. Novosel, D., Bachmann, B., Hart, D., Hu, Y., Saha, M.M., 1996, Algorithms for locating faults on series compensated lines using neural network and deterministic methods, IEEE Transactions on Power Delivery, 11, 4, 1728-1736.
98. Chowdhury, F.N., Aravena, J.L., 1998, A modular methodology for fast fault detection and classification in power systems, IEEE Transactions on Control Systems Technology, 6, 5, 623-634.
99. Al-Hassawi, W.M., Abbasi, N.H., Mansour, M.M., 1996, A neural network based approach for fault classification and faulted phase selection, Proceedings of Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, CCECE 1996, 1, 384-387.
100. Khorashadi-Zadeh, H., 2004, Artificial neural network based approach to fault classification for double circuit transmission lines, 2004 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Latin America, 859-862.
101. Bouthiba, T., 2004, Fault location in EHV transmission lines using artificial neural networks, Int. J. Applied Math. Comput. Science, 14, 1, 69-78.
102. Kröse, B., Van Der Smagt, P., 1996, *An Introduction to Neural Network, Eighth Edition*. The University of Amsterdam, 134p.
103. Fyfe, C., 1996, *Artificial Neural Networks, Edition 1.1*. Department of Computing and Information Systems, 127 s.
104. Demuth, H., Beale, M., Hagan, M., 2006, *Neural Network Toolbox User's Guide for Use with MATLAB*. The MathWorks Inc.
105. Hoang, T.A., Nguyen, D.T., 2002, A comprehensive training for wavelet-based RBF classifier for power quality disturbances, Proceedings of IEEE TENCON'02, 1919-1922.
106. Mahanty, R.N., Gupta, P.B.D., 2004, Application of RBF neural network to fault classification and location in transmission lines, IEE Proceedings of Gener. Transm. Distrib., 151, 2, 201-212.

107. Vapnik, V., 1995, *The Nature of Statistical Learning Theory*, New York: Springer Verlag, New York, 187p.
108. Mo, F., Kinsner, W., 1998, Probabilistic neural networks for power line fault classification, IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Eng., 585-588.
109. Jiang, Z.G., Fu, H.G., Li, L.J., 2005, Support vector machine for mechanical faults classification, Journal of Zhejiang University Science, 6A, 5, 433-439.
110. Smola, A.J. and Schölkopf, B., 1998, A tutorial on support vector regression, Technical Report NC2-TR-1998-030, 200-222.
111. Burges, C.J.C., 1998, A tutorial on support vector machines for pattern recognition, Data Mining and Knowledge Discovery, 2, 121-167.
112. Dash, P.K., Samantary, S.R., Ganapati, P., 2007, Fault classification and section identification of an advanced series-compensated transmission line using support vector machine, Power Delivery, IEEE Transactions on, 22, 67-73.
113. Marwala, T., Mahola, U., Chakraverty, S., 2007, Fault classification in cylinders using multi-layer perceptrons, support vector machines and gaussian mixture models, The Intl. Symposium on Neural Networks and Soft Computing, NNSC-2005, 14, 2, 307-316.
114. Pöyhönen, S., 2004, Support Vector Machine Based Classification In Condition Monitoring of Induction Motors, Doktora Tezi, Helsinki University of Technology, 63p.
115. Zhang, J.H.R., 2004, A new algorithm of improving fault location based on SVM, Eighth IEE International Conference on Developments in Power System Protection, 1, 204-207.
116. Vojtech, F., Hlavac, V., 2007, Statistical Pattern Recognition Toolbox for MATLAB (SPRTOOL), User's Guide.
117. Thukaram, D., Khincha, H.P., Vijaynarasimha, H.P., 2005, Artificial neural network and support vector machine approach for locating faults in radial distribution systems, Power delivery, IEEE Transactions on, 20, 710-721.
118. Hearst, M.A., 1998, Support vector machines, IEEE Trans. on Intelligent Systems, 18-21.
119. Salat, R., Osowski, S., 2004, Accurate fault location in the power transmission line using support vector machine approach, Power Systems, IEEE Transactions on, 19, 879-886.
120. Kohavi, R., 1995, A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection, Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2, 12, 1137-1143.
121. Hamad, H., 2006, A new metric for measuring metamodels quality-of-fit for deterministic simulations, Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conf., 882-888.
122. Mitchell, T., 1997, *Machine Learning*, McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 432p.

123. Makela, H., Pekkarinen, A., 2004, Estimation of forest stand volumes by Landsat TM imagery and stand-level field-inventory data, *Forest Ecology and Management*, 196, 2-3, 245-255.
124. Franco-Lopez, H., Ek A.R., Bauer,M.A., 2001, Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbors method, *Remote Sensing of Environment*, 77, 3, 251-274.
125. Lamar, M.V., Bhuiyan, M.S., Iwata, A., 1999, Temporal series recognition using a new neural network structure T-Combnet, *Proceedings of the 6th International Conference on Neural Information Processing*, 3, 1112-1117.
126. Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M., 2003, *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1: Yapay Sinir Ağları*, Ufuk Kitap Kırtasiye-Yayıncılık Tic. Ltd. Şti., 426s.
127. Choubassi, M.M., Khoury, H.E., Alagha, C.E., Skaf, J.A., Al-Alaoui, M.A., 2003, Arabic speech recognition using recurrent neural networks, *Proceedings of 3rd IEEE International symposium*, 543-547.
128. Harter, F.P., De Campos Velho, H.F., 2004, Recurrent and feedforward neural networks applied to the data assimilation in chaotic dynamics, *Brazilian Congress on Meteorology, CBMet-2004*.
129. Efe, Ö., Kaynak, O., 2000, *Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları*, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, 141s.
130. Berrar, D., Downe, C.S., Dubitzky, W., 2003, Multiclass cancer classification using gene expression profiling and probabilistic neural networks, *Proc. Pac. Symp. Biocomp.* 8, World Scientific, 5-16.
131. Klopotek, M.A., Probabilistic neural nets in Knowledge intense learning tasks, *Intelligent Information Systems*, 217-226.
132. Karthikeyan, B, Gopa S, Venkatesh, S, Saravanan, S., 2006, PNN and its adaptive version-an ingenious approach to PD pattern classification compared with BPA network, *Journal of Electrical Engineering*, 57, 138-145.
133. Pelckmans, K., Suykens, J.A.K., Van Gestel, T., De Brabanter, J., Lukas, L., Hamers, B., De Moor, B., Vandewalle, J., 2003, *LS-SVMLab Toolbox User's Guide Version 1.5*, ESAT-SCD-SISTA Technical Report 02-145.

ÖZGEÇMİŞ

Sami EKİCİ

Fırat Üniversitesi
Teknik Eğitim Fakültesi
Elektrik Eğitimi Bölümü
23119, Elazığ.

Tel: 424 – 2370000 – 4306
E.posta: sekici@firat.edu.tr

1979 Elazığ’da doğdu.

1993–1996 Elazığ Atatürk Lisesinde orta öğrenimini tamamladı.

1996–2000 Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümünde lisans öğrenimini tamamlayarak Elektrik Öğretmeni unvanını aldı.

2000 Elazığ Maden Çok Programlı Lisesinde Elektrik Öğretmeni olarak görev yaptı.

2000 Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak atandı.

2000–2003 Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında “İndirekt Sınır Elemanları Yöntemi İle İki Boyutlu Potansiyel Dağılımının Hesaplanması” konulu yüksek lisans tez çalışmasını tamamladı.

2003 Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında doktora tez çalışmasına başladı.

2007 Halen Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

EK-1

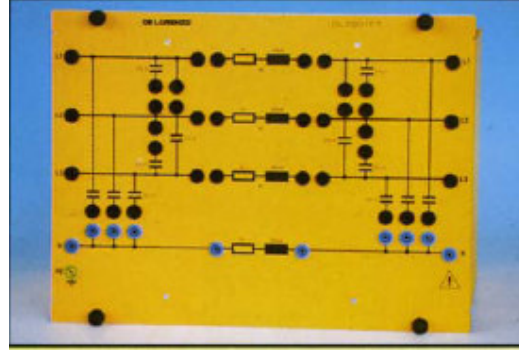
Prototip Güç Sisteminde Kullanılan Elemanların Teknik Özellikleri

- **DL 1013T1 AA GÜÇ KAYNAĞI**



- ✓ 16 A akım kontrollü kaçak akım devre kesicisi, 30 mA duyarlılıkta,
- ✓ 6,3-10 ampere kadar motor koruma devre kesicisi,
- ✓ Dijital ampermetre ve voltmetre,
- ✓ AA çıkışı 0-380 V, 8 A ayarlanabilir,

- **DL 7901TT İLETİM HATTI MODELİ**



- ✓ 360 km uzunluğunda 380 kV, 1000 A havai hat,
- ✓ Ölçek faktörü 1:1000,
- ✓ Hat direnci 13 ohm,
- ✓ Hat endüktansı 290 mH,
- ✓ Ortak kapasitansı 1 μ F,
- ✓ Toprak kapasitansı 2 μ F,
- ✓ Toprak direnci 11 ohm,
- ✓ Toprak endüktansı 250 mH.

- **DL 1017R REZİSTİF YÜK**

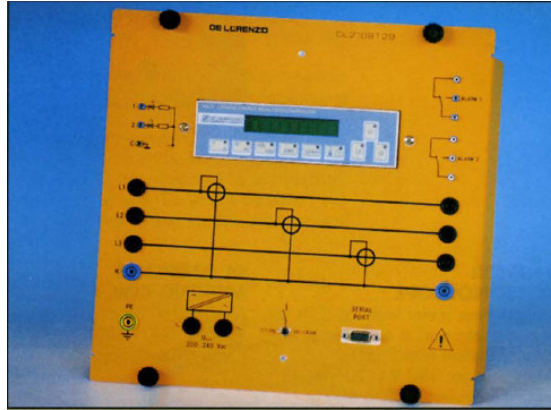


- ✓ Her biri 10 kademede ayarlanabilir, yıldız veya üçgen bağlama olanağına sahip üç direnç,
- ✓ Tek faz ya da üç faz bağlanma durumuna göre maksimum 1200 W,

- **DL 1080TT ÜÇ FAZLI TRANSFORMATÖR**

- ✓ 220 V kademeli yıldız ya da üçgen bağlama olanağına sahip 3x380 V'luk primer sargısı,
- ✓ +5%, -5%, -10%, -15% kademeli yıldız-üçgen bağlantı olanağına sahip 3x220 V'luk sekonder sargısı,
- ✓ Nominal gücü 800 VA,
- ✓ 3x220 V tersiyer sargı.

- **DL 2109T29 ENERJİ ANALİZÖRÜ**



- ✓ 500 V giriş gerilimi, 5 A giriş akımı,
- ✓ Çalışma frekansı 20–800 Hz,
- ✓ Mikroişlemci kontrollü, üç fazlı enerji analizörü.

EK-2

Veri İletişim Kartı İçin Düzenlenen C++ Programı

```
#include<dos.h>
#include<math.h>
#include<stdio.h>
#define NULL 0
#define IOPORT      0x300 /* AX5412 Ioport */
int fun,flag,vr,vs,vt,ir,is,it;
long int v;
unsigned int  dio[16];
long int j;
int far  *ary1;
int far  *ary2;
float t,T=0.002;
FILE *fp;
void main()
{
clrscr();
fp=fopen("c:\\dataset.dat","w");
    fun=0;          /* Initial ax5412 */
    dio[0]=IOPORT;   /* IOPORT      */
    dio[1]=3;        /* IRQ NO. */
    dio[2]=3;        /* DMA CH. */
flag=ax5412(fun,dio,ary1,ary2);
    if (flag != 0) {
        printf (" DRIVER başlatılamadı !,flag=%d\n",flag);
        getch();
        exit(1);
    }
fun=1;
dio[0]=0;
dio[1]=2;
flag=ax5412(fun,dio,ary1,ary2);
if (flag!=0) printf("fonk. 1 başlatılamadı. flag=%d\n",flag);
for (t=0;t<40;t+=T){
fun=3;
flag=ax5412(fun,dio,ary1,ary2);
    if (flag!=0) {
        printf("fonk. 3 başlatılamadı. flag=%d\n",flag);
        getch();
        exit(1);
    }
vr=dio[0];
flag=ax5412(fun,dio,ary1,ary2);
    if (flag!=0) {
        printf("fonk. 3 başlatılamadı. flag=%d\n",flag);
        getch();
        exit(1);
    }
}
```

```

vs=dio[0];
flag=ax5412(fun,dio,ary1,ary2);
    if (flag!=0) {
        printf("fonk. 3 başlatılamadı. flag=%d\n",flag);
        getche();
        exit(1);
    }
vt=dio[0];
fun=3;
flag=ax5412(fun,dio,ary1,ary2);
    if (flag!=0) {
        printf("fonk. 3 başlatılamadı. flag=%d\n",flag);
        getche();
        exit(1);
    }
ir=dio[0];
flag=ax5412(fun,dio,ary1,ary2);
    if (flag!=0) {
        printf("fonk. 3 başlatılamadı. flag=%d\n",flag);
        getche();
        exit(1);
    }
is=dio[0];
flag=ax5412(fun,dio,ary1,ary2);
    if (flag!=0) {
        printf("fonk. 3 başlatılamadı. flag=%d\n",flag);
        getche();
        exit(1);
    }
it=dio[0];
fprintf(fp,"%d %d %d %d %d %d\n",vr,vs,vt,iri,is,it);
}
fclose(fp);
getche();
}

```

EK-3

a) Çalışmada Kullanılan YSA Parametreleri

- **ÇKA ağı için kullanılan parametreler:**

Ağ fonksiyonu	NEWFF (İleri beslemeli, geri yayımlı yapay sinir ağı)
Eğitim fonksiyonu	TRAINLM (Levenberg-Marquardt)
İlk katman için transfer fonksiyonu	TANSIG (hiperbolik tanjant sigmoid)
İkinci katman için transfer fonksiyonu	TANSIG (hiperbolik tanjant sigmoid)
Üçüncü katman için transfer fonksiyonu	PURELIN (Doğrusal)
Giriş katmanı nöron sayısı	18x100 arıza tipi, 18x25 arıza yeri için
Ara katman nöron sayısı	12
Çıkış katmanı nöron sayısı	1x100 arıza tipi için, 1x25 arıza yeri için
Performans değeri	1e-8
Öğrenme oranı	0,9
Performans fonksiyonu	MSE (Mean squared error)

- **OSA için kullanılan parametreler:**

Ağ fonksiyonu	NEWPNN (Olasılıksal sinir ağı)
Giriş veri seti boyutu	18x100
Çıkış veri seti boyutu	1x100
Ara katman transfer fonksiyonu	Gauss radyal
Düzenleştirme katsayısı	0.05

- **RTF ağı için kullanılan parametreler:**

Ağ fonksiyonu	NEWRB (Radyal tabanlı sinir ağı)
Giriş veri seti boyutu	18x100 arıza tipi için, 18x25 arıza yeri için
Çıkış veri seti boyutu	1x100 arıza tipi için, 1x25 arıza yeri için
Ara katman transfer fonksiyonu	Gauss radyal
Çıkış katman transfer fonksiyonu	PURELIN (Doğrusal)
Düzenleştirme katsayısı	1.3

- **Elman ağı için kullanılan parametreler:**

Ağ fonksiyonu	NEWELM (Elman geri beslemeli yapay sinir ağıları)
Eğitim fonksiyonu	TRAINGDX (Eğim inişli momentum)
Transfer fonksiyonu	TANSIG (Hiperbolik tanjant sigmoid)
İkinci katman için transfer fonksiyonu	PURELIN (Doğrusal)
Ara katman nöron sayısı	50
Giriş nöron sayısı	18x100 arıza tipi için, 18x25 arıza yeri için
Çıkış sayısı	1x100 arıza tipi için, 1x25 arıza yeri için
Performans değeri	1e-5
Performans fonksiyonu	MSE (Ortalama karesel hata)

b) Kullanılan Eğitim Verileri:

-1	-0.94794	-0.64048	-0.96574	-0.57451	-0.00148	-0.96496	-0.56608	-0.015163	-0.92337	-0.59789	0.51413	-0.94071	0.080065	1	-0.9465	0.037472	0.86132
-1	-0.99527	-0.84828	-0.99415	-0.93058	-0.78143	-0.99402	-0.92916	-0.78372	-0.98739	-0.94032	-0.57909	-0.99231	-0.87272	0.9706	-0.99337	-0.88084	1
-1	-0.99563	-0.84932	-0.99241	-0.91102	-0.73356	-0.99224	-0.90919	-0.73649	-0.98375	-0.92653	-0.55464	-0.99068	-0.8578	0.97389	-0.9921	-0.86878	1
-1	-0.99605	-0.85131	-0.99112	-0.89667	-0.70204	-0.99092	-0.8945	-0.7054	-0.98103	-0.91668	-0.52903	-0.98941	-0.84756	0.98122	-0.99114	-0.86109	1
-1	-0.99621	-0.84908	-0.98967	-0.8804	-0.6628	-0.98945	-0.8778	-0.66645	-0.978	-0.90503	-0.49721	-0.98789	-0.83249	1	-0.99013	-0.85154	0.97171
-1	-0.99648	-0.85368	-0.98781	-0.85939	-0.61507	-0.98754	-0.85618	-0.61891	-0.97402	-0.88989	-0.46029	-0.9859	-0.81377	1	-0.98892	-0.83915	0.93773
-1	-0.99659	-0.85558	-0.98664	-0.84576	-0.58361	-0.9863	-0.84213	-0.58804	-0.9713	-0.87938	-0.43783	-0.98419	-0.7998	1	-0.98845	-0.83129	0.92662
-1	-0.99668	-0.85797	-0.98546	-0.83201	-0.55162	-0.985	-0.82787	-0.55655	-0.96855	-0.86882	-0.4167	-0.9828	-0.78639	1	-0.98767	-0.82145	0.91912
-1	-0.99677	-0.86067	-0.98425	-0.81813	-0.51961	-0.98375	-0.81376	-0.52499	-0.96598	-0.85887	-0.39926	-0.98216	-0.77566	1	-0.98609	-0.80835	0.91545
-1	-0.99685	-0.8636	-0.98293	-0.80334	-0.48582	-0.98255	-0.79931	-0.49224	-0.96326	-0.84831	-0.38255	-0.98202	-0.76611	1	-0.98384	-0.79195	0.92052
-1	-0.99693	-0.86665	-0.98152	-0.78836	-0.45138	-0.98129	-0.78465	-0.45918	-0.96072	-0.83871	-0.3706	-0.98123	-0.75402	1	-0.9821	-0.77682	0.92715
-1	-0.99702	-0.86997	-0.98022	-0.77346	-0.41711	-0.98003	-0.76986	-0.42598	-0.95821	-0.82901	-0.36228	-0.97997	-0.73966	1	-0.98084	-0.76344	0.92904
-1	-0.99716	-0.87688	-0.97753	-0.7434	-0.34808	-0.97746	-0.74009	-0.35904	-0.9522	-0.80596	-0.34721	-0.9769	-0.70898	1	-0.97865	-0.7373	0.93241
-1	-0.99736	-0.88991	-0.97226	-0.6831	-0.20728	-0.972	-0.67857	-0.22167	-0.94014	-0.75996	-0.31961	-0.96871	-0.63879	1	-0.97642	-0.69588	0.88873
-1	-0.99752	-0.89915	-0.96846	-0.6404	-0.10748	-0.96807	-0.63445	-0.12287	-0.93175	-0.72792	-0.30955	-0.96384	-0.59212	1	-0.97407	-0.66334	0.85738
-1	-0.99764	-0.90847	-0.9644	-0.59321	0.0027018	-0.96385	-0.58616	-0.013955	-0.9224	-0.69241	-0.29999	-0.9595	-0.54577	1	-0.97042	-0.62336	0.83644
-1	-0.99773	-0.91545	-0.96116	-0.55626	0.089016	-0.96055	-0.54852	0.071183	-0.91521	-0.66506	-0.29417	-0.95654	-0.5114	1	-0.96736	-0.59076	0.82738
-1	-0.99787	-0.92549	-0.95651	-0.50334	0.2127	-0.95583	-0.49463	0.19309	-0.90508	-0.62644	-0.28953	-0.95243	-0.46329	1	-0.96277	-0.54338	0.81725
-1	-0.99796	-0.93364	-0.95282	-0.46136	0.31087	-0.95209	-0.45178	0.28993	-0.89703	-0.59578	-0.28925	-0.94899	-0.42451	1	-0.95917	-0.50629	0.80619
-1	-0.99806	-0.94026	-0.94996	-0.42886	0.38686	-0.94918	-0.4185	0.36496	-0.89063	-0.57163	-0.29174	-0.94589	-0.39251	1	-0.95701	-0.4794	0.79148
-1	-0.99812	-0.94565	-0.94778	-0.40405	0.44487	-0.94696	-0.39302	0.4222	-0.88569	-0.55275	-0.29596	-0.94304	-0.36557	1	-0.95578	-0.46256	0.76864
-1	-0.99819	-0.9503	-0.94608	-0.38486	0.48969	-0.94524	-0.37336	0.46629	-0.88181	-0.53796	-0.30098	-0.94035	-0.34261	1	-0.9557	-0.45554	0.73298
-1	-0.99824	-0.95391	-0.94475	-0.36967	0.52502	-0.94388	-0.35795	0.50084	-0.87872	-0.52638	-0.30636	-0.93801	-0.32328	1	-0.95564	-0.45119	0.70226
-1	-0.99838	-0.96379	-0.93962	-0.31097	0.66239	-0.93867	-0.29922	0.63449	-0.86672	-0.48072	-0.33511	-0.92772	-0.2423	1	-0.95699	-0.44164	0.56324
-1	-0.99855	-0.97255	-0.93894	-0.30359	0.67798	-0.93798	-0.29181	0.64871	-0.86484	-0.47406	-0.34284	-0.92538	-0.22772	1	-0.95765	-0.4435	0.53727
-0.97542	-0.88272	0.30663	-0.96245	-0.81913	1	-1	-0.99844	-0.9962	-0.99865	-0.99488	-0.92883	-1	-0.99499	-0.92966	-1	-0.99828	-0.99603
-0.98202	-0.95395	0.36852	-0.97355	-0.92506	1	-0.99996	-0.99351	-0.98354	-0.99862	-0.9956	-0.91224	-0.99871	-0.9959	-0.91317	-1	-0.99352	-0.96331
-0.98066	-0.95258	0.41676	-0.972	-0.91504	1	-0.99988	-0.98452	-0.96115	-0.99794	-0.99187	-0.88749	-0.99819	-0.99269	-0.88897	-1	-0.98506	-0.92638
-0.97999	-0.95081	0.44397	-0.97084	-0.90074	1	-0.99977	-0.97285	-0.9323	-0.99713	-0.98697	-0.86013	-0.99762	-0.98861	-0.86249	-1	-0.97427	-0.88263
-0.98004	-0.95005	0.45391	-0.97019	-0.88546	1	-0.99966	-0.9595	-0.89938	-0.99624	-0.98131	-0.83178	-0.99704	-0.98405	-0.83533	-1	-0.962	-0.83892
-0.98096	-0.95031	0.45093	-0.96981	-0.86199	1	-0.99945	-0.93769	-0.84591	-0.9948	-0.97192	-0.78884	-0.9962	-0.97675	-0.79475	-1	-0.94199	-0.7717
-0.98186	-0.95105	0.44023	-0.96973	-0.84639	1	-0.99923	-0.92256	-0.80906	-0.9937	-0.96525	-0.76059	-0.99558	-0.97174	-0.76842	-1	-0.92878	-0.73088
-0.98297	-0.9522	0.42595	-0.96981	-0.83129	1	-0.99903	-0.90748	-0.77238	-0.99262	-0.95854	-0.7333	-0.99501	-0.96683	-0.74326	-1	-0.91565	-0.6933
-0.98432	-0.95367	0.40539	-0.97009	-0.81666	1	-0.99897	-0.89268	-0.7362	-0.99168	-0.95194	-0.70686	-0.99462	-0.96213	-0.71912	-1	-0.90226	-0.65766
-0.98579	-0.95537	0.38547	-0.9705	-0.80272	1	-0.99897	-0.87839	-0.70116	-0.9908	-0.94552	-0.68174	-0.99432	-0.95765	-0.69635	-1	-0.88907	-0.62453
-0.98734	-0.95712	0.36507	-0.97092	-0.78905	1	-0.99901	-0.86439	-0.66678	-0.98996	-0.93915	-0.6572	-0.99409	-0.95332	-0.67425	-1	-0.87608	-0.59293
-0.98873	-0.95882	0.34496	-0.97127	-0.77605	1	-0.99895	-0.85086	-0.6338	-0.98904	-0.93281	-0.63388	-0.99371	-0.94909	-0.6534	-1	-0.8638	-0.5641
-0.99123	-0.96195	0.30264	-0.9717	-0.75115	1	-0.99851	-0.82471	-0.57065	-0.98687	-0.92021	-0.58928	-0.99287	-0.94089	-0.61401	-1	-0.84134	-0.5122
-0.99581	-0.96808	0.21318	-0.97259	-0.70895	1	-0.99768	-0.77907	-0.46077	-0.98291	-0.89745	-0.51296	-0.99149	-0.92699	-0.54815	-1	-0.80221	-0.42804
-0.99905	-0.97235	0.16095	-0.97344	-0.68242	1	-0.9973	-0.74995	-0.39048	-0.98037	-0.88258	-0.46456	-0.99088	-0.91842	-0.50725	-1	-0.7764	-0.3746
-1	-0.97441	0.10358	-0.97188	-0.65348	1	-0.99446	-0.71823	-0.31724	-0.97539	-0.86484	-0.41355	-0.98794	-0.90751	-0.46433	-0.99747	-0.74739	-0.31795
-1	-0.97532	0.060084	-0.97005	-0.6314	1	-0.99174	-0.69397	-0.26205	-0.97101	-0.85073	-0.37494	-0.98515	-0.89881	-0.43209	-0.99482	-0.72489	-0.27469
-1	-0.97652	-0.00478	-0.96744	-0.60097	1	-0.98773	-0.66023	-0.18557	-0.96454	-0.83053	-0.32145	-0.98116	-0.88665	-0.38802	-0.99092	-0.69359	-0.21486
-1	-0.97775	-0.055737	-0.96543	-0.57746	1	-0.98458	-0.63372	-0.12549	-0.95932	-0.8142	-0.27953	-0.97806	-0.87726	-0.35415	-0.98789	-0.66959	-0.16897
-1	-0.97851	-0.096491	-0.9636	-0.5562	1	-0.9818	-0.61011	-0.071908	-0.95461	-0.79944	-0.24139	-0.97544	-0.86893	-0.32346	-0.98542	-0.649	-0.12836
-1	-0.97937	-0.13454	-0.96218	-0.53938	1	-0.9796	-0.59112	-0.028788	-0.95084	-0.78727	-0.21069	-0.97341	-0.86237	-0.29922	-0.9835	-0.63323	-0.09686
-1	-0.98019	-0.16238	-0.96098	-0.52585	1	-0.9777	-0.57563	0.0062389	-0.94757	-0.777	-0.18567	-0.97165	-0.85702	-0.2798	-0.98197	-0.62096	-0.072079
-1	-0.98058	-0.19724	-0.95981	-0.51366	1	-0.97593	-0.5618	0.037371	-0.94454	-0.76771	-0.16313	-0.97007	-0.8522	-0.26232	-0.98058	-0.61026	-0.050015

-1	-0.98266	-0.2806	-0.95651	-0.47578	1	-0.97079	-0.51874	0.13512	-0.93517	-0.73792	-0.091363	-0.96572	-0.83743	-0.20739	-0.97666	-0.57744	0.019022
-1	-0.9841	-0.35149	-0.95333	-0.4405	1	-0.96598	-0.47883	0.22551	-0.92616	-0.70903	-0.022443	-0.96181	-0.82382	-0.15546	-0.97332	-0.54865	0.082426
-0.97496	-0.88042	0.33253	-0.96238	-0.81902	1	-0.99999	-0.99841	-0.99614	-0.99864	-0.99487	-0.92857	-0.99862	-0.99479	-0.92732	-1	-0.99857	-0.99652
-0.98157	-0.95262	0.40706	-0.97342	-0.92493	1	-0.99994	-0.99336	-0.98385	-0.99863	-0.99567	-0.91156	-0.9986	-0.9956	-0.9096	-1	-0.99402	-0.98544
-0.98018	-0.95118	0.45737	-0.97183	-0.91474	1	-0.99986	-0.98418	-0.96153	-0.99804	-0.99216	-0.88708	-0.99798	-0.99203	-0.88406	-1	-0.98575	-0.96531
-0.97949	-0.94935	0.48563	-0.97063	-0.90019	1	-0.99976	-0.97228	-0.93257	-0.99734	-0.98763	-0.86025	-0.99727	-0.9874	-0.85588	-1	-0.97502	-0.93919
-0.97953	-0.94854	0.49608	-0.96995	-0.88463	1	-0.99964	-0.95864	-0.89941	-0.99662	-0.98248	-0.83269	-0.99651	-0.98212	-0.82671	-1	-0.96272	-0.90927
-0.96816	-0.92648	1	-0.98014	-0.8897	0.26616	-0.99987	-0.89466	-0.89394	-1	-0.94016	-0.66282	-0.9926	-0.97304	-0.78932	-0.9969	-0.94564	-0.872
-0.98152	-0.94971	0.47989	-0.96956	-0.84528	1	-0.99931	-0.92124	-0.80843	-0.99473	-0.96844	-0.76521	-0.99455	-0.96759	-0.75426	-1	-0.92899	-0.82715
-0.9827	-0.95086	0.46358	-0.96964	-0.82977	1	-0.99917	-0.90585	-0.77101	-0.994	-0.96268	-0.73932	-0.99376	-0.96158	-0.72607	-1	-0.91511	-0.79337
-0.97629	-0.94473	0.444	-0.96219	-0.80797	1	-0.99125	-0.88347	-0.72773	-1	-0.94943	-0.70831	-0.98522	-0.94807	-0.6927	-0.99221	-0.89414	-0.75352
-0.98544	-0.95393	0.42394	-0.97014	-0.80064	1	-0.99895	-0.87604	-0.69845	-0.99261	-0.95152	-0.69143	-0.99225	-0.94986	-0.6732	-1	-0.8882	-0.72783
-0.98683	-0.95563	0.39802	-0.97045	-0.78698	1	-0.99883	-0.86177	-0.66373	-0.99192	-0.94618	-0.66929	-0.99156	-0.9442	-0.64843	-1	-0.87531	-0.69645
-0.98827	-0.95736	0.37782	-0.97076	-0.77386	1	-0.99871	-0.84795	-0.6301	-0.99129	-0.94099	-0.64817	-0.99085	-0.93868	-0.6246	-1	-0.86282	-0.66606
-0.99104	-0.96083	0.32818	-0.97141	-0.74932	1	-0.99849	-0.82182	-0.56652	-0.9901	-0.93118	-0.60901	-0.98953	-0.92815	-0.57985	-1	-0.83921	-0.60858
-0.99613	-0.96741	0.23942	-0.97272	-0.70661	1	-0.9981	-0.77567	-0.45426	-0.98794	-0.91383	-0.54197	-0.98721	-0.90923	-0.50128	-1	-0.79749	-0.507
-0.99956	-0.97193	0.18528	-0.97363	-0.68022	1	-0.99785	-0.74659	-0.38351	-0.98667	-0.90289	-0.50128	-0.98571	-0.89706	-0.452	-1	-0.77117	-0.44294
-1	-0.97341	0.12179	-0.9715	-0.64985	1	-0.99453	-0.71346	-0.30733	-0.98219	-0.8885	-0.4566	-0.98111	-0.88119	-0.39737	-0.99693	-0.74089	-0.37362
-1	-0.97436	0.0831	-0.96964	-0.62854	1	-0.99172	-0.68972	-0.25335	-0.97864	-0.87791	-0.42591	-0.97739	-0.86937	-0.35868	-0.9943	-0.71912	-0.3244
-1	-0.97569	0.01956	-0.96696	-0.59729	1	-0.98774	-0.65513	-0.17451	-0.97353	-0.86254	-0.38123	-0.97206	-0.85196	-0.30102	-0.99059	-0.6874	-0.25251
-1	-0.97676	-0.0409	-0.96478	-0.57294	1	-0.98444	-0.62775	-0.11232	-0.9694	-0.85028	-0.347	-0.96762	-0.83778	-0.25497	-0.98749	-0.66224	-0.19573
-1	-0.97782	-0.086595	-0.96319	-0.55351	1	-0.98182	-0.60567	-0.062124	-0.96607	-0.84041	-0.32002	-0.96419	-0.8261	-0.21717	-0.98503	-0.64194	-0.14984
-1	-0.97855	-0.12457	-0.96163	-0.53618	1	-0.97948	-0.58616	-0.017831	-0.96313	-0.83169	-0.29608	-0.96105	-0.81564	-0.183	-0.98284	-0.62401	-0.10932
-1	-0.97935	-0.15239	-0.96039	-0.52229	1	-0.97755	-0.5703	0.018162	-0.96063	-0.82456	-0.27713	-0.95847	-0.80691	-0.15478	-0.98103	-0.6094	-0.076358
-1	-0.97996	-0.17509	-0.9593	-0.50988	1	-0.97588	-0.55624	0.050133	-0.95856	-0.81827	-0.26024	-0.95621	-0.79911	-0.12921	-0.97947	-0.59644	-0.047065
-1	-0.98188	-0.27096	-0.95579	-0.47088	1	-0.97052	-0.51182	0.15101	-0.95187	-0.79835	-0.20804	-0.94889	-0.77346	-0.045011	-0.97431	-0.55544	0.045538
-1	-0.98356	-0.3469	-0.95271	-0.4386	1	-0.96589	-0.47454	0.23545	-0.94605	-0.78154	-0.16611	-0.94258	-0.75026	0.031305	-0.96995	-0.52091	0.12333
-0.96279	-0.82311	1	-0.97998	-0.89835	0.099139	-0.98009	-0.90639	0.082474	-0.99817	-0.99209	-0.88889	-1	-0.99841	-0.96939	-0.99972	-0.99756	-0.96578
-0.97346	-0.93307	1	-0.98547	-0.95452	0.15008	-0.98578	-0.95763	0.064596	-0.99723	-0.99154	-0.8639	-1	-0.99923	-0.96405	-0.99918	-0.99624	-0.96103
-0.97167	-0.93254	1	-0.98397	-0.94357	0.19416	-0.98456	-0.94635	0.077216	-0.99494	-0.98341	-0.82629	-1	-0.99872	-0.95622	-0.99832	-0.99234	-0.95179
-0.97028	-0.93035	1	-0.98242	-0.92796	0.24652	-0.9833	-0.93081	0.10352	-0.99209	-0.97294	-0.78325	-1	-0.99802	-0.94738	-0.99731	-0.98768	-0.94095
-0.96939	-0.92868	1	-0.98151	-0.91258	0.26202	-0.98304	-0.91712	0.084254	-0.98886	-0.96087	-0.73688	-1	-0.99717	-0.93795	-0.99622	-0.98259	-0.92927
-0.96873	-0.92704	1	-0.98071	-0.89026	0.26595	-0.98261	-0.89521	0.076842	-0.98352	-0.94073	-0.6633	-1	-0.99571	-0.92301	-0.99431	-0.9745	-0.91099
-0.96855	-0.92634	1	-0.98005	-0.87433	0.28304	-0.98218	-0.87956	0.086025	-0.97971	-0.92631	-0.61257	-1	-0.9946	-0.91266	-0.99339	-0.9689	-0.89851
-0.96854	-0.92589	1	-0.97934	-0.85788	0.30699	-0.98168	-0.86336	0.10249	-0.9758	-0.91136	-0.56093	-1	-0.99345	-0.90211	-0.99226	-0.96324	-0.88592
-0.96865	-0.92566	1	-0.97857	-0.84118	0.33597	-0.98112	-0.8469	0.12283	-0.97179	-0.89607	-0.50924	-1	-0.99223	-0.8915	-0.99111	-0.95755	-0.8734
-0.9688	-0.92547	1	-0.97773	-0.82404	0.36719	-0.9805	-0.82998	0.14827	-0.96769	-0.88037	-0.45664	-1	-0.99094	-0.88064	-0.98998	-0.9518	-0.86076
-0.96909	-0.92549	1	-0.97692	-0.80698	0.39888	-0.97987	-0.8131	0.17502	-0.9636	-0.86465	-0.40458	-1	-0.98968	-0.86985	-0.98887	-0.94613	-0.84838
-0.96935	-0.92553	1	-0.97608	-0.78973	0.42697	-0.97921	-0.79601	0.20449	-0.95946	-0.84872	-0.35222	-1	-0.98832	-0.85895	-0.98776	-0.94044	-0.83604
-0.96995	-0.92562	1	-0.97423	-0.75471	0.51417	-0.97771	-0.76129	0.26998	-0.95103	-0.81634	-0.24669	-1	-0.98553	-0.8367	-0.98558	-0.929	-0.81136
-0.97158	-0.92661	1	-0.97072	-0.68668	0.67229	-0.97478	-0.69365	0.40415	-0.93464	-0.7529	-0.043813	-1	-0.97984	-0.79303	-0.98148	-0.90715	-0.76483
-0.97285	-0.92738	1	-0.96802	-0.63661	0.79639	-0.97243	-0.64378	0.50923	-0.92252	-0.70604	0.10405	-1	-0.9754	-0.76035	-0.97854	-0.89122	-0.73134
-0.9745	-0.92887	1	-0.96523	-0.58267	0.91034	-0.97001	-0.58995	0.62142	-0.90944	-0.65514	0.26227	-1	-0.97041	-0.72459	-0.97559	-0.74222	-0.69609
-0.97623	-0.93111	0.95598	-0.96347	-0.5456	1	-0.96853	-0.5528	0.68902	-0.90028	-0.61933	0.36968	-1	-0.96677	-0.69957	-0.97359	-0.86255	-0.67277
-0.98009	-0.93812	0.80924	-0.9628	-0.5163	1	-0.96781	-0.52298	0.70003	-0.89238	-0.5879	0.45085	-1	-0.96292	-0.67865	-0.97222	-0.85315	-0.65704
-0.98337	-0.94406	0.68502	-0.96245	-0.49544	1	-0.96762	-0.5016	0.70228	-0.88672	-0.56489	0.50762	-1	-0.95993	-0.66286	-0.9714	-0.84658	-0.64676
-0.98577	-0.94873	0.57823	-0.96217	-0.4772	1	-0.96718	-0.48292	0.70937	-0.88176	-0.54502	0.55687	-1	-0.95716	-0.64849	-0.97061	-0.84085	-0.6378
-0.98801	-0.95257	0.49571	-0.96184	-0.4634	1	-0.96688	-0.46872	0.71187	-0.87795	-0.52971	0.59329	-1	-0.95489	-0.63695	-0.97015	-0.83654	-0.6315
-0.98991	-0.956	0.42549	-0.96175	-0.45176	1	-0.96665	-0.45672	0.71513	-0.87485	-0.51681	0.62405	-1	-0.95292	-0.62683	-0.96987	-0.83301	-0.62634
-0.99135	-0.95862	0.36567	-0.96136	-0.43872	1	-0.96627	-0.44338	0.72782	-0.8714	-0.50302	0.65905	-1	-0.9507	-0.61569	-0.96944	-0.82899	-0.61991
-0.99615	-0.96747	0.18286	-0.96084	-0.40837	1	-0.96562	-0.41196	0.73774	-0.86317	-0.4692	0.73666	-1	-0.9445	-0.58552	-0.9687	-0.81984	-0.6076
-1	-0.97458	0.03854	-0.96007	-0.38136	1	-0.96464	-0.38396	0.75246	-0.8557	-0.43937	0.80363	-0.99967	-0.93775	-0.55502	-0.96806	-0.81157	-0.597

c) Kullanılan Test Verileri

-1	-0.9934	-0.84001	-0.99348	-0.9217	-0.77154	-0.99336	-0.92012	-0.7741	-0.98586	-0.93085	-0.50711	-0.99071	-0.83868	0.97875	-0.99188	-0.84742	1
-1	-0.99547	-0.84909	-0.99325	-0.92069	-0.75615	-0.9931	-0.91907	-0.75878	-0.98556	-0.93333	-0.57637	-0.99152	-0.86545	0.97164	-0.99276	-0.87498	1
-1	-0.99585	-0.84971	-0.99171	-0.90325	-0.71645	-0.99153	-0.90125	-0.71965	-0.98228	-0.92118	-0.54033	-0.98998	-0.85221	0.97661	-0.99158	-0.86445	1
-1	-0.99614	-0.84953	-0.99038	-0.8884	-0.68189	-0.99017	-0.88602	-0.68544	-0.9795	-0.91077	-0.51069	-0.98862	-0.83995	1	-0.99063	-0.85635	0.99409
-1	-0.99631	-0.85111	-0.98902	-0.87301	-0.64603	-0.98878	-0.8702	-0.64972	-0.97661	-0.89974	-0.48367	-0.98726	-0.82591	1	-0.98964	-0.84705	0.95556
-1	-0.99653	-0.85438	-0.98719	-0.8524	-0.5989	-0.98691	-0.849	-0.60308	-0.97265	-0.88459	-0.44802	-0.98505	-0.80665	1	-0.98868	-0.83514	0.93191
-1	-0.99664	-0.85665	-0.98607	-0.83886	-0.56761	-0.98563	-0.83498	-0.57229	-0.9699	-0.87395	-0.42651	-0.98343	-0.79289	1	-0.98809	-0.82664	0.92239
-1	-0.99672	-0.85916	-0.98485	-0.8251	-0.5356	-0.98438	-0.82077	-0.54074	-0.96729	-0.86387	-0.40789	-0.98232	-0.78056	1	-0.98701	-0.81543	0.91629
-1	-0.99681	-0.86216	-0.98357	-0.81082	-0.50294	-0.98316	-0.80658	-0.50874	-0.96458	-0.85359	-0.39089	-0.98207	-0.77104	1	-0.98497	-0.80026	0.91702
-1	-0.99689	-0.86509	-0.98223	-0.79584	-0.46861	-0.98189	-0.79201	-0.47574	-0.96194	-0.84336	-0.37566	-0.98173	-0.76048	1	-0.9829	-0.78407	0.92435
-1	-0.99698	-0.86825	-0.98087	-0.78088	-0.43417	-0.98063	-0.77724	-0.44255	-0.95952	-0.83398	-0.36598	-0.98063	-0.74696	1	-0.98141	-0.77	0.92854
-1	-0.9971	-0.8735	-0.97885	-0.75859	-0.38305	-0.97872	-0.75513	-0.39288	-0.95528	-0.81801	-0.35545	-0.97852	-0.72477	1	-0.97964	-0.75041	0.92987
-1	-0.99726	-0.88344	-0.97483	-0.71285	-0.27693	-0.97475	-0.70928	-0.29006	-0.946	-0.78215	-0.33089	-0.97295	-0.67411	1	-0.97742	-0.71577	0.91492
-1	-0.99747	-0.89621	-0.96971	-0.65449	-0.14041	-0.96943	-0.64897	-0.15548	-0.93455	-0.73856	-0.3127	-0.96527	-0.6069	1	-0.97501	-0.67464	0.86606
-1	-0.99757	-0.90332	-0.96673	-0.6197	-0.059143	-0.96621	-0.61323	-0.075044	-0.92768	-0.71229	-0.30507	-0.96184	-0.57131	1	-0.97256	-0.64614	0.84651
-1	-0.99769	-0.91212	-0.96274	-0.57427	0.046959	-0.96215	-0.56685	0.02971	-0.91877	-0.67833	-0.29675	-0.95796	-0.52801	1	-0.9668	-0.60673	0.83137
-1	-0.99777	-0.91863	-0.95966	-0.5392	0.12889	-0.95903	-0.53114	0.11048	-0.91194	-0.65255	-0.29218	-0.95524	-0.49582	1	-0.96585	-0.57555	0.82402
-1	-0.99791	-0.92967	-0.95456	-0.48106	0.26479	-0.95385	-0.47192	0.24445	-0.90081	-0.61023	-0.28896	-0.95072	-0.44291	1	-0.96081	-0.52353	0.81202
-1	-0.998	-0.93713	-0.9513	-0.44402	0.35141	-0.95054	-0.43404	0.32995	-0.8937	-0.58297	-0.29018	-0.94749	-0.40778	1	-0.958	-0.49162	0.79948
-1	-0.99808	-0.94194	-0.94924	-0.4207	0.40594	-0.94845	-0.41013	0.3838	-0.88906	-0.56546	-0.29285	-0.94512	-0.38396	1	-0.95639	-0.47315	0.78626
-1	-0.99815	-0.94804	-0.94688	-0.39386	0.46867	-0.94605	-0.38257	0.44565	-0.88372	-0.5449	-0.29839	-0.94172	-0.35362	1	-0.95569	-0.45858	0.75037
-1	-0.99821	-0.95221	-0.94538	-0.37684	0.50836	-0.94452	-0.3652	0.48459	-0.88027	-0.5318	-0.30364	-0.93905	-0.33249	1	-0.95563	-0.45315	0.71701
-1	-0.99836	-0.96093	-0.94236	-0.34231	0.58832	-0.94146	-0.33075	0.56214	-0.87348	-0.50652	-0.31843	-0.93388	-0.2885	1	-0.95552	-0.44331	0.64649
-1	-0.99853	-0.97057	-0.94108	-0.32793	0.62017	-0.94016	-0.31633	0.59251	-0.87068	-0.49574	-0.32509	-0.93187	-0.27013	1	-0.95545	-0.43936	0.61475
-1	-0.99857	-0.97378	-0.93868	-0.30073	0.68453	-0.93772	-0.28896	0.65501	-0.86427	-0.47164	-0.34668	-0.92468	-0.22226	1	-0.95786	-0.44395	0.5257
-0.98217	-0.94894	0.33602	-0.97328	-0.91962	1	-0.99998	-0.99659	-0.99144	-0.99884	-0.99676	-0.92234	-0.99889	-0.99691	-0.92315	-1	-0.99649	-0.98167
-0.98129	-0.95359	0.39571	-0.97278	-0.92109	1	-0.99992	-0.98942	-0.97332	-0.9983	-0.99391	-0.90038	-0.99847	-0.99443	-0.90154	-1	-0.98964	-0.94577
-0.97885	-0.95022	0.43301	-0.96997	-0.90676	1	-0.99843	-0.97757	-0.94602	-1	-0.98815	-0.87271	-0.99651	-0.98934	-0.87458	-0.9986	-0.97851	-0.90358
-0.97994	-0.95032	0.45089	-0.97046	-0.89316	1	-0.99972	-0.96634	-0.91621	-0.9967	-0.98422	-0.84602	-0.99733	-0.98637	-0.84895	-1	-0.96828	-0.86091
-0.98025	-0.94996	0.45658	-0.97	-0.8776	1	-0.9996	-0.95237	-0.88189	-0.99577	-0.97827	-0.81735	-0.99676	-0.98165	-0.82163	-1	-0.95545	-0.81613
-0.98139	-0.95065	0.44606	-0.96976	-0.85419	1	-0.99935	-0.93017	-0.82758	-0.99426	-0.96862	-0.7747	-0.99589	-0.97425	-0.78152	-1	-0.93532	-0.75077
-0.98239	-0.9516	0.43324	-0.96975	-0.83886	1	-0.99911	-0.91504	-0.79079	-0.99314	-0.9619	-0.74696	-0.99527	-0.96927	-0.75582	-1	-0.92229	-0.71194
-0.98362	-0.95286	0.41699	-0.9699	-0.82379	1	-0.99898	-0.89996	-0.75403	-0.99213	-0.95519	-0.71976	-0.99478	-0.96442	-0.73087	-1	-0.9089	-0.675
-0.98505	-0.95447	0.39804	-0.97027	-0.80951	1	-0.99896	-0.88541	-0.71839	-0.99124	-0.94868	-0.69399	-0.99445	-0.95984	-0.70743	-1	-0.89558	-0.6406
-0.98655	-0.95617	0.37854	-0.97067	-0.79556	1	-0.99898	-0.87117	-0.68344	-0.99036	-0.94224	-0.66894	-0.99416	-0.9554	-0.68478	-1	-0.88236	-0.60795
-0.98804	-0.95799	0.35415	-0.97112	-0.78262	1	-0.999	-0.85766	-0.65036	-0.9895	-0.936	-0.64565	-0.99392	-0.95121	-0.66391	-1	-0.86991	-0.57845
-0.99002	-0.96046	0.32068	-0.97154	-0.76355	1	-0.99876	-0.83772	-0.602	-0.98798	-0.92653	-0.61146	-0.9933	-0.94497	-0.63355	-1	-0.85238	-0.53759
-0.99384	-0.96535	0.2559	-0.97239	-0.72946	1	-0.99831	-0.80128	-0.51389	-0.98506	-0.90875	-0.54992	-0.99238	-0.93387	-0.57987	-1	-0.8215	-0.46861
-0.99803	-0.97086	0.1764	-0.97311	-0.69026	1	-0.9974	-0.75876	-0.41178	-0.98113	-0.88713	-0.47897	-0.99106	-0.92097	-0.51929	-1	-0.78428	-0.39052
-1	-0.97379	0.1314	-0.97325	-0.66963	1	-0.99654	-0.73601	-0.35752	-0.97871	-0.8751	-0.44164	-0.99008	-0.91398	-0.48794	-0.99946	-0.76378	-0.34915
-1	-0.97478	0.083036	-0.97088	-0.6415	1	-0.99304	-0.70524	-0.28762	-0.97309	-0.85735	-0.39266	-0.9865	-0.90284	-0.44677	-0.99909	-0.73536	-0.29453
-1	-0.97539	0.054135	-0.96887	-0.61675	1	-0.99036	-0.67907	-0.22766	-0.9685	-0.84231	-0.34953	-0.98365	-0.89356	-0.4104	-0.99357	-0.71113	-0.24587
-1	-0.9771	-0.0345	-0.96625	-0.58775	1	-0.98604	-0.64558	-0.15228	-0.96173	-0.82163	-0.29804	-0.97951	-0.88145	-0.36889	-0.98935	-0.68022	-0.18896
-1	-0.97811	-0.078369	-0.96445	-0.56612	1	-0.98313	-0.6212	-0.097042	-0.95687	-0.80645	-0.25928	-0.97672	-0.87284	-0.33776	-0.98655	-0.65855	-0.14718
-1	-0.97894	-0.1084	-0.9632	-0.55238	1	-0.98116	-0.60543	-0.061428	-0.95356	-0.7963	-0.23429	-0.97484	-0.86729	-0.3181	-0.98481	-0.64512	-0.12129
-1	-0.97972	-0.15398	-0.96153	-0.53273	1	-0.97855	-0.58341	-0.011516	-0.94906	-0.78211	-0.19845	-0.97249	-0.85965	-0.28978	-0.98263	-0.6271	-0.084788
-1	-0.98032	-0.18307	-0.96028	-0.51843	1	-0.9767	-0.56747	0.024688	-0.9458	-0.77167	-0.17214	-0.97079	-0.85416	-0.26908	-0.98117	-0.6145	-0.058502
-1	-0.98192	-0.25283	-0.95777	-0.49009	1	-0.97275	-0.53501	0.098211	-0.93878	-0.74934	-0.11872	-0.96732	-0.84302	-0.2282	-0.97817	-0.58985	-0.0070262

-1	-0.97172	-0.32032	-0.94281	-0.44535	1	-0.95602	-0.48507	0.19594	-0.91808	-0.7098	-0.042705	-0.95157	-0.81807	-0.1685	-0.96269	-0.55025	0.063574
-1	-0.98448	-0.36102	-0.95306	-0.43744	1	-0.96537	-0.47481	0.23444	-0.92497	-0.70554	-0.015637	-0.96146	-0.82242	-0.15094	-0.9729	-0.54604	0.087713
-0.98173	-0.94754	0.37214	-0.97319	-0.91955	1	-0.99997	-0.99651	-0.99152	-0.99884	-0.99677	-0.92165	-0.99881	-0.99672	-0.9201	-1	-0.99686	-0.99236
-0.98082	-0.95223	0.43553	-0.97263	-0.92087	1	-0.99991	-0.98918	-0.97369	-0.99835	-0.99407	-0.89979	-0.99831	-0.99397	-0.89734	-1	-0.99025	-0.97628
-0.97974	-0.95015	0.47362	-0.97116	-0.90767	1	-0.99981	-0.9785	-0.94771	-0.9977	-0.98999	-0.87383	-0.99764	-0.98981	-0.87017	-1	-0.98063	-0.95285
-0.97945	-0.94885	0.49198	-0.97025	-0.89252	1	-0.9997	-0.96564	-0.91643	-0.99699	-0.98512	-0.84657	-0.9969	-0.98483	-0.84143	-1	-0.96903	-0.92463
-0.97976	-0.94847	0.49611	-0.96975	-0.87675	1	-0.99957	-0.95142	-0.88185	-0.99624	-0.97976	-0.81893	-0.99613	-0.97932	-0.81207	-1	-0.95621	-0.89343
-0.98098	-0.9492	0.48651	-0.96953	-0.85301	1	-0.99938	-0.92885	-0.82695	-0.99511	-0.97129	-0.77826	-0.99493	-0.97055	-0.76841	-1	-0.93586	-0.84387
-0.9821	-0.95027	0.47225	-0.9696	-0.83756	1	-0.99924	-0.91358	-0.7898	-0.99437	-0.96557	-0.75226	-0.99414	-0.96461	-0.74019	-1	-0.92208	-0.81034
-0.98336	-0.95157	0.45323	-0.96974	-0.82232	1	-0.99911	-0.8983	-0.75264	-0.99364	-0.95985	-0.72699	-0.99334	-0.95862	-0.71254	-1	-0.90829	-0.77677
-0.98474	-0.95314	0.43103	-0.97002	-0.80782	1	-0.99901	-0.88343	-0.71643	-0.99295	-0.9543	-0.70314	-0.99264	-0.95279	-0.68621	-1	-0.89487	-0.74407
-0.98613	-0.9548	0.41	-0.97031	-0.79385	1	-0.99889	-0.86892	-0.68112	-0.99226	-0.94886	-0.68039	-0.99192	-0.94704	-0.66087	-1	-0.88177	-0.71217
-0.98756	-0.95647	0.38857	-0.97058	-0.78024	1	-0.99877	-0.85473	-0.64659	-0.99159	-0.94353	-0.65843	-0.99117	-0.94139	-0.63622	-1	-0.86895	-0.68096
-0.98964	-0.95903	0.35598	-0.97104	-0.76088	1	-0.9986	-0.83433	-0.59696	-0.99065	-0.93587	-0.62741	-0.99017	-0.93321	-0.60102	-1	-0.85052	-0.6361
-0.99391	-0.96415	0.28409	-0.97207	-0.72671	1	-0.99828	-0.79757	-0.50753	-0.989	-0.92207	-0.57336	-0.98829	-0.91827	-0.53843	-1	-0.81729	-0.55522
-0.9985	-0.97043	0.20009	-0.97336	-0.68833	1	-0.99793	-0.75564	-0.40553	-0.98707	-0.9063	-0.51372	-0.98614	-0.90087	-0.46726	-1	-0.77936	-0.46288
-1	-0.97283	0.15681	-0.97291	-0.66656	1	-0.99664	-0.73179	-0.34907	-0.98493	-0.89663	-0.48095	-0.98392	-0.89016	-0.42733	-0.99891	-0.75766	-0.41163
-1	-0.97394	0.09693	-0.97059	-0.639	1	-0.99312	-0.70134	-0.27974	-0.98039	-0.88312	-0.44093	-0.97919	-0.87519	-0.37768	-0.99561	-0.72978	-0.34846
-1	-0.97484	0.054091	-0.96878	-0.61884	1	-0.99045	-0.6789	-0.22871	-0.97704	-0.87308	-0.412	-0.97566	-0.86394	-0.34086	-0.99311	-0.70919	-0.30195
-1	-0.97636	-0.014662	-0.96601	-0.58577	1	-0.9861	-0.64188	-0.14448	-0.97149	-0.85659	-0.36514	-0.96986	-0.84506	-0.27916	-0.98904	-0.67522	-0.22508
-0.98595	-1	-0.060974	-0.95016	-0.5526	1	-0.96912	-0.60555	-0.080189	-0.9538	-0.83242	-0.32474	-0.95208	-0.81912	-0.22807	-0.97223	-0.64066	-0.16508
-1	-0.97802	-0.093451	-0.96257	-0.54705	1	-0.98106	-0.59864	-0.046026	-0.96505	-0.83731	-0.31092	-0.96314	-0.82244	-0.2047	-0.98433	-0.63549	-0.13514
-1	-0.979	-0.14414	-0.96096	-0.52945	1	-0.97853	-0.57837	-0.000141	-0.9619	-0.82819	-0.28693	-0.95978	-0.81135	-0.16926	-0.98195	-0.61683	-0.093123
-1	-0.97959	-0.16101	-0.95967	-0.51477	1	-0.97666	-0.56204	0.037067	-0.95955	-0.82092	-0.26672	-0.95723	-0.80247	-0.13965	-0.9802	-0.60181	-0.059065
-1	-0.98116	-0.23004	-0.95708	-0.48558	1	-0.97252	-0.52858	0.11292	-0.95433	-0.80585	-0.22758	-0.95158	-0.7833	-0.077519	-0.97618	-0.57092	0.010534
-1	-0.98277	-0.31882	-0.9537	-0.44845	1	-0.96745	-0.48634	0.20885	-0.94803	-0.78692	-0.17842	-0.94462	-0.75806	0.00619	-0.97143	-0.53189	0.098734
-1	-0.98381	-0.35173	-0.95207	-0.43132	1	-0.965	-0.46652	0.25376	-0.94502	-0.77798	-0.1564	-0.94135	-0.74536	0.048251	-0.96912	-0.51351	0.14018
-0.97334	-0.92454	1	-0.98555	-0.95304	0.12691	-0.98575	-0.95717	0.06745	-0.99803	-0.99424	-0.87886	-1	-0.99935	-0.9672	-0.99955	-0.99768	-0.96433
-0.97258	-0.93344	1	-0.98476	-0.94993	0.17101	-0.9852	-0.95283	0.06867	-0.99617	-0.98782	-0.84603	-1	-0.999	-0.96032	-0.99877	-0.99442	-0.9567
-0.97091	-0.93141	1	-0.98319	-0.93615	0.21666	-0.98393	-0.93894	0.088937	-0.99358	-0.97841	-0.8053	-1	-0.99839	-0.9519	-0.99783	-0.99009	-0.94652
-0.96979	-0.92946	1	-0.98172	-0.91944	0.26916	-0.98312	-0.92387	0.095287	-0.99052	-0.96708	-0.76044	-1	-0.99761	-0.94273	-0.99677	-0.98518	-0.93519
-0.9691	-0.92803	1	-0.98127	-0.90539	0.26051	-0.98293	-0.91007	0.078083	-0.98713	-0.95439	-0.71279	-1	-0.9967	-0.93305	-0.99567	-0.97994	-0.92325
-0.96864	-0.92668	1	-0.9804	-0.88241	0.2738	-0.98241	-0.8875	0.080125	-0.98164	-0.93362	-0.63816	-1	-0.99515	-0.91789	-0.99397	-0.97173	-0.9048
-0.96853	-0.9261	1	-0.97969	-0.86619	0.29395	-0.98192	-0.87154	0.09327	-0.97777	-0.91891	-0.58693	-1	-0.99402	-0.90742	-0.99282	-0.96608	-0.89225
-0.96857	-0.92574	1	-0.97895	-0.84956	0.32023	-0.98139	-0.85516	0.11211	-0.97379	-0.90374	-0.53513	-1	-0.99282	-0.89681	-0.99167	-0.96039	-0.87965
-0.96872	-0.92555	1	-0.97817	-0.83265	0.34895	-0.98082	-0.83848	0.13509	-0.96975	-0.88827	-0.48302	-1	-0.99161	-0.88609	-0.99055	-0.95468	-0.86708
-0.96889	-0.9254	1	-0.97729	-0.81537	0.38287	-0.98014	-0.82141	0.16224	-0.96561	-0.87242	-0.43016	-1	-0.99029	-0.87514	-0.98941	-0.94891	-0.85443
-1	-0.92386	1	-0.97483	-0.79683	0.41698	-0.97782	-0.80303	0.19018	-0.95986	-0.85512	-0.37723	-0.99831	-0.98731	-0.86282	-0.98661	-0.94162	-0.84062
-0.96964	-0.92555	1	-0.97518	-0.7722	0.47561	-0.97845	-0.77864	0.23679	-0.95525	-0.83254	-0.29929	-1	-0.98696	-0.84783	-0.98667	-0.93471	-0.82361
-0.97075	-0.92617	1	-0.97249	-0.72091	0.591	-0.97627	-0.72769	0.33395	-0.94286	-0.78479	-0.14563	-1	-0.98271	-0.8151	-0.98352	-0.91806	-0.78807
-0.97245	-0.92732	1	-0.96901	-0.65425	0.74374	-0.97333	-0.66133	0.46939	-0.92674	-0.72241	0.051932	-1	-0.97694	-0.77192	-0.97958	-0.89678	-0.74315
-0.97349	-0.92786	1	-0.96672	-0.61244	0.85371	-0.97138	-0.61968	0.5605	-0.91668	-0.68335	0.17513	-1	-0.97321	-0.74441	-0.97723	-0.8836	-0.71543
-0.97521	-0.92932	1	-0.96397	-0.55949	0.97881	-0.96895	-0.56681	0.67195	-0.90384	-0.63335	0.33001	-1	-0.96821	-0.70906	-0.97425	-0.86698	-0.68107
-0.97748	-0.93335	0.90948	-0.96311	-0.53554	1	-0.9682	-0.54259	0.69426	-0.8976	-0.60867	0.39779	-1	-0.96549	-0.69251	-0.97307	-0.85932	-0.66719
-0.97385	-1	0.74296	-0.95476	-0.4989	1	-0.95978	-0.50528	0.70366	-0.88177	-0.56914	0.4842	-0.99209	-0.95354	-0.66349	-0.96382	-0.84217	-0.64469
-0.98462	-0.94636	0.5347	-0.96226	-0.48503	1	-0.9673	-0.49097	0.7088	-0.88393	-0.55377	0.536	-1	-0.95851	-0.65484	-0.97092	-0.8433	-0.64142
-0.98651	-0.94978	0.55924	-0.96193	-0.47151	1	-0.96701	-0.47711	0.7143	-0.88025	-0.53901	0.57233	-1	-0.95632	-0.644	-0.97035	-0.83907	-0.63487
-0.98881	-0.9544	0.4611	-0.96172	-0.4577	1	-0.51029	-0.46283	0.71231	-0.87636	-0.52331	0.60812	-1	-0.95385	-0.63195	-0.96988	-0.83475	-0.629
-0.99062	-0.95737	0.3889	-0.96163	-0.44541	1	-0.96646	-0.4502	0.72046	-0.87315	-0.51001	0.64101	-1	-0.95182	-0.62136	-0.96959	-0.83105	-0.62326
-0.99432	-0.96426	0.25222	-0.96127	-0.423	1	-0.96605	-0.42699	0.72362	-0.86693	-0.48475	0.69805	-1	-0.94721	-0.59955	-0.96904	-0.82418	-0.61425
-0.99889	-0.97232	0.077241	-0.96086	-0.39399	1	-0.96548	-0.39696	0.73924	-0.85926	-0.45276	0.7717	-1	-0.94082	-0.56869	-0.96866	-0.81561	-0.60272
-1	-0.9752	0.014536	-0.95927	-0.37691	1	-0.96387	-0.37934	0.75396	-0.854	-0.43439	0.81325	-0.99885	-0.93594	-0.54936	-0.96732	-0.80977	-0.59511