

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

**İLETİM HATLARINDA ARIZA YERİ VE TÜRÜNÜN GEÇİCİ
REJİM SİNYALLERİ VE MAKİNE ÖĞRENME ALGORİTMALARI
İLE BELİRLENMESİ**

DÜZGÜN AKMAZ

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ARALIK 2017

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

**İLETİM HATLARINDA ARIZA YERİ VE TÜRÜNÜN GEÇİCİ
REJİM SİNYALLERİ VE MAKİNE ÖĞRENME ALGORİTMALARI
İLE BELİRLENMESİ**

DÜZGÜN AKMAZ

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ARALIK 2017

Tezin Başlığı: İletim Hatlarında Arıza Yeri ve Türünün Geçici Rejim Sinyalleri ve Makine Öğrenme Algoritmaları ile Belirlenmesi

Tezi Hazırlayan: Düzgün AKMAZ

Sınav Tarihi: 08.12.2017

Yukarıdaki adı geçen tez jürimizce değeriendirilerek Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMIŞ

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Müslüm ARKAN

İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Emin TAĞLUK

İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet ALKAN

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr. Özal YILDIRIM

Munzur Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL

Enstitü Müdürü

Aileme...

ONUR SÖZÜ

Doktora Tezi olarak sunduğum “**İletim Hatlarında Arıza Yeri ve Türünün Geçici Rejim Sinyalleri ve Makine Öğrenme Algoritmaları ile Belirlenmesi**” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Düzgün Akmaz

İmza

ÖZET

Doktora Tezi

İLETİM HATLARINDA ARIZA YERİ VE TÜRÜNÜN GEÇİCİ REJİM SİNYALLERİ VE MAKİNE ÖĞRENME ALGORİTMALARI İLE BELİRLENMESİ

Düzgün AKMAZ

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

104 + xiii sayfa

2017

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ

Bu tez çalışmasında, enerji iletim hatlarında oluşan kısa devre arızalarının yeri ve türünün belirlenmesi için geçici rejim dalga yayılımı temelinde farklı makine öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Geçici rejim durumunda alınan akım ve gerilim sinyallerine Hızlı Fourier Dönüşümü uygulanarak elde edilen spektrumdaki geçici rejim harmonik frekansları ve yürüyen dalga temelli frekans-arıza uzaklığı bağıntısı sayesinde arıza noktası tahmin edilmiştir. Arıza yeri bulma algoritması hem seri kompanzasyon bulunmayan hatlar için, hem de farklı oranda seri kompanzasyon uygulanmış hatlar için benzetim çalışmaları ile test edilmiştir.

Arıza türünü belirlemek için ise kısa devre sırasında örneklenen bir periyot uzunluğundaki hat akımlarının etkin değerleri, bu etkin değerlerin birbirlerine oranları, hat akımlarına modal dönüşüm uygulanması sonrası elde edilen modal bileşenlerinin etkin değerleri ve bu etkin değerlerinin birbirlerine oranları kullanılmış ve gerekli sınıflandırma özellikleri elde edilmiştir. Bu özellikler birçok farklı makine öğrenme algoritması ile kullanılarak arıza türleri sınıflandırılmıştır.

Alternative Transients Program-ATP/EMTP iletim hatlarını modellemek ve arıza durumundaki geçici rejim sinyallerini elde etmek için kullanılırken, arıza yeri ve türü tespiti için gerekli algoritmalar MATLAB ortamında geliştirilmiştir. Arıza sınıflandırmasında kullanılan birçok makine öğrenme algoritması için ise WEKA programı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, sadece hat fiziksel özellikleri veya elektriksel parametreleri ile kaynak endüktans değerinin bilinmesi ile arıza yerinin ve arıza türünün bulunabildiği görülmüştür. Yayılan dalgaların kaynak endüktansından etkilenmemesi için arıza yerinin belirlenmesinde kompanze edilmemiş hat için Aşırı Öğrenme Makinesinin regresyon özelliği kullanılmış, seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattı için ise Dalga Formu Gevşeme Yöntemi kullanılmıştır. Geçici rejim sinyalleri ve Aşırı Öğrenme Makinesi kullanılarak arıza yeri ve türünü belirlemek için geliştirilmiş algoritmalar Dijital Sinyal İşlemcisine gömülerek, laboratuvar ortamında gerçek zamanlı test edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: İletim hatları, arıza yeri bulma, arıza sınıfı belirleme, yürüyen dalgalar, makine öğrenme, Dijital sinyal işlemci uygulaması

ABSTRACT

Ph.D.Thesis

DETERMINATION OF FAULT LOCATION AND FAULT TYPE IN TRANSMISSION LINES USING TRANSIENT SIGNALS AND MACHINE LEARNING ALGORITHMS

Düzgün AKMAZ

Inonu University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Electrical-Electronics Engineering
104 + xiii pages

2017

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMIŞ

In this thesis, different machine learning algorithms are used for the fault location estimation and fault classification for the short circuit faults in transmission lines on the base of wave propagation theory. Using harmonic frequency-fault distance relationship on the base of this theory, the fault location is estimated from harmonic frequencies of the current and voltage transients in the spectrum obtained by applying the Fast Fourier Transform. Developed fault locating algorithms are tested by simulations both for the lines without series compensation and for the lines which have different series compensation levels.

To determine the fault type, classification features are extracted using the effective values of one-period line currents sampled during the short circuit, the proportions of effective values of these quantities, effective values of modal components obtained by applying modal transformation to the line currents, and the proportions of effective values of these quantities. The fault classification is then carried out by applying various machine learning algorithms to these features.

The Alternative Transients Program is used for modeling the transmission lines and to obtain transient signals during the faults, and the algorithms for fault location and fault type detection are developed in the Matlab Environment. Several machine learning algorithms are applied for fault classification using the WEKA software. With the knowledge of the physical configuration of the lines or electrical parameters and the value of source inductance only, it has been shown that the fault location and the fault type can be detected with a reasonable error. In order to prevent the method from being adversely affected by the source inductance value, the regression feature of the Extreme Learning Machine is used for the uncompensated line and the Waveform Relaxation Method is used for the transmission line with series compensation. Finally, the algorithms developed for determination of fault location and fault type using transient signals and Extreme Learning Machine were embedded in the Digital Signal Processor and tested in real time in the laboratory environment.

KEYWORDS: Transmission lines, fault location, fault classification, traveling waves, machine learning, Digital Signal Processor

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca bilgi, birikim ve ilminden her zaman faydalandığım, çalıőmalarımın her safhasında yardım ve önerilerini benden eksik etmeyen, beni her zaman cesaretlendiren, insani ve ahlaki değerler ile de kendime örnek edindiğim, değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet Salih MAMIŞ'e en içten teőekkürlerimi sunarım.

Doktora çalıőmam boyunca beni değerli bilgileriyle yönlendiren tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Müslüm ARKAN ve Doç. Dr. Mehmet Emin TAĞLUK hocama teşekkür ederim.

Global Positioning System (GPS) ile harita üzerinden arıza yeri görüntüleme konusunda yardımını esirgemeyen teknisyen Erdem ERDEM'e teşekkür ederim.

Doktora çalıőmalarımın gerçekleştirilmesi için TÜBİTAK 1001 BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI kapsamında PROJE NO: 114E152'den destek alınmıştır. Doktora çalıőmalarımı yürütmem için bana finansal destek sağlayan TÜBİTAK'a teőekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan, hayatımın her evresinde maddi ve manevi olarak beni hep destekleyen annem Yüksel AKMAZ, babam Ali Haydar AKMAZ ve kardeőlerime en içten teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ İLETİM HATLARININ MODELLENMESİ	12
2.1. İletim Hattı Parametreleri	12
2.1.1. İletim Hattı Direnci	12
2.1.2. İletim Hattı Endüktansı	13
2.1.3. İletim Hattı Kapasitesi	13
2.1.4. İletim Hattı Kaçak İletkenliği	14
2.2. Uzun İletim Hattı Modeli	14
2.3. Modal Dönüşüm	16
3. İLETİM HATLARINDA KISA DEVRE ARIZA TÜRLERİ	19
3.1. Seri Arızalar	19
3.2. Paralel Arızalar	19
3.2.1. Tek Faz Toprak Arızası	20
3.2.2. İki Faz Arızası	21
3.2.3. İki Faz Toprak Arızası	21
3.2.4. Üç Faz Toprak Arızası	21
4. FOURIER DÖNÜŞÜMÜ	23
4.1. Hızlı Fourier dönüşümü	23
5. MAKİNE ÖĞRENME ALGORİTMALARI	27
5.1. Yapay Sinir Ağları	27
5.1.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı	28
5.1.2. Geri Yayımlı Yapay Sinir Ağı	29
5.2. Aşırı Öğrenme Makineleri	30
5.3. Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Bayes Sınıfı	32
5.4. Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Fonksiyon Sınıfı	33
5.5. Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Lazy Sınıfı	33
5.6. Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Trees Sınıfı	34

5.7.	Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Rules Sınıfı	36
6.	BENZETİM ÇALIŞMALARI	38
6.1.	ATPDraw/EMTP Programı.....	38
6.2.	Geçici Rejim Frekans Spektrumu İle Arıza Noktasının Belirlenmesi	42
6.2.1.	Arıza Noktasının Belirlenmesi: Tek fazlı sistem	45
6.2.2.	Arıza Noktasının Belirlenmesi: Üç fazlı Sistem	49
6.3.	İletim Hatlarında Seri Kompanzasyon	51
6.3.1.	Seri Kompanzasyon Elemanları.....	52
6.3.2.	Kondansatör Ünitesi.....	53
6.3.3.	MOV Ünitesi.....	53
6.3.4.	Havalı Kesici ve R-L Söndürme Ünitesi.....	54
6.4.	Seri Kompanzasyon Uygulanmış İletim Hatlarında Arıza Noktasının Belirlenmesi	54
6.5.	Geçici Rejim Frekansları ve ELM ile İletim Hatlarında Arıza Uzaklığının Tahmini	67
6.6.	Geçici Rejim Sinyalleri ve Farklı Makine Öğrenme Algoritmaları ile İletim Hatlarında Arıza Türünün Belirlenmesi	74
6.6.1.	Sınıflandırma Özelliklerinin Elde Edilmesi	75
6.6.2.	Sınıflandırma Özellikleri ve Farklı Makine Öğrenme Algoritmaları Kullanarak Arıza Sınıflandırma	77
6.6.3.	Arıza Sınıflandırma Yöntemlerinin Literatürde Yapılan Çalışmalar ile Kıyaslanması.....	80
7.	DENEYSEL DEVRE DÜZENEGİ VE TASARIM	82
7.1.	Deneysel Devre Düzenegi.....	82
7.2.	Yazılım.....	84
7.3.	Analog Sinyalin Dijital Sinyale Dönüştürülmesi.....	86
7.4.	Akım Bilgisinin Gözlenmesi ve Frekans Spektrumunda İncelenmesi.....	86
7.5.	Haberleşme Protokolleri ve Kullanıcı Ara Yüzü	86
7.6.	İspir-Bağıtaş 380 kV Enerji Nakil Hattı Gerçek Zamanlı Uygulaması	89
8.	SONUÇLAR	91
9.	KAYNAKLAR	95
10.	EKLER	101
11.	ÖZGEÇMİŞ	103

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Dağılmış parametrelili uzun hat modeli.....	14
Şekil 3.1.	Kısa devre arızaları a) tez faz b)iki faz c)iki faz toprak kısa devre arızası.....	20
Şekil 3.2.	Üç faz toprak arızası.....	20
Şekil 5.1.	Tek katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı yapısı.....	28
Şekil 5.2.	Geri beslemeli yapay sinir ağı.....	29
Şekil 5.3.	İleri beslemeli yapay sinir ağı.....	30
Şekil 6.1.	ATPDraw iletim hattı modelleri.....	38
Şekil 6.2.	ATPDraw iletim hattı modeli için kullanılan parametreler.....	39
Şekil 6.3.	Tek faz toprak kısa devre arızası ATPDraw modeli.....	39
Şekil 6.4.	İki faz kısa devre arızası ATPDraw modeli.....	40
Şekil 6.5.	İki faz toprak kısa devre arızası ATPDraw modeli.....	40
Şekil 6.6.	Üç faz toprak arızası ATPDraw modeli.....	40
Şekil 6.7.	Benzetimler için kullanılan 380kV'luk kule yapısı.....	41
Şekil 6.8.	Arıza noktası belirleme sistemi bağlantısı.....	43
Şekil 6.9.	Arıza noktası belirleme sistemi blok diyagramı.....	44
Şekil 6.10.	Yöntem akış şeması.....	45
Şekil 6.11.	Ölçüm yapılan uçtan 120 km uzaklıktaki bir arıza için arıza sonrası geçici rejim akım ve gerilim dalga şekilleri.....	47
Şekil 6.12.	Ölçüm yapılan uçtan 120 km uzaklıktaki bir arıza için arıza sonrası geçici rejim akım ve gerilim frekans spektrumu.....	48
Şekil 6.13.	160 km uzaklıktaki bir arıza için ölçüm yapılan geçici üç faz akım ve gerilim dalga şekilleri.....	50
Şekil 6.14.	160 km uzaklıktaki bir arıza için arıza sonrası pozitif bileşen geçici akım ve gerilim frekans spektrumu.....	51
Şekil 6.15.	Tek faz seri kompanzasyon devre modeli.....	52
Şekil 6.16.	Seri kompanzasyon uygulanmamış iki terminalli güç şebekesi.....	56
Şekil 6.17.	Seri kompanzasyon uygulanmamış iki terminalli güç şebekesinin ATPDraw modeli.....	56
Şekil 6.18.	Seri kompanzasyon uygulanmış iki terminalli güç şebekesi.....	57
Şekil 6.19.	Seri kompanzasyon uygulanmış iletim sisteminin arızanın hattın ortasından önce olması durumu için ATPDraw modeli.....	57
Şekil 6.20.	Seri kompanzasyon uygulanmış iletim sisteminin arızanın hattın ortasından sonra olması durumu için ATPDraw modeli.....	57
Şekil 6.21.	Seri kompanzasyon uygulanmamış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan geçici rejim akım sinyalleri (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω).....	59

Şekil 6.22.	Seri kompanzasyon uygulanmamış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan geçici rejim gerilim sinyalleri (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω).....	59
Şekil 6.23.	%70 seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan geçici rejim akım sinyalleri (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω).....	60
Şekil 6.24.	%70 seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan geçici rejim gerilim sinyalleri (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω).....	60
Şekil 6.25.	Seri kompanzasyon uygulanmamış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan akım sinyalinin pozitif bileşen frekans spektrumu (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω).....	60
Şekil 6.26.	Seri kompanzasyon uygulanmamış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan gerilim sinyalinin pozitif bileşen frekans spektrumu (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω).....	61
Şekil 6.27.	%70 Seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan akım sinyalinin pozitif bileşen frekans spektrumu (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω).....	61
Şekil 6.28.	%70 seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan gerilim sinyalinin pozitif bileşen frekans spektrumu (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω).....	61
Şekil 6.29.	ELM ve gerçekleştirilen arıza uzaklığı bulma yöntemi ile kaynak endüktansının etkisini minimize eden yöntem.....	69
Şekil 6.30.	Yürüyen dalga frekansları ve ELM ile arıza yerini bulmak için kullanılan algoritma	72
Şekil 6.31.	Her bir kısa devre arıza durumunda üç faz akımlarını ve akımların dizi bileşenlerini küçültmek için kullanılan yöntem	75
Şekil 6.32.	Üç faz hat akımlarının küçültüldükten sonraki dalga şekilleri	76
Şekil 6.33.	Dizi akım bileşenlerinin küçültüldükten sonraki dalga şekilleri	76
Şekil 6.34.	Arıza sınıflandırma algoritması	78
Şekil 7.1.	Sistem için tasarlanan devre düzeneği.....	82
Şekil 7.2.	F28335 DSP Kartı	83
Şekil 7.3.	Geliştirilen algoritmanın gerçek sistemde uygulanma akış diyagramı	85
Şekil 7.4.	ATP paket programından alınan arızalı akım bilgisi	85
Şekil 7.5.	Sayısal Benzetim verilerinin NI PCIE-6351 kartı kullanılarak DSP kartına analog bilgi olarak göndermek için hazırlanan LabView programı.....	87
Şekil 7.6.	Devre düzeneği a) F28335 DSP b) Nokia 5110 LCD panel c) NI PCI DAQ kartı	88
Şekil 7.7.	Arıza tespit sistemi a) F28335 DSP b) Nokia 5110 LCD panel c) NI PCI DAQ kartı	88
Şekil 7.8.	Nokia 5110 LCD panelde arıza frekansı ve uzaklığı gösterimi.....	89

Şekil 7.9.	Tubitak 114E152 araştırma projesi sonucu oluşturulan arıza tespit sistemi cihaz prototipi.....	89
Şekil 7.10.	İspir-Bağıştas hattı için arıza uzaklığı ve arıza türü sonuç gösterimi	90
Şekil 7.11.	İspir-Bağıştas hattı için arıza noktası GPS sonuç gösterimi	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Kısa devre arızası türüne göre arıza oluşum oranları	21
Çizelge 3.2.	Güç sistemi elemanlarından kaynaklanan arıza oluşum oranları.....	22
Çizelge 6.1.	Üç faz iletim hattı kulesi fiziksel ve elektriksel parametreleri	41
Çizelge 6.2.	Hata yüzdesinin arıza noktası uzaklığına göre değişimi.....	47
Çizelge 6.3.	Hata yüzdesinin arıza direncine göre değişimi	48
Çizelge 6.4.	Hata yüzdesinin arıza faz açısına göre değişimi	49
Çizelge 6.5.	İletim hattı parametreleri	54
Çizelge 6.6.	%50 Seri kompanzasyon modelinin parametreleri	55
Çizelge 6.7.	%70 Seri kompanzasyon modelinin parametreleri	55
Çizelge 6.8.	TFTA durumunda, farklı arıza uzaklığı ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen arıza uzaklığı değerleri ve hata oranları (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω).....	62
Çizelge 6.9.	İFA, İFTA, ÜFTA durumunda, farklı arıza uzaklığı ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen arıza uzaklığı değerleri ve hata oranları (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω).....	63
Çizelge 6.10.	Hattın ortasında oluşan ÜFTA durumunda, farklı arıza dirençleri ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen arıza uzaklığı değerleri ve hata oranları (kaynak endüktansı=1mH).....	64
Çizelge 6.11.	Hattın ortasında oluşan ÜFTA durumunda, farklı faz açıları ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen arıza uzaklığı değerleri ve hata oranları (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω)	64
Çizelge 6.12.	Hattın ortasında oluşan ÜFTA durumunda, farklı kaynak endüktansı ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen arıza uzaklığı değerleri ve hata oranları (WRM'den önce)	66
Çizelge 6.13.	Hattın ortasında oluşan ÜFTA durumunda, farklı kaynak endüktansı ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen arıza uzaklığı değerleri ve hata oranları (WRM'den sonra)	66
Çizelge 6.14.	ELM'nin eğitimi ve testi için seçilen arıza değişkenleri	68
Çizelge 6.15.	Hattın ortasında oluşan TFTA durumunda farklı kaynak endüktansı değerleri için yalnızca yürüyen dalga frekansları ve yürüyen dalga frekansları-ELM kombinasyonu ile tahmin edilen arıza uzaklık değerleri ve hata oranları	69
Çizelge 6.16.	Hattın ortasında oluşan İFA durumunda farklı kaynak endüktansı değerleri için yalnızca yürüyen dalga frekansları ve yürüyen dalga frekansları-ELM kombinasyonu ile tahmin edilen arıza uzaklık değerleri ve hata oranları	70
Çizelge 6.17.	Hattın ortasında oluşan İFTA durumunda farklı kaynak endüktansı değerleri için yalnızca yürüyen dalga frekansları ve yürüyen dalga frekansları-ELM kombinasyonu ile tahmin edilen arıza uzaklık değerleri ve hata oranları	70
Çizelge 6.18.	Hattın ortasında oluşan ÜFTA durumunda farklı kaynak endüktansı değerleri için yalnızca yürüyen dalga frekansları ve yürüyen dalga frekansları-ELM kombinasyonu ile tahmin edilen arıza uzaklık değerleri ve hata oranları	71

Çizelge 6.19.	Eğitim ve test verilerinin ELM ile eğitilmeden önceki ve sonraki ortalama arıza yeri bulma başarısı	71
Çizelge 6.20.	420 km hat uzunluğu ve farklı iletim hattı karakteristiği için tahmin edilen arıza uzaklık değerleri (ELM eğitimi sonrası)	73
Çizelge 6.21.	630 km hat uzunluğu ve farklı iletim hattı karakteristiği için tahmin edilen arıza uzaklık değerleri (ELM eğitimi sonrası)	73
Çizelge 6.22.	Hattın ortasında oluşan ÜFTA durumunda farklı kaynak endüktansı değerleri için WRM yönteminin ve ELM'nin tahmini arıza uzaklık değerleri ve hata oranları karşılaştırması.....	74
Çizelge 6.23.	Kısa devre arıza parametreleri	77
Çizelge 6.24.	Arıza sınıflandırması benzetim sonuçları	79
Çizelge 6.25.	Tamamlanmış sınıflandırma çalışmalarının kıyaslanması.....	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

FFT	Hızlı Fourier dönüşümü
ELM	Aşırı öğrenme makinesi
WRM	Dalga formu gevşetme yöntemi
ATP/EMTP	Alternative transients program
DSP	Dijital sinyal işlemcisi
GPS	Küresel konumlama sistemi
WT	Dalgacık dönüşümü
ANN	Yapay sinir ağları
SVM	Destek vektör makinesi
FL	Bulanık mantık
DWT	Ayrık dalgacık dönüşümü
PSO	Parçacık sürü algoritması
MCSVM	Çok sınıflı destek vektör makinesi
BPNN	Geri yayımlı yapay sinir ağı
SOM	Öz düzenleyici haritalar
KNN	Kohonen yapay sinir ağları
WSE	Dalgacık tekil entropisi
MRA	Çoklu çözünürlük analizi
FIS	Bulanık çıkarım sistemi
GANN	Genetik algoritma yapay sinir ağları
DT	Karar ağacı
MFS	Bulanık üyelik fonksiyonları
FNN	İleri beslemeli yapay sinir ağı
HCDFT	Yarım döngü ayrık Fourier dönüşümü
FCDFT	Tam döngü ayrık Fourier dönüşümü
RBFNN	Radyal taban fonksiyonlu yapay sinir ağı
PNN	Olasılık sinir ağı
CART	Sınıflandırma ve regresyon ağacı
FT	Fourier dönüşümü
DFT	Ayrık Fourier dönüşümü
FPGA	Alanda programlanabilir kapı dizileri
RMS	Etkin değer
GMD	Geometrik ortalama uzaklık
GMR	Geometrik yarıçapı
CT	Clarke dönüşümü
CCT	Clarke concordia dönüşümü
KT	Karrenbauer dönüşümü
TFTA	Tek faz toprak arızası
İFA	İki faz arızası
İFTA	İki faz toprak arızası
ÜFTA	Üç faz toprak arızası
MSE	Ortalama hata
SLFNN	Tek gizli katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı
NB	Naïve bayes
SMO	Sıralı minimum optimizasyon algoritması
MOV	Metal oksit varistör
DIMM	Çift hatlı bellek modülü
SCI-SPI	Haberleşme protokolü
db4	Daubechies ana dalgacı
r	İletim hattı birim uzunluk direnci
ℓ	İletim hattı birim uzunluk endüktansı
c	İletim hattı birim uzunluk kondansatörü
g	İletim hattı birim kaçak endüktansı

R_{DA}	İletim hattının doğru akıma gösterdiği direnç
P	Güç
I	Akım
V	Gerilim
ρ	İletkenin öz direnci
d	İletim hattı uzunluğu
A	İletken kesiti
D	İletkenler arası uzaklık
D_s, r	İletken yarıçapı
z	Birim uzunluk seri empedansı
y	Birim uzunluk paralel admitansı
Z_c	Hattın karakteristik empedansı
γ	Yayılmı sabiti
V_S	İletim hattı verici ucu gerilimi
I_S	İletim hattı verici ucu akımı
V_R	İletim hattı alıcı ucu gerilimi
I_R	İletim hattı alıcı ucu akımı
A, B, C, D	Dört uçlu devre sabitleri
V_{faz}	Faz gerilimi
V_{mod}	Mod gerilimi
I_{faz}	Faz akımı
I_{mod}	Mod akımı
M_v	Gerilim dönüşüm matrisi
M_i	Akım dönüşüm matrisi
A	Öz vektör matrisi
t	Matrisin transpozu
Z_{mode}	Modal seri empedansı
Y_{mode}	Modal paralel admitansı
M	Dönüşüm matrisi
R_f	Arıza direnci
$f(\omega)$	Frekans düzlemindeki sinyal
$f(t)$	Zaman düzlemindeki sinyal
W_N	Ayrık Fourier dönüşüm faz faktörü
N	İterasyonların sayısı
E_i	Gerçek çıktı
E_o	Modelden elde edilmiş çıktı
H	Gizli tabaka çıkış matrisi
H^f	H matrisinin Moore-Penrose genelleştirilmiş tersi
w_{in}	Giriş ağırlıkları
β_{in}	i. gizli düğüm ile çıkış düğümünü bağlayan ağırlık vektörü
b_i	Bias eşiklikleri
$g(\cdot)$	Aktivasyon fonksiyonu
o_j	İstenen çıkış
t_j	Denklem çıkışı
m	Öngörü
E	Eğitim setindeki olgu sayısı
G	Girdi değişkeni
V	Dalga hızı
τ	Yayılmı süresi
x_{ariza}	Arıza yeri
V_{ref}	Referans gerilimi

1. GİRİŞ

Dünyada artan nüfus ve tüketim nedeniyle elektrik enerjisine olan talep her geçen gün artmaktadır. Elektrik enerjisinin kullanımının kolay olması, yüksek verimle diğer enerji kaynaklarına kolayca dönüştürülebilmesi ve tüketilirken çevreye zarar vermemesi bu enerji kaynağını tercih edilir hale getirmiştir. Ekonomik ve sosyal kalkınmaya paralel olarak elektrik enerji tüketimi artış kaydetmektedir.

Elektrik enerjisinin hiç kesilmemesi veya kesilmesi zorunlu olduğu durumlarda kesinti süresinin çok kısa olması tüketiciler açısından çok önemlidir. Fakat çeşitli nedenlerle meydana gelen ve çoğu önceden tahmin edilmesi mümkün olmayan enerji kesintileri özellikle sanayi tesislerinde üretimin aksamasına neden olmakla birlikte iş gücü ve kaynak kayıplarına yol açabilmektedir. Güç sistemlerindeki enerji kesintilerin önemli nedenlerinden biri sistemde meydana gelen arızalardır. Hatlardaki kısa devre arızaları enerji iletim sistemleri ve dağıtım şebekelerinde çok sık karşılaşılan arızalar olup, yıldırım düşmesi, hatalı malzeme kullanımı, insan hatalarına dayanan yanlış çalışma, aşırı yükleme ve malzemedeki eskime bu arızaların başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Bu arızalar aynı zamanda sistem kararlılığının bozulmasına, sistemde bulunan jeneratör ve transformatör gibi aygıtlar ile iletim hatlarının zarar görmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle, iletim hattı arızalarına kısa sürede müdahale edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte iletim hatlarında meydana gelen kısa devre arızalarının yerini ve türünü bulmaya yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan iletim hatlarında arıza yeri belirleme teknikleri genel olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar empedans ölçümüne dayalı yöntemler, yürüyen dalga tekniğine dayalı yöntemler ve yapay zeka uygulamalarına dayalı yöntemlerdir. Bu yöntemlerden empedans ölçümüne dayalı yöntemler kendi içinde fazör domenine dayalı ve zaman domenine dayalı yöntemler olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Fazör domenine dayalı arıza yeri bulma yöntemleri akım ve gerilim verilerini veya fazör bilgilerini kullanarak arıza yerini tahmin etmektedir [1,2]. Zaman domenine dayalı yöntemler ise iletim hattı modeline göre oluşturulmuş diferansiyel denklemleri çözerek arıza yerini bulmaktadır [3,4]. Empedans hesaplamasına dayalı yöntemlerin

yalnızca veriye ihtiyaç duyması bu yöntemleri uygulamalarda avantajlı hale getirmektedir. Fakat bu yöntemlerin arıza direncinden etkilenmesi ve başarılarının iletim hattı karakteristiğine bağlı olması gibi dezavantajları bulunmaktadır [5].

Yürüyen dalga yöntemini kullanan tekniklerde akım ve gerilimdeki pozisyon-zaman dalga olayları analiz edilerek arıza yeri tahmin edilmektedir. Dalgacık Dönüşümü (Wavelet Transform-WT) [6,7], Teager enerji operatörü [8], S dönüşümü [9,10] ve FFT [11,12] iletim hatlarında arıza yerini belirlemek için kullanılmıştır. Genel olarak bu yöntemlerin seri kondansatörlerden etkilenmemesi, şebeke bağlantılarından bağımsız olması ve yüksek arıza direnci gibi parametrelerden etkilenmemesi gibi avantajları bulunmaktadır. Fakat bu yöntemlerin yüksek örnekleme frekansına ihtiyaç duyması ve uygulamalarının pahalı olması gibi dezavantajları bulunmaktadır [5].

Bazı yapay zeka uygulamaları da iletim hatlarında arıza yerlerini belirlemek için kullanılmıştır. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks-ANN) [13], Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines-SVM) [14], WT-Bulanık Mantık (Fuzzy Logic-FL) [15], WT-Aşırı Öğrenme Makinesi (Extreme Learning Machine- ELM), WT-SVM [16] kombinasyonları bu yöntemlerden bazılarıdır.

Normal iletim hatlarının dışında seri kompanzasyon uygulanmış iletim hatlarında arıza yerini bulmaya yönelik yöntemler fazör domenine dayalı yöntemler [17,18], ayrık zaman domenine dayalı yöntemler [19,20], yürüyen dalga teorisine dayalı yöntemler [21-24] ve yapay zeka uygulamalarına dayalı yöntemler olarak farklı sınıflara ayrılabilir [25-27].

Fazör domeni yöntemleri seri kompanzasyon uygulanmış iletim hatlarında arıza uzaklığını belirleyen temel yöntemlerden biridir [17,18]. Bu yöntemde Saha vd. hattın tek terminalinden [17], Çapar ve Arsoy hattın her iki terminalinden [18] alınan ölçümleri kullanmıştır. Çalışmada kısa devre arızasının seri kompanzasyon biriminin sağında veya solunda olması durumuna göre iki farklı durum göz önünde bulundurulmuştur.

Ayrık zaman domenine dayalı yöntemler seri kompanzasyon uygulanmış iletim hatlarında arıza yerini belirlemek için kullanılan diğer bir yöntemdir [19,20]. Bu yöntem farklı arıza dirençlerinden, farklı arıza tiplerinden etkilenmemektedir. Her iki uçtan senkronize akım ve gerilim bilgisine ihtiyaç duyması bu yöntemin dezavantajıdır.

Yürüyen dalga teorisine dayalı yöntemler arıza direncinden, arıza türünden ve hat parametrelerinden etkilenmediği için seri kompanzasyon uygulanmış iletim hatlarında arıza yerini bulmak için kullanılmıştır. WT [21,22] ve FFT [23,24] seri kompanzasyon uygulanmış iletim hatlarında arıza yerini bulmak için uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Bazı akıllı yöntemler de seri kompanzasyon uygulanmış iletim hatlarında arıza yerini bulmak için kullanılmıştır. Malathi vd. [25] Ayrık Dalgacık Dönüşümünü (Discrete Wavelet Transform-DWT) arıza anındaki akım sinyallerine uygulayarak özellikler elde etmiş daha sonra elde edilen özellikleri ve ELM'yi kullanarak arıza yerini ve arıza türünü belirlemiştir. Yusuff vd. [26] ayrık dalgacık paket ayrıştırırmayı arıza sinyallerine uygulayarak özellikler çıkarmış ve bu özellikler ile SVM'yi kullanarak arıza yeri tahmininde bulunmuştur. Ray vd. [27] seri kompanzasyon uygulanmış iletim hatlarında DWT, Parçacık Sürü Algoritması (Particle Swarm Optimization-PSO) ve SVM ile arıza yerini belirlemiştir.

İletim hatlarında arıza yerini belirlemeye yönelik tamamlanan çalışmaların dışında, arıza türünü belirlemeye yönelik tamamlanan birçok farklı çalışma bulunmaktadır. Genel olarak yapılan çalışmaların hepsi iki adımdan oluşmaktadır. Öncelikli olarak hat akımlarından ve/veya gerilim sinyallerinden arıza sınıflandırması için çeşitli özellikler elde edilmekte, daha sonra bu özellikler bazı kural algoritmalarında değerlendirilerek veya bu özellikler ANN, ELM, SVM gibi çeşitli sınıflandırma algoritmaları ile kullanılarak arıza tipleri sınıflandırılmaktadır. Çalışmalardaki en büyük sorun ise akım ve/veya gerilim sinyallerinden sınıflandırma için etkili özelliklerin nasıl elde edileceği konusu olmuştur.

Ekici [28] DWT ve Çok Sınıflı Destek Vektör Makinelerini (Multi-Class Support Vector Machines-MCSVM) kullanarak iletim hatlarında arıza türünü bulan bir yöntem gerçekleştirmiştir. Çalışmada arıza öncesi yarım periyot ve arıza sonrası yarım periyot olmak üzere toplam bir periyot uzunluğundaki akım ve gerilim sinyalleri DWT'nin özellik çıkarması için kullanılmıştır. Daubechies 4 (db4)'ün ana dalgaçık seçildiği bu çalışmada sinyaller DWT ile 6. seviyeye kadar ayrıştırılmıştır. Her bir hat akımı ve gerilimi için yalnızca ilk üç ayrıştırma sinyali (D_1 - D_3) özellik çıkarımı için seçilmiş olup toplamda 18 farklı özellik MCSVM'nin giriş bilgisi olarak kullanılmıştır. 100 eğitim ve 100 test verisinin kullanıldığı çalışmada arıza sınıflandırma başarısı %99 olarak gerçekleşmiştir.

Aggarwal vd. [29] ANN'de kombine edilmiş denetimli/denetimsiz öğrenme metoduyla iletim hatlarında arıza tiplerini sınıflandırmıştır. Yapılan incelemede lineer olmayan regresyon tekniğine sahip olan Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağları (Back Propagation Neural Networks-BPNN) yönteminin global hatayı en aza indirdiği ve aynı giriş ve çıkış verilerine sahip olan denetimli/denetimsiz yapay sinir ağlarına göre daha küçük bir hacme sahip olduğu belirtilmiştir. BPNN yönteminin dezavantajının ise öğrenme süresinin uzun sürmesi olarak gösterilmiştir. Çalışmada denetimli/denetimsiz öğrenme metodunun ikisinin bir arada kullanıldığı Öz Düzenleyici Haritalar (Self Organizing Maps-SOM) geliştirilmiştir.

Chowdhury [30] Kohonen Yapay Sinir Ağları (Kohonen Neural Networks-KNN) ve temel akım ve gerilim sinyallerini kullanarak arıza tiplerini sınıflandırmıştır. Denetimsiz olan bu yöntemin öğrenim süresi açısından denetimli geleneksel yöntem olan BPNN ağlarına göre daha hızlı olduğu savunulmuştur. 414 tane arıza durumu eğitim için kullanılırken 206 tane arıza durumu ise test için kullanılmıştır. Giriş bilgisi için bir periyotluk sinyallere FFT uygulanarak üç faz akımlarının temel değerleri, nötr akımı temel değeri ve üç faz gerilimlerin temel değerleri elde edilmiştir. Çalışmada %100 arıza türü sınıflandırma başarısı elde edilmiştir.

Zhengyou vd. [31] Dalgacık Tekil Entropisi (Wavelet Singular Entropy - WSE) ve daha önceden belirlenmiş bazı kurallar ile arıza tiplerini sınıflandırmıştır. Çalışmada her bir faz için geçici rejim gerilim sinyalleri ve akım sinyalleri tek

tarafından ölçülmüştür. Önerilen yöntemi test etmek için ise arıza sonrası yarım periyotluk gerilim sinyalleri kullanılmıştır. Db4'ün ana dalgacık olarak seçildiği çalışmada 250 farklı arıza durumunun test edilip %100 arıza sınıflandırma başarısı sağlanmıştır.

Reddy ve Mohanta [32] Çoklu Çözünürlük Analizi (Multi Resolution Analysis-MRA) ve Bulanık Çıkarım Sistemini (Fuzzy Inference System-FIS) kullanarak iletim hatlarında arıza yerini ve arıza türünü belirleyen bir yöntem geliştirmiştir. Arıza türünü belirlemek için hat akımlarına WT uygulanarak MRA katsayıları elde edilmiş daha sonra bu katsayıların toplamının (S_a, S_b, S_c) belirli bir kural tabanına uygulanması ile arıza tipleri tespit edilmiştir. Yaklaşık 1000 farklı durum için arıza türünün tespit edildiği çalışmada, başlangıç arıza faz açısının hat akımlarına önemli bir etkisi bulunduğu belirtilerek başlangıç arıza faz açısı ($0-180^0$) derece arasında tutulmuştur.

Song vd. [33] iki periyot uzunluğundaki üç faz akım ve gerilim sinyallerinden iki örnek olarak toplamda 12 farklı özellik çıkarmıştır. Daha sonra bu özellikler Genetik Algoritma Yapay Sinir Ağları (Genetic Algorithm Neural Networks-GANN) ve BPNN ile eğitilerek arıza tipleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada BPNN'nin öğrenim süresinin uzun sürdüğü ve büyük verilere ihtiyaç duyduğu, GANN'in ise birçok hat parametresi değişkenlerine karşı daha duyarsız olduğu belirtilmiştir. 1500 arıza durumu test edilmiş ve GANN ile %2.35 hatalı sınıflandırma olduğu görülmüştür.

Samantaray [34] arıza sonrası bir periyotluk akım sinyallerine S dönüşümü uygulayarak sınıflandırma özelliklerini çıkarmıştır. Karar Ağacı (Decision Tree-DT) sınıflandırma sınırlarına, bulanık Üyelik Fonksiyonları (Membership Functions-MFS) ve bulanık kural tabanları uygulanarak arıza tipleri sınıflandırılmıştır. 6000 farklı arıza durumunun 4200 tanesi eğitim için kullanılırken 1800'ü ise sınıflandırma için kullanılmıştır. Çalışmada 25 MFS ve 13 bulanık kural uygulanmıştır. Buradaki sistemi daha basit hale getirmek için benzerlik ölçüsü ve genetik algoritma ile 25 MFS 18'e bulanık kurallar ise 13'den 10'a düşürülmüştür. Benzetim sonuçları, önerilen yöntemin 1800 test verisinde %98'den daha fazla başarı ile arıza türünü doğru sınıflandırdığını göstermiştir.

Martin ve Aguado [35] DWT ve İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağını (Feed Forward Neural Network-FNN) kullanarak arıza tiplerini sınıflandırmıştır. Role noktasından alınan sinyallere DWT uygulanarak sınıflandırma özellikleri elde edilmiş daha sonra bu özellikler FNN'ye uygulanarak kısa devre arıza tipleri sınıflandırılmıştır.

Shahrtash ve Jamehbozorg [36] hattın bir tarafından alınan akım ve gerilim sinyallerine Yarım Döngü Ayrık Fourier Dönüşümü (Half Cycle Discrete Fourier Transform-HCDFD) uygulayarak 1. harmonikten 19. harmoniğe kadar olan tek sayılı harmoniklerin büyüklük ve faz değerlerini hesaplamıştır. Burada her bir tek harmonik için sadece a fazının gerilim büyüklük değeri hesaplanmış, b ve c fazının ise akım büyüklük değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu büyüklükler ve bu büyüklüklere ait faz değerleri DT' ye uygulanarak arıza tipleri sınıflandırılmıştır. Yöntemde özellik çıkarmak için arızadan önce 2 msn ve arızadan sonra ise 8 msn olmak üzere yarım periyotluk sinyaller kullanılmıştır. Çalışmada yöntemin veri penceresinden oldukça etkilendiği vurgulanmıştır. 6600 eğitim verisi kullanılırken 1920 test verisi kullanılmıştır. Yöntemin sınıflandırma başarısı ise %100 olarak bulunmuştur.

Kezunović [37] ANN ve akım/gerilim sinyal bilgilerini kullanarak iki farklı devre bağlantı durumu için arıza tiplerini tespit etmiştir. Çalışmada farklı devre bağlantıları ve arıza durumlarını gerçekleştirmek için ATP programı kullanılmıştır. ANN öğrenimi için arıza sonrası bir periyot veya üç periyot uzunluğundaki akım ve/veya gerilim sinyali bilgileri kullanılmıştır. Toplam altı farklı giriş bilgisi iki farklı devre bağlantısı için eğitilip test edilmiştir. Birinci devre bağlantısı için 397 eğitim verisi kullanılırken, 1980 test verisi kullanılmıştır. İkinci devre bağlantısı için ise 1189 eğitim verisi ve 1188 test verisi kullanılmıştır. Bu iki devrede bağlantısında arıza sınıflandırması için üç periyot uzunluğundaki hat akımlarının verileri sınıflandırma için en iyi sonucu sağlarken, en kötü sonuç ise bir periyotluk gerilim sinyallerinin örnekleri için elde edilmiştir. Her iki devre durumu için elde edilen en yüksek sınıflandırma başarısı ise %94.36 olarak bulunmuştur.

Das ve Reddy [38] HCDFT ve FL'yi kullanarak kısa devre arıza tiplerini sınıflandırmışlardır. HCDFT ve Tam Döngü Ayrık Fourier Dönüşümü (Full Cycle

Discrete Fourier Transform-FCDFE) akım sinyallerine uygulanarak sınıflandırma için farklı özellikler elde edilmiştir. Burada 5 farklı giriş bilgisi ve farklı FL kuralları ile arıza tipleri belirlenmeye çalışılmıştır. 2400 farklı arıza durumunun test edildiği çalışmada HCDFT ve FL için arıza sınıflandırma başarısı %97.41 iken FCDFE ve FL için ise arıza sınıflandırma başarısı %98.75 olarak bulunmuştur. Her ne kadar çalışmada FCDFE ile daha iyi sınıflandırma başarısı elde edildiği vurgulansa da, HCDFT'nin daha hızlı olmasından dolayı arıza sınıflandırması için HCDFT ve FL kombinasyonu önerilmiştir.

Samantaray vd. [39] akım ve gerilim sinyallerine hiperbolik S-dönüşümünü uygulayarak sınıflandırma özelliklerini elde etmiştir. Elde edilen bu özellikler Radyal Taban Fonksiyonlu Yapay Sinir Ağlarına (Radial Basis Functional Artificial Neural Networks-RBFNN) uygulanarak arıza sınıfı ve arıza yeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Arıza türünü bulmak için yalnızca akım sinyalleri kullanılırken arıza yerini bulmak için ise hem akım hem de gerilim sinyalleri kullanılmıştır.

Oleskovicz vd. [40] arıza öncesi ve arıza sonrası üç faz akımları ve gerilimleri ile birlikte altı tane BPNN'yi kullanarak iletim hatlarında arıza tiplerini ve arıza uzaklıklarını belirlemiştir. İlk olarak üç faz akımlarına ve gerilimlerinin her birine ait 4 farklı sinyal değerleri BPNN'e gönderilerek arıza olup olmadığı değerlendirilmiştir. Daha sonra diğer bir BPNN ile arıza türü sınıflandırılmıştır. En son olarak dört farklı arıza türüne göre eğitilen BPNN ile arıza yeri tespit edilmeye çalışılmıştır. 4050 farklı arıza verisi, arıza belirleme ve arıza türünü belirlemek için kullanılırken; 3240 arıza verisi ise arıza yerini belirlemek için kullanılmıştır. Ortalama arıza sınıflandırma başarısı %99.42 iken, ortalama arıza yeri bulma başarısı ise %94.36 olarak bulunmuştur.

Upendar vd. [41] DWT ve Olasılık Sinir Ağını (Probability Neural Network-PNN) kullanarak arıza tiplerini sınıflandırmıştır. Upendar vd. [42] hattın bir tarafından elde edilen iki periyot uzunluğundaki hat akımlarına WT uygulayarak sınıflandırma özelliklerini elde etmiştir. Daha sonra bu özellikler, istatistiksel bir yöntem olan Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı (Classification and Regression Tree - CART) ile birlikte kullanılarak arıza tipleri sınıflandırılmıştır.

Das vd. [43] DWT ve Fourier Dönüşümünü (Fourier Transform-FT) hem arıza yerini belirlemek hem de arıza türünü sınıflandırmak için kullanmış ve benzetim sonuçlarını karşılaştırmıştır. Arıza türünü belirlemek için akım sinyalleri kullanılmıştır. DWT her bir hat akımına uygulanarak 8 seviyeli sinyal ayrışımı uygulanmıştır. Burada üçüncü seviye detay sinyalleri ile elde edilen bazı katsayılar ve bazı kurallar kullanılarak arıza tipleri tespit edilmeye çalışılmıştır. FT için ise akım sinyallerine FFT uygulanarak her bir üç faz akımının ilk bileşeninin büyüklüğü bulunmuş daha sonra benzer şekilde daha önceden belirlenen bazı kurallar ile arıza tipleri bulunmaya çalışılmıştır. Benzetim sonuçları DWT'nin arıza sınıflandırması için daha uygun bir yöntem olduğunu göstermiştir. Arıza yerini belirlemek için ise yalnızca Tek Faz Toprak Arızası (TFTA) durumunda Ayrık Fourier Dönüşümü (Discrete Fourier Transform-DFT) tekniğinin daha üstün olduğu vurgulanmıştır. Elde edilen benzetim sonuçlarından arıza yerini belirlemek için her iki tekniğin kullanıldığı hibrit bir teknik önerilmiştir. Burada yalnızca TFTA için DFT, diğer arızalar için ise DWT kullanılmasının daha iyi sonuçlar vereceği belirtilmiştir.

Literatürde gerçek zamanlı olarak arıza yerini bulmaya ve arıza türünü sınıflandırmaya yönelik bazı çalışmalar bulunmaktadır. Koley vd. [44] ANN ve WT'yi kullanarak bir arıza bulucu tasarlamıştır. Bu tasarım arıza yeri, arıza türü, arıza bölgesi ve arıza anı gibi bazı iletim hattı fonksiyonlarını yerine getirebilmektedir. Çalışmada iletim hatlarını modellemek ve veri elde etmek için MATLAB programı kullanılırken donanım aracı olarak ise ATmega Microcontroller kullanılmıştır. Lee vd. [45] bir ana işlemci birimi, analog sayısal işlemci birimi, sinyal arabirimi ve güç modülünün bir araya gelmesiyle oluşan akıllı dijital arıza tespit cihazını tasarlamışlardır. Çalışmada benzetimler için ATPDraw programı kullanılmıştır. Valsan ve Swarup [46] WT ve lojik bir yöntem kullanarak gerçek zamanlı olarak arıza türünü belirlemeye yönelik bir çalışma yapmıştır. ATPDraw programı benzetim verileri için kullanılırken, Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array-FPGA) ise donanım aracı olarak kullanılmıştır. Ezquerra vd. [47] ANN'yi kullanarak iletim hatlarında arıza türünü ve arıza yerini bulan bir yöntem gerçekleştirmiştir. Bu yöntem FPGA donanımı kullanarak gerçek zamanlı test edilmiştir. Liv vd. [48] MRA ve ANN'yi kullanarak arıza anını, arıza yerini ve arıza türünü belirlemeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Tamamlanan yazılım FPGA ile gerçek zamanlı test edilmiştir. Gerçek zamanlı olarak tamamlanan yöntemlerde

arıza anını belirlemek için karmaşık işlemler uygulanmış ve farklı veri pencerelerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu tezde arıza anını yakalamak için akımların anlık diferansiyel değişimleri kullanılmıştır. Yapılan uygulamalar bu yöntemin oldukça basit ve etkili olduğunu göstermiştir.

İletim hatlarında arıza yeri bulan yöntemlerde ise genel olarak bazı sorunlar ve sınırlamalar bulunmaktadır. Empedans ölçümüne dayalı arıza yeri bulan yöntemlerin başarısının iletim hattı karakteristiğine bağlı olması, arıza direncinden etkilenmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır. Benzer şekilde yürüyen dalga tekniğini kullanan bazı yöntemlerin yüksek örnekleme frekansına ihtiyaç duyması bu yöntemleri sınırlamaktadır.

Bu tezde bu sınırlamaları büyük ölçüde ortadan kaldıran arıza yerini yüksek doğrulukta bulabilen yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Bu yöntem yürüyen dalga frekansları ve ELM'nin regresyon özelliğine dayalıdır. Yürüyen dalga frekansını elde etmek için geçici rejim akım sinyallerine FFT uygulanmıştır. Yöntemde ilk önce herhangi bir arıza durumunda yürüyen dalga frekansları kullanılarak bir arıza yeri tahmini yapılmıştır. Bu arıza yeri tahmini farklı arıza dirençleri, arıza tipleri, arıza uzaklıkları, farklı kaynak endüktansları için denenmiş olup yalnızca kaynak endüktansı değerinin bu yöntemi olumsuz etkilediği görülmüştür. Bu durum kaynak endüktansı değerinin dalga hızına olumsuz etkisinden kaynaklanmaktadır. Kaynak endüktansının olumsuz etkisini minimize etmek için ELM'nin regresyon özelliği kullanılmıştır. Bu özelliği kullanabilmek için kaynak endüktansı değerleri, yürüyen dalga frekansları ile elde edilen tahmini arıza uzaklık değerleri ve gerçek arıza uzaklığı değerlerinden oluşan bir veri tabanına ihtiyaç duyulmuştur. Bu veri tabanını oluşturmak için ATP-EMTP [49,50] programını kullanarak kaynak endüktansı değeri ve gerçek arıza uzaklığı bilinen birçok farklı kısa devre arızası gerçekleştirilmiştir. ATPDraw programı ile elde edilen geçici rejim akım sinyalleri FFT kullanılarak zaman domeninden, frekans domenine dönüştürülmüştür. Daha sonra yürüyen dalga frekansları ile arıza uzaklığı tahminleri yapılarak ELM eğitimi için gerekli olan veri tabanı tamamlanmıştır. Burada her bir kısa devre arızası için yürüyen dalga frekansı ile tahmin edilen arıza uzaklığı değeri ve kaynak endüktansı değeri ELM giriş verisini, gerçek arıza uzaklığı değeri ise ELM çıkış verisini oluşturmuştur. Bu işlem eğitim için oluşturulan bütün kısa devre arızaları için

gerçekleştirilmiştir. ELM eğitimini tamamlandıktan sonra kaynak endüktansı değeri ve yürüyen dalga frekansı sonucu tahmin edilen arıza uzaklığı değeri ile ELM yeni bir arıza yeri tahmininde bulunmuştur. Bu çalışmalar sonucunda arıza yerinin tespitinde daha yüksek bir doğruluk derecesi sağlanmıştır.

Aynı zamanda bu tezde [12]'de kullanılan arıza belirleme yöntemi ilk kez seri kompanzasyon uygulanmış iletim hatlarında test edilmiştir. Seri kompanzasyon, uzun iletim hatlarında iletim hattının daha verimli çalışması için uygulanan bir yöntemdir. Ancak seri kompanzasyon biriminin doğrusal olmayan davranışları tamamlanmış birçok arıza yeri bulma algoritmasının olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Yöntemin seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattında arıza yeri belirlenmesinde kompanzasyon uygulanmamış hatlarda olduğu gibi yalnızca kaynak endüktansı değerinden olumsuz etkilendiği görülmüştür. [12]'de yapılan çalışmaya benzer olarak kaynak endüktansının olumsuz etkisini minimize etmek için Dalga Formu Gevşetme Yöntemi (Waveform Relaxation Method-WRM) uygulanmıştır.

Literatürde birçok farklı arıza sınıflandırma yöntemi olmakla beraber tamamlanan yöntemlerde arıza başlangıç açılarının belirli değerlerde tutulması, bu yöntemlerin veri pencerelerinden oldukça etkilenmeleri ve karmaşık işlemlere ihtiyaç duymaları gibi farklı sorunları bulunmaktadır. Bu tezde arıza sınıflandırmak için basit ve etkili bir yöntem geliştirilmiştir. Sınıflandırma özelliklerini elde etmek için bir periyot uzunluğundaki üç faz akımları ve üç faz akımlarına modal dönüşüm uygulanması sonrası elde edilen sıfır, pozitif ve negatif dizi akım bileşenleri veri penceresi olarak kullanılmıştır. Bütün arızalarda veri tabanının belirli değerlerde kalmasını sağlamak için her bir arıza durumunda üç faz akımları ve dizi bileşenleri belirli bir yöntem ile küçültülmüştür. Bu küçültme yönteminde herhangi bir arızada üç faz akımlarının en büyük tepe değeri bulunmuş daha sonra her bir hat akımı bu tepe değerine bölünerek sinyaller küçültülmüştür. Benzer işlemler dizi akım bileşenlerine uygulanmıştır. Daha sonra sinyallerin etkin değerleri ve bu etkin değerlerinin birbirlerine oranları kullanılarak sınıflandırma özellikleri elde edilmiştir. Özellikler elde edildikten sonra birçok farklı makine öğrenme algoritması arıza sınıflandırma amacıyla kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

Donanımsal açıdan ise Dijital Sinyal İşlemcisi (DSP) ilk defa arıza belirlemek, arıza türünü sınıflandırmak ve arıza yerini bulmak için bu tezde kullanılmıştır. ELM ve geçici rejim sinyalleri ile tamamlanan yazılım DSP cihazına aktarılarak pratik uygulamaya uygun bir prototip cihaz tasarımı yapılmıştır. Bu cihaz, laboratuvar ortamında gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Test sonuçları tamamlanan yöntemin oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Bu tasarım, aynı zamanda arıza yerini Global Positioning System (GPS) ile harita üzerinde görüntülenmesini sağlayabilmektedir.

2. ENERJİ İLETİM HATLARININ MODELLENMESİ

İletim hatları, santrallerde üretilmiş olan elektrik enerjisini dağıtım bölgelerine ulaşmasını sağlayan elemanlardır. İletim hatlarında gerilim, güç gibi bazı elektriksel büyüklükleri hesaplamak için kullanılan bazı parametreler ve bazı iletim hattı modelleri bulunmaktadır. Bu bölümde iletim hatları için kullanılan parametreler ve bu doktora tezinde kullanılan uzun iletim hattı modeli incelenmiştir.

2.1. İletim Hattı Parametreleri

İletim hatlarını oluşturan iletkenlerin birim uzunluk direnci (r) ve birim uzunluk endüktansı (l) vardır. Bunun yanı sıra birbirine paralel ve araları yalıtılmış olan hat iletkenleri arasında birim uzunlukta bir kapasite (c) var olduğu gibi yalıtkan maddenin mükemmel olmaması nedeniyle küçük de olsa bir kaçak iletkenlik kondüktans (g) de bulunmaktadır. Bu hat parametreleri direnç, endüktans, kapasite ve kondüktans bir yerde toplu olmayıp hat boyunca eşit dağılmıştır [51].

2.1.1. İletim Hattı Direnci

Etkin direnç değeri, iletkende meydana gelen güç kaybının akımın karesine bölünmesi ile bulunmaktadır.

$$R = \frac{P}{I^2} \quad (2.1)$$

İletkenin doğru akıma gösterdiği direnç ise denklem (2.2) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$R_{DA} = \frac{\rho d}{A} \Omega \quad (2.2)$$

Burada $A[m^2]$ iletken kesiti, $d[m]$ iletken uzunluğu ve $p [\Omega m]$ iletkenin öz direncidir.

2.1.2. İletim Hattı Endüktansı

Bir iletim hattının endüktansı malzemenin cinsine, iletkenlerinin örgü şekline ve faz iletkenlerinin birbirlerine göre konumlarına bağlıdır. Üç fazlı bir havai iletim hattının birim endüktansı, denklem (2.3) ile hesaplanabilmektedir. Denklemde D iletkenler arası uzaklık, D_s ise iletkenin etkin yarıçapıdır [51].

$$l = (0.2 \ln \frac{D}{D_s}) 10^{-7} \quad \text{mH/km} \quad (2.3)$$

Eğer direkte üç fazın konumu bir eşkenar üçgen oluşturuyorsa çaprazlama yapmaya gerek duyulmaz ve Geometrik Ortalama Uzaklık (GMD) fazlar arası uzaklığa eşit olmaktadır. Faz iletkenlerinin konumu, eşkenar bir üçgen oluşturuyorsa 50 km'yi aşan hatlarda çaprazlama yapılarak geometrik ortalama uzaklık aşağıdaki denklemle bulunmaktadır [51].

$$GMD = \sqrt[3]{d_{ab} d_{bc} d_{ac}} \quad (2.4)$$

$$l = (0.2 \ln \frac{GMD}{GMR}) 10^{-7} \quad \text{mH/km} \quad (2.5)$$

Burada GMR iletkenlerin geometrik ortalama yarıçapıdır [51].

2.1.3. İletim Hattı Kapasitesi

Çaprazlanmış hatlar için üç fazlı sistemlerde yarıçapları r olan üç iletkenin faz başına oluşturduğu birim kapasite denklem (2.6) kullanılarak belirlenir [51].

$$c = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{GMD}{r}} \quad \text{F/m} \quad (2.6)$$

2.1.4. İletim Hattı Kaçak İletkenliği

Her iletim hattının bir kaçak iletkenliği mevcuttur. Bu iletkenlik değeri kullanılan yalıtkan, frekansa, atmosferik şartlara göre değişmektedir. Alçak frekanslarda bu değer göz ardı edilebilecek kadar küçüktür. İyi korunmuş kabloların kaçak iletkenliğine hava şartlarının etkisi yoktur. Buna rağmen, kablolarda kullanılan kağıt, polietilen gibi yalıtkanların dielektrik kaybı frekans yükseldikçe büyük değerler almaktadır [51].

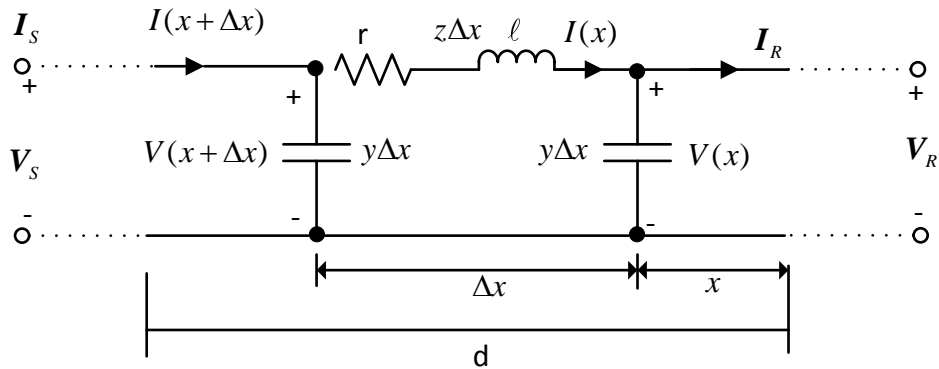
2.2. Uzun İletim Hattı Modeli

İletim hat modelleri hattın uzunluğuna bağlı olarak incelenirler. Uzunluğu 80 km'ye kadar olan hatlara kısa iletim hatları, uzunluğu 80-240 km olan hatlara orta uzunluktaki iletim hattı, uzunluğu 240 km'den fazla olanlara ise uzun iletim hattı denir [52]. Bu bölümde bu tezde kullanılan uzun iletim hattı modeli incelenmiştir.

Uzun iletim hattı modelleri için dağılmış parametre etkisini göz önüne alınması gerekmektedir. Bu yüzden hat üzerindeki herhangi bir noktada gerilim ve akım ifadeleri çıkarılmıştır. Şekil 2.1'de d km uzunluğundaki dağılmış parametrelili bir hattın bir fazı gösterilmiştir [53]. Birim uzunluk başına seri empedans z ve paralel admitans y ile gösterilmiştir.

$$z = r + j\omega l \quad \Omega/m \quad (2.7)$$

$$y = g + j\omega c \quad S/m \quad (2.8)$$



Şekil 2.1. Dağılmış parametrelili uzun hat modeli

Hattın karakteristik empedansı Z_0 ;

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \quad \Omega \quad (2.9)$$

değerindedir.

Yayıma sabiti γ ise

$$\gamma = \sqrt{ZY} \quad (2.10)$$

değerindedir.

Burada

$$V(x) = \left(\frac{e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2} \right) V_R + Z_0 \left(\frac{e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}}{2} \right) I_R \quad V \quad (2.11)$$

$$I(x) = \left(\frac{e^{\gamma x} - e^{-\gamma x}}{2Z_0} \right) V_R + \left(\frac{e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}}{2} \right) I_R \quad A \quad (2.12)$$

değerindedir. (2.21) ve (2.22) ifadeleri $\cosh x$ ve $\sinh x$ cinsinden tekrar düzenlenirse;

$$V(x) = \cosh(\gamma x) V_R + Z_0 \sinh(\gamma x) I_R \quad V \quad (2.13)$$

$$I(x) = \frac{1}{Z_0} \sinh(\gamma x) V_R + \cosh(\gamma x) I_R \quad A \quad (2.14)$$

bulunur [53]. Son iki ifade $ABCD$ parametrelerinin daha kolay bulunabileceği matrisel formda yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Bu ifadelerde

$$A = D = \cosh(\gamma d) \quad (2.16)$$

$$B = Z_0 \sinh(\gamma d) \quad (2.17)$$

$$C = (1 / Z_0) \sinh(\gamma d) \quad (2.18)$$

dir.

2.3. Modal Dönüşüm

Üç fazlı iletim hatlarında hareket eden dalgalar birbirine bağlıdır, bu yüzden ilerleyen dalga yöntemini uygulamak için faz alanı sinyalleri ilk önce modal dönüşüm matrisleri vasıtasıyla modal bileşenlerine ayrıştırılır [54].

Ayrık bir frekanstaki çok iletkenli bir hattın kararlı hal durumu aşağıdaki denklemlerle tanımlanır;

$$-\frac{dV_{faz}}{dx} = zI_{faz} \quad (2.19)$$

$$-\frac{dI_{faz}}{dx} = yV_{faz} \quad (2.20)$$

Burada z ve y her birim uzunluktaki seri empedans ve paralel admitans matrisi iken V_{faz} ve I_{faz} değişken iletkenlerdeki gerilim ve akım fazörlerinin vektörleridir.

Denklem (2.19) ve (2.20) durum vektörüne göre düzenlenirse;

$$-\frac{d^2V_{faz}}{dx^2} = zyV_{faz} \quad (2.21)$$

$$-\frac{d^2I_{faz}}{dx^2} = yzI_{faz} \quad (2.22)$$

elde edilir.

Burada \mathbf{zy} ve \mathbf{yz} matris çarpımlarının bazı özel durumlar dışında aynı olmadığını belirtmek gerekir. Bu denklemlerin çözülmesi hala zordur çünkü bütün fazlar birbirine bağlıdır. Fakat faz gerilimlerini modal gerilimlere dönüştürerek denklemler ayrıştırılır.

$$\mathbf{V}_{faz} = \mathbf{M}_v \mathbf{V}_{mod} \text{ ve } \mathbf{V}_{mod} = \mathbf{M}_v^{-1} \mathbf{V}_{faz} \quad (2.23)$$

Uygun bir dönüşüm matrisi \mathbf{M}_v ile birlikte denklem (2.23) aşağıdaki denkleme dönüşür.

$$\frac{d^2 \mathbf{V}_{mod}}{dx^2} \mathbf{M}_v^{-1} \mathbf{zy} \mathbf{M}_v \mathbf{V}_{mod} = \Lambda \mathbf{V}_{mod} \quad (2.24)$$

burada $\mathbf{M}_v^{-1} \mathbf{zy} \mathbf{M}_v = \Lambda$ köşegen matrisidir. Denklem (2.22) aynı köşegen matrisi ile köşegenleştirilebilir.

$$\frac{d^2 \mathbf{I}_{mod}}{dx^2} \mathbf{M}_i^{-1} \mathbf{yz} \mathbf{M}_i \mathbf{I}_{mod} = \Lambda \mathbf{I}_{mod} \quad (2.25)$$

Fakat akımlardaki dönüşüm matrisi geriliminkinden farklıdır.

$$\mathbf{I}_{faz} = \mathbf{M}_i \mathbf{I}_{mod} \text{ ve } \mathbf{I}_{mod} = \mathbf{M}_i^{-1} \mathbf{I}_{faz} \quad (2.26)$$

Akım ve gerilimin dönüşüm matrisleri aşağıdaki gibi ilişkilendirilir.

$$\mathbf{M}_i^t = \mathbf{M}_v^{-1} \quad (2.27)$$

Burada t matrisin transpozunu gösterir.

Köşegen denklemler (2.24) ve (2.25) ile m fazlı hat, m tane tek fazda incelenebilir. Modal seri empedansı ve paralel admitans aşağıdaki denklemler ile hesaplanır.

$$\mathbf{Z}_{mode} = \mathbf{M}_v^{-1} \mathbf{z} \mathbf{M}_i \quad (2.28)$$

$$Y_{mod}=M_i^{-1}yM_v \quad (2.29)$$

Çaprazlama uygulanmış üç fazlı iletim hatları için $M_i=M_v$ dir. Bu durumda $zy = yz'$ nin öz vektörlerine orantılı üç sütun vektöründen oluşan uygun bir iletim hattı matrisi M formunda bulunabilir.

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Bu tezdeki modal dönüşümü uygulamasında denklem (2.30)'daki M dönüşüm matrisi kullanılmıştır. Bununla beraber literatürde Clarke dönüşümü (Clarke Transform-CT) [55-57], Clarke-Concordia dönüşümü (Clarke-Concordia Transform-CCT) [58, 59] ve Karrenbauer dönüşümü (Karrenbauer Transform-KT) [60] gibi birçok farklı dönüşüm matrisi kullanılmıştır.

3. İLETİM HATLARINDA KISA DEVRE ARIZA TÜRLERİ

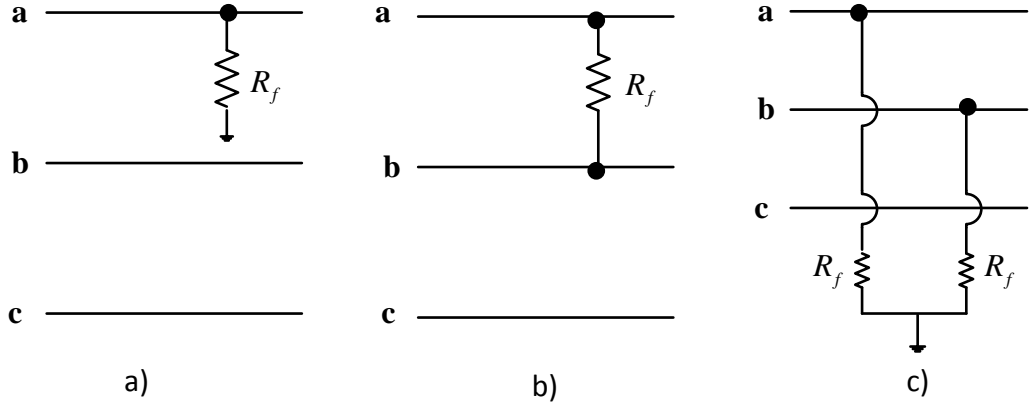
Tek faz toprak arızası (TFTA), iki faz arızası (İFA), iki faz toprak arızası (İFTA) ve üç faz toprak arızası (ÜFTA) olmak üzere dört farklı tip kısa devre arızası iletim hatlarında oluşmaktadır. Bu arızalardan TFTA bir fazın toprağa temas etmesiyle oluşmaktadır. Bu arıza iletim hatlarında %70 oranında oluşmaktadır. İFA bir iletim hattının diğer iletim hattına temas etmesiyle gerçekleşir. Bu arıza türü iletim hatlarında %15 oranında oluşmaktadır. İFTA iki faz iletim hattının TFTA olduğu gibi toprağa temas etmesiyle oluşur. Bu arıza türü iletim hatlarında %10 oranında gerçekleşmektedir. ÜFTA ekipman arızası, kule düşmesi veya diğer fazlara dokunan bir iletken nedeniyle oluşabilir. Genel olarak, bu tür arıza yaygın olmamaktadır ve dağıtım sistemlerinde %5 oranında en az sıklıkta görülmektedir. Arıza yaygın olmamasına rağmen, ÜFTA'nın oluşumu çok büyük arıza akımı oluşturabilmekte ve tehlikeli olabilmektedir. Bu nedenle ekipmanın hasar görmesini ve müşteri kaybını önlemek için arızalar hızlı bir şekilde tespit edilmelidir. Genel olarak iletim hatlarında karşılaşılan arızalar seri ve paralel arızalar olarak iki farklı sınıfta kategorize edilebilir [5].

3.1. Seri Arızalar

Seri arızalar iletim hatlarında dengesiz seri empedans durumunda oluşur. Açık bir iletkeni temsil eder. Seri arıza, bir güç sistemi ağında bir veya birden fazla hattın bozuk olduğu durumlarda oluşur. Bu arızalar, arızalı fazlarda frekans kullanılarak kategorize edilir [5].

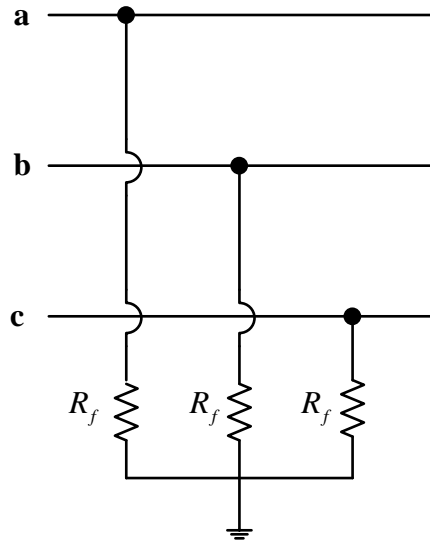
3.2. Paralel Arızalar

Dağıtım sistemlerinde paralel arızalar için faz aşırı akım röleleri ve aşırı akım toprak röleleri, bir dağıtım sisteminde arızalı devrenin tespiti ve izole edilmesi için yaygın olarak kullanılır. Paralel arızasının önemli özelliği, akımdaki artış ve gerilim ile frekanstaki düşüştür. TFTA, İFA, İFTA, ÜFTA olmak üzere dört sınıfa ayrılır [5]. Şekil 3.1'de sırası ile TFA, İFA, İFTA gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kısa devre arızaları a) tez faz b)iki faz c)iki faz toprak kısa devre arızası

Şekil 3.2’de ise ÜFTA gösterilmiştir [5].



Şekil 3.2. Üç faz toprak arızası

3.2.1. Tek Faz Toprak Arızası

Tek hat-toprak arızası (TFTA) kısa devre arızası olarak da bilinir. İletim hattının bir fazı toprak veya nötr tel ile temas ettiğinde oluşur. TFTA’nin nedenlerinden bazıları rüzgâr, düşen ağaçlar veya başka bir olay olabilmektedir. Şebekedeki arızaların % 70’i bu kategori altında sınıflandırılmıştır [5].

3.2.2. İki Faz Arızası

İFA şiddetli rüzgârlardan veya iki iletkenin kısa devre yaptığı durumlarda oluşur. Havai veya yer altı iletim sistemlerinde oluşabilir. Arızaların % 15'i İFA arızası olarak kabul edilir.

3.2.3. İki Faz Toprak Arızası

Bir İFTA, önemli bir asimetri ile sonuçlanan ciddi bir olaydır ve belli bir süre içinde düzeltilmezse, ÜFTA haline gelebilir. Arızaların % 10'u İFTA olarak sınıflandırılmaktadır [5].

3.2.4. Üç Faz Toprak Arızası

Üç faz toprak arızası (ÜFTA) bir ekipman arızası, düşen kule veya kalan fazları bağlayan bir hat nedeniyle oluşabilir. Hat hatalarının sadece % 5'ini kaplar. En az arıza meydana gelmesine karşın en tehlikeli arızadır. ÜFTA'nın akımı çok büyüktür [5].

Çizelge 3.1. Kısa devre arızası türüne göre arıza oluşum oranları

Arıza Türü	Oluşma oranı %	Şiddeti
TFTA	70	Az Şiddetli
İFA	15	Az Şiddetli
İFTA	10	Az Şiddetli
ÜFTA	5	Çok Şiddetli

Çizelge 3.1'de farklı arıza tiplerinin oluşma oranları ve şiddetleri gösterilmiştir. Arıza şiddeti, arıza akımının büyüklüğü ve zarara yol açma potansiyeli açısından ifade edilebilir. Güç sistemlerinde, ÜFTA en şiddetli olan ve üç hat arasında eşzamanlı kısa devre nedeniyle en tehlikeli arıza türüdür. TFTA ise en az tehlikesi olan arıza türüdür [5]. Güç sistemlerinin diğer elemanlarından kaynaklanan arıza yüzdesi ise çizelge 3.2'de gösterilmiştir [5]. Bu çizelgeden görüldüğü gibi havai iletim hatlarından kaynaklanan arızalar güç sistemlerinde en çok karşılaşılan arızalardır.

Çizelge 3.2. Güç sistemi elemanlarından kaynaklanan arıza oluşum oranları

Güç Sistemi Elemanları	Oluşma oranı %
Transformatörler	10
Havai İletim Hatları	50
Yeraltı Kabloları	9
Şalt Tesisi	12
Kontrol Elemanları, Roleler	12
Jeneratörler	7

4. FOURIER DÖNÜŞÜMÜ

Fourier Dönüşümü (FT) birçok bileşeni olan zamanla değişmeyen durağan bir sinyali harmonik bileşenlerine ayıran bir süreçtir [61-63]. FT, sinyallerin temsili için sinüs ve kosinüs taban fonksiyonlarını kullanmaktadır. Sinyalleri temsil eden fonksiyonların trigonometrik bir seri cinsinden açılabilmesi, o sinyal hakkında anlamlı bilgiler elde edilmesini sağlamaktadır [61].

Bir $f(t)$ fonksiyonunun FT 'si,

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (4.1)$$

Biçiminde tanımlanır ve $F(\omega)$ 'nin ters Fourier dönüşümü

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{j\omega t} dt \quad (4.2)$$

olarak tanımlanmaktadır. Bu eşitlikler genellikle Fourier dönüşüm çifti olarak adlandırılır ve bu eşitlikler, zaman veya frekans domeninin $(-\infty, \infty)$ aralığındaki herhangi bir fonksiyonu, ters domende sürekli bir fonksiyona dönüştürmek için kullanılır. FT zaman domenindeki bir sinyali frekans domenine veya frekans domeninde olan bir sinyali zaman domenine dönüştürmek için kullanılır.

4.1. Hızlı Fourier dönüşümü (FFT)

FFT, ayrık Fourier dönüşümünü (DFT) kolaylaştırmak için geliştirilmiştir [61,63].

Bir sinyalin DFT'si aşağıdaki denklem ile bulunmaktadır [63].

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]e^{-j\omega n} \quad k=0,1,\dots,N-1 \quad (4.3)$$

Bu durumda, dönüşümün her k değeri için N adet karmaşık çarpma ve $N-1$ adet karmaşık toplama işlemi yapılması gerekmektedir. N noktalı bir DFT için N^2

miktarında hesap yükü gerekmektedir. DFT'deki faz faktörü, aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

$$W_N = e^{-j(2\pi/N)} \quad (4.4)$$

Faz faktörünün simetri ve periyodiklik özellikleri kullanılarak, DFT'nin daha verimli hesaplanabilmesi mümkündür. Faz faktörünün simetri özelliği,

$$W_N^{k+N/2} = -W_N^k \quad (4.5)$$

Faz faktörünün periyodiklik özelliği de,

$$W_N^{k+N} = W_N^k \quad (4.6)$$

ilişisini vermektedir [63].

FFT, DFT hesabı için faz faktörünün simetri ve periyodiklik özelliğinden faydalanılarak hızlı bir hesaplama sağlamaktadır. FFT yöntemleri zamanda örnek seyreltme ve frekansta örnek seyreltme yöntemleri olarak iki grupta sınıflandırılabilir. Bu yöntemlerden zamanda örnek seyreltme için N noktalı bir DFT,

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]W_N^{kn} \quad k=0,1,\dots,N-1 \quad (W_N = e^{-j(2\pi/N)}) \quad (4.7)$$

olarak tanımlanmaktadır. İşaretin çift sayılı ve tek sayılı örneklerine ayrıştırılması ile DFT,

$$X[k] = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x[2n]W_N^{k(2n)} + \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x[2n+1]W_N^{k(2n+1)} \quad (4.8)$$

şeklinde yazılabilmektedir. W_N^k faz faktörü n 'ye bağlı olmadığı için toplamın dışarısına çıkarıldığında eşitlik,

$$X[k] = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x[2n]W_N^{k(2n)} + W_N^k \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x[2n+1]W_N^{k(2n)} \quad (4.9)$$

şeklini alır. $W_N^{k(2n)} = W_{N/2}^{kn}$ ilişkisinden dolayı faz faktörleri N/2 noktalı DFT' ye göre şekillendirildiğinde,

$$X[k] = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x[2n]W_{N/2}^{kn} + W_N^k \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x[2n+1]W_{N/2}^{kn} \quad (4.10)$$

elde edilmektedir. $x_1[n] = x[2n]$ ve $x_2[n] = x[2n+1]$ gösterimi kullanıldığında,

$$X[k] = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x_1[n]W_{N/2}^{kn} + W_N^k \sum_{n=0}^{(N/2)-1} x_2[n]W_{N/2}^{kn} \quad (4.11)$$

$$X[k] = X_1[k] + W_N^k X_2[k] \quad k=0,1,2,\dots,N-1 \quad (4.12)$$

elde edilmektedir. Faz vektörünün simetri özelliği $W_N^{k+N/2} = -W_N^k$ dikkate alınarak $X[k]$ 'nin ilk N/2 değeri

$$X[k] = X_1[k] + W_N^k X_2[k] \quad k=0,1,2,\dots,(N/2)-1 \quad (4.13)$$

Sonraki N/2 değeri ise,

$$X[k] = X_1[k] - W_N^k X_2[k] \quad k=0,1,2,\dots,(N/2)-1 \quad (4.14)$$

şeklinde elde edilmektedir [63].

Örnek seyreltme ile FFT hesabında, en alt seviyede sadece iki örnekten oluşan diziler elde edilinceye kadar ilk $x[n]$ işareti sürekli çift ve tek sayılı örneklerine ayrılmaktadır. En alt seviyede iki noktalı DFT hesaplanmaktadır. Bu dönüşümler denklem (4.13) ve denklem (4.14) doğrultusunda birleştirilerek bir üst seviyenin DFT elde edilmektedir. Aynı işlem tekrarlanarak bir üst seviyeye çıkılmaktadır. Sürekli olarak FT'ler benzer şekilde birleştirilerek üst seviyeye çıkılması sonucunda en üst seviyede $x[n]$ işaretinin FT'si elde edilmektedir.

DFT'nin doğrudan hesaplanmasında N^2 ile orantılı hesap yükü, zamanda örnek seyreltme işlemi ile FFT'nin kullanımı sayesinde $N \log_2(N)$ ile orantılı seviyede düşmektedir [63].

Frekansta örnek seyreltme yönteminde ise hesap yükünün azaltılması için giriş işaret örneklerinin seyreltilmesi yerine DFT çıkışı $X[k]$, çift ve tek sayılı frekans örneklerine ayrıştırılabilmektedir. Zamanda örnek seyreltme algoritmasında olduğu gibi çift ve tek frekans örneklerini kapsayan dizilerin tekrar kendi aralarında tek ve çift frekanslarına ayrılmasına devam edilir. Bunun için, işaret sürekli olarak ikiye bölünerek işaretin birinci yarısı ile ikinci yarısı ile toplamı ve farkı hesaplanıp fark işareti gerekli faz faktörü ile çarpılmaktadır. En alt seviyede sadece iki noktalı bir DFT hesabı ile işaretin FFT'si elde edilmektedir [63].

5. MAKİNE ÖĞRENME ALGORİTMALARI

Günümüzde sınıflandırma, regresyon, kümeleme gibi alanlarda uygulanan birçok farklı makine öğrenme algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmaların her birinin farklı özellikleri bulunup, uygulama alanları ise değişiklik gösterebilmektedir. Bu bölümde bu doktora tezinde regresyon ve sınıflandırma için kullanılan ELM ve yalnızca arıza sınıflandırması için kullanılan yapay sinir ağları (ANN), Bayes, Function, Lazy, Meta, Trees ve Rules sınıfı makine öğrenme algoritmaları incelenmiştir.

Genel olarak literatürde iletim hatlarında oluşan kısa devre arızalarını sınıflandırma için ANN ve ELM tekniği uygulanmaktadır. Bununla beraber son zamanlarda birçok farklı alanlarda uygulanan makine öğrenme teknikleri kısa devre arızalarını sınıflandırma amacıyla da kullanılmaya başlamıştır. Halen bu alanda çok az çalışma bulunsa da gelecek zamanla birçok farklı makine öğrenme algoritmasının bu alanda kullanılması beklenebilir. Bu yüzden bu doktora tezinde arıza sınıflandırma için ANN ve ELM ile birlikte farklı makine öğrenme algoritmaları incelenmiş ve benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır.

5.1. Yapay Sinir Ağları

ANN modeli beyin yapısından esinlenerek oluşturulmuş olup, tecrübelerden edinilen bilgileri kullanabilen sistemlerdir [64, 65]. ANN doğrusal olmayan ve etkileşim etkilerini büyük bir başarı ile tanımlamak için deneysel bir veri setinden öğrenme yeteneğine sahiptir. Giriş katmanı, ara katmanlar ve çıkış katmanından oluşur. Bir sinir ağı, birkaç veri seti ile eğitilir ve optimum veri ağırlıklarına ulaşmak için diğer veri setiyle test edilir [64].

ANN'ler birçok avantaj sunmaktadır, ancak doğada çok karmaşık olan birçok dezavantaja da sahiptir. Ağ tipi seçimi, ağ mimarisi, katmanların seçimi, her katmandaki nöron sayısı, aktivasyon fonksiyonlarının seçimi, öğrenme algoritmaları parametreleri bu dezavantajlardan bazılarıdır [66].

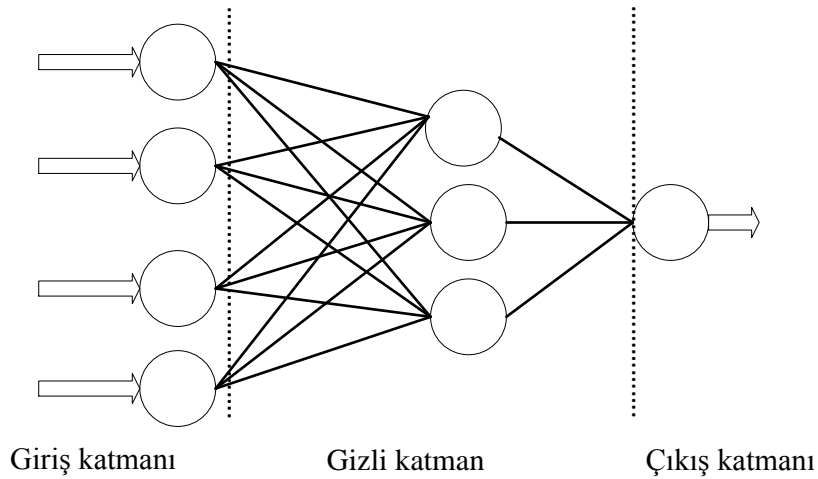
ANN doğrusal olmayan problemleri kolayca çözebilen bir programlama tekniği olduğu için iletim hatlarında arıza yerini bulma ve arıza türünü sınıflandırma amacıyla kullanılmaktadır [66]. ANN ileri beslemeli yapay sinir ağı ve geri beslemeli yapay sinir ağı olarak iki sınıfa ayrılabilir.

5.1.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı

FNN bir girdi katmanı, bazı gizli katmanlar ve bir çıktı katmanından oluşur. Şekil 5.1’de bir FNN örneği verilmiştir. Her katman, ANN’nin temel işlem öğeleri olan belli sayıda nöronlara sahiptir. Nöronlar diğer katmanlarla diğer nöronlarla bağlantılıdır ve her bağlantıda bir ağırlık vardır. Her bir nöron ANN’deki bir operasyon birimidir. İşlem, diğer nöronların ağırlıklandırılmış aktivasyonunu, yaklaşan bağlantılarla toplamaya başlar. Ağırlıklı toplam, bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilir ve bu aktifleştirilmiş değer, nöronun çıktısıdır [65].

ANN’lerde sigmoid fonksiyonu genel olarak aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılmaktadır [65]. Denklem (5.1)’de sigmoid fonksiyonu verilmiştir.

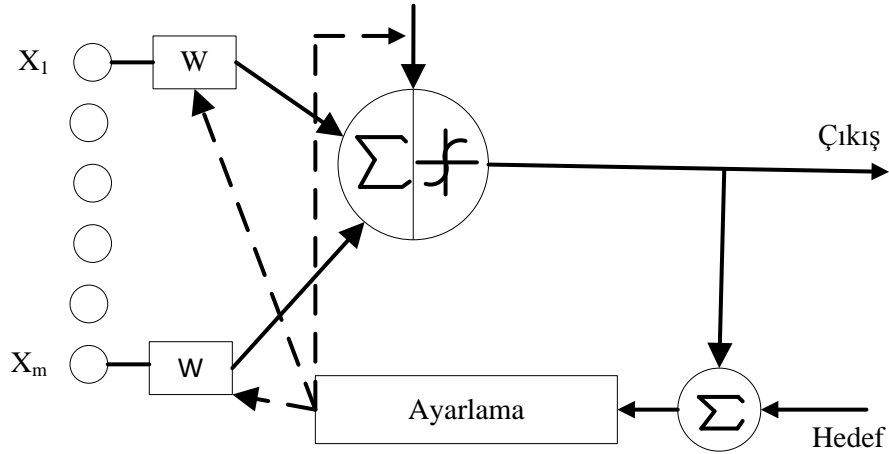
$$g(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (5.1)$$



Şekil 5.1. Tek katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı yapısı

5.1.2. Geri Yayımlı Yapay Sinir Ağı

BPNN’de çıkış, giriş ağırlıklarının değerlerindeki değişimi hesaplamak için girişi geri beslemektedir. Sinir ağı için geri-hata yayılım algoritmasının ağırlıkları rastgele seçilir, bir giriş çifti içerisinde geri beslenir ve daha sonra sonuç elde edilir. Her adımdan sonra ağırlıklar yenileriyle güncellenir ve süreç hata toleransının önceden tanımlanmış bir değeri elde edilinceye kadar tekrarlanır. Şekil 5.2 BPNN yapısını göstermektedir. Geri-hata yayılım algoritması, hata fonksiyonlarına (kareli hataların toplamı dışındaki) uygulanması ve Jacob ve Hessian matrislerinin hesaplanması da dahil olmak üzere çeşitli amaçlar için etkili bir şekilde kullanılır. Bütün bu süreç, geriye doğru yöndeki ağı tamamında her katman tarafından adapte edilmektedir. Önerilen algoritma, her iterasyonda hata hesaplamak için Ortalama Kare Hata (Mean Square Error-MSE) tekniğini kullanmaktadır [66].



Şekil 5.2. Geri beslemeli yapay sinir ağı

Her yinelemede her çıktı için MSE aşağıdaki formül ile hesaplanır [66].

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i - E_o)^2 \quad (5.2)$$

Burada N iterasyonların sayısını, E_i gerçek çıktıyı ve E_o modelden elde edilmiş çıktıyı göstermektedir [66].

- Sinir ağının yapısı
- Sinir ağının boyutu (katman sayısı, vb.)

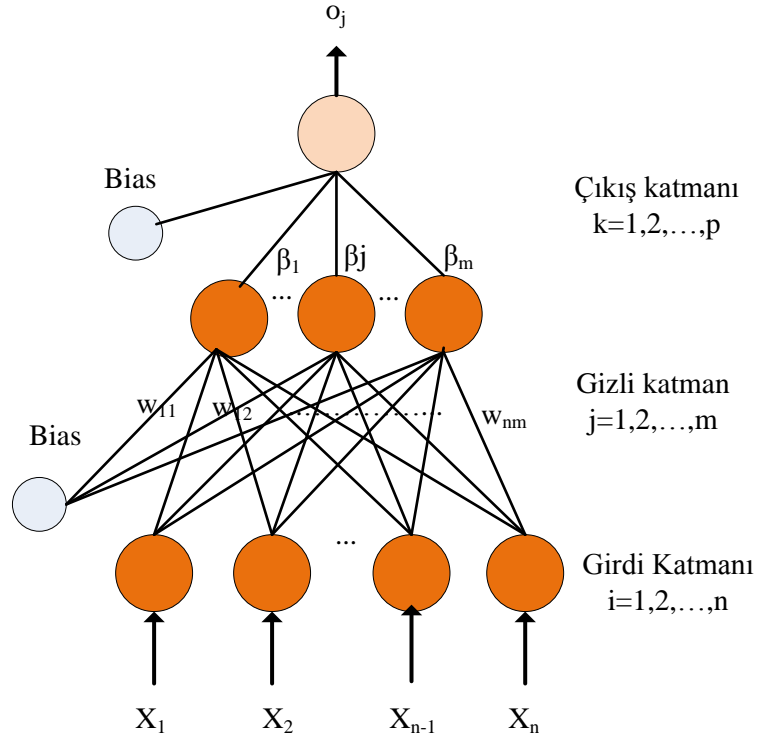
- Araştırılan sorunun karmaşıklığı
- Kabul edilen öğrenme metodu (eğitim işlevi)
- Giriş ve çıkış veri setinin boyutu (eğitim / öğrenme kalıpları)

Gibi etmenler iterasyon sayısını ve harcanan süreyi etkilemektedir [66].

5.2. Aşırı Öğrenme Makineleri

ELM, Huang [67] ve ekibi tarafından önerilmiş olup, Tek Gizli Katmanlı İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (Single Layer Feedforward Artificial Neural Networks- SLFNN)'ler için geliştirilmiş bir öğrenme yaklaşımıdır. Sınıflandırma ve regresyon problemlerini çözmek için kullanılmaktadır [67]. ELM'nin öğrenme hızı diğer geleneksel SLFNN yöntemlerine göre hızlı olup en az müdahale ile en iyi performansı gerçekleştirmektedir [68-70].

ELM'de giriş ağırlıkları ve eşik değerleri rastgele üretilmekte, ancak çıkış ağırlıkları analitik olarak elde edilmektedir [67-70]. ELM'de gizli katmanda sigmoid, ve sinüs gibi aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir [67]. Şekil 5.3'te ileri beslemeli yapay sinir ağı yapısı gösterilmiştir.



Şekil 5.3. İleri beslemeli yapay sinir ağı

N tane gizli sinir hücresi içeren ve $g(x)$ aktivasyon fonksiyonuna sahip SLFNN ağı matematiksel olarak denklem (5.3)'de belirtildiği gibi modellenenir [67]:

$$\sum_{i=1}^{\tilde{N}} \beta_i g_i(x_j) = \sum_{i=1}^{\tilde{N}} \beta_i g(w_i x_j + b_i) = o_j, \quad (5.3)$$

$$j=1, \dots, N,$$

burada $w_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}]^T$ giriş ağırlıkları olup i . gizli düğümü ile giriş düğümünü bağlayan ağırlık vektörünü, $\beta_i = [\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{im}]^T$ i . gizli düğüm ile çıkış düğümünü bağlayan ağırlık vektörünü, b_i ise bias gizli katmanın eşiklerini göstermektedir. $g(\cdot)$ aktivasyon fonksiyonunu o_j ise çıkış vektörünü göstermektedir.

Denklem (5.3) her zaman istenilen çıkışı üretmeyebilir ve bu yeni çıkış denklem t_j çıkışı olabilir. SLFNN ağ performansını artırmak için hatanın sıfır veya en aza indirilmesi gerekir. $\sum_{j=1}^{\tilde{N}} \|o_j - t_j\| = 0$ [67]:

ELM ayrıca matris formunda modellenenir.

$$\mathbf{H}\beta = T \quad (5.4)$$

burada

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} g(w_1 x_1 + b_1) & \dots & g(w_{\tilde{N}} x_1 + b_{\tilde{N}}) \\ \vdots & \dots & \vdots \\ g(w_1 x_N + b_1) & \dots & g(w_{\tilde{N}} x_N + b_{\tilde{N}}) \end{bmatrix}_{N \times \tilde{N}} \quad (5.5)$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_1^T \\ \vdots \\ \beta_{\tilde{N}}^T \end{bmatrix}_{\tilde{N} \times m} \quad ve \quad T = \begin{bmatrix} t_1^T \\ \vdots \\ t_N^T \end{bmatrix}_{N \times m} \quad (5.6)$$

$$\beta = \mathbf{H}^\dagger T \quad (5.7)$$

Burada T istenen çıkış matrisi, H gizli tabaka çıkış matrisi, H^t , H matrisinin Moore-Penrose genelleştirilmiş tersidir;

ELM algoritması üç adımda aşağıdaki gibi özetlenebilir [68]:

Aşama 1: $W_i=(W_{i1}, W_{i2}...W_{in})$ giriş ağırlıkları ve gizli katman β_i eşik değerleri rastgele üretilir.

Aşama 2: H gizli katman çıkışı hesaplanır.

Aşama 3: β çıkış ağırlıkları $\beta = H^t T$ 'ye göre hesaplanır.

5.3. Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Bayes Sınıfı

Bayes ağırları olasılıkçı bir yaklaşıma sahip olup bunların sınıflandırma için kullanımı önemli derecede ilgi görmüştür. Bayes algoritmaları, herhangi bir sınıfı o sınıfa ait olma olasılığına bağlı olarak tahmin eder [71]. Naive Bayes, Naive Bayes Multinomial ve Naive Bayes Multinomial Text bazı Bayes sınıfı algoritmalarıdır.

Naive Bayes (NB), Bayes'in şartlı olasılık kuralını kullanan basit bir sınıflandırıcıdır. Naive Bayes (NB) sınıflandırıcıları, öğrenmek ve uygulamak için çok hızlıdır. Sınıflandırıcıya "naif" denir, çünkü tüm öngörücü değişkenlerin koşullu olarak bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Bağımsızlık varsayımı gerçek dünyadaki veriler için tipik olarak yanlış olsa da, sınıflandırıcının güçlü öznitelik bağımlılıklarının varlığı durumunda bile genellikle iyi performans göstermektedir [72].

Multinomial NB bir belgedeki kelimelerin çok terimli olarak dağılımını modeller. Bir belge, bir dizi sözcük olarak ele alınır ve her bir sözcük konumunun her birinden bağımsız olarak oluşturulduğu kabul edilir [73].

Naive Bayes Multinomial Text ise metin verileri için çokterimli bayestir. Doğrudan (ve yalnızca) dizi öznitelikleri üzerinde çalışır [74].

5.4. Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Fonksiyon Sınıfı

Regresyon ve sinir ağı kavramını uygular. Giriş verileri çıkışa eşlenir. Yinelemeli parametre tahmin şemasını kullanır [75]. Logistic, Simple Logistic ve SMO bazı Fonksiyon sınıfı algoritmalarıdır.

Logistic algoritması yalnızca iki değer taşıyabilen bir sonuç olasılığını tahmin etmek için regresyon uygular. Lojistik regresyon, 0 ile 1 arasındaki değerlerle sınırlı lojistik bir eğri oluşturur. Eğri olasılık oranının doğal logaritmasını kullanır [75].

Simple Logistic, doğrusal lojistik regresyon modelleri oluşturmak için kullanılan sınıflandırıcıdır. Lojistik modellerin belirlenmesi için temel öğrenim olarak basit regresyon fonksiyonlarına sahip LogitBoost kullanılmaktadır. Gerçekleştirilecek optimum LogitBoost yinelemelerinin sayısı otomatik olarak nitelik seçimine yol açarak çapraz doğrulanır [74].

Sıralı Minimum Optimizasyon algoritması (SMO), bir destek vektör sınıfını (SVM) eğitmek için John Platt'ın [76] SMO'sunu uygular. Bu uygulama küresel olarak tüm eksik değerlerin yerini alır ve nominal nitelikleri ikili değerlere çevirir. Varsayılan olarak tüm öznitelikleri normalleştirir. Bu durumda, çıktıdaki katsayılar orijinal verilere değil normalleştirilmiş verilere dayanır; sınıfın yorumlanması için bu önemlidir. Çok sınıflı problemler, çiftli sınıflandırma kullanılarak çözülür. Uygun olasılık tahminlerini elde etmek için lojistik regresyon modellerinin SVM çıktılarına uyan seçeneği kullanılır. Çok sınıflı durumda tahmin edilen olasılıklar, Hastie ve Tibshirani'nin eşli bağlama yöntemi kullanılarak birleştirilir [74].

5.5. Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Lazy Sınıfı

Lazy sınıflandırıcıları eğitim örneklerini saklar ve sınıflandırma zamanı gelene kadar gerçek bir iş yapmazlar. Sistem, sorguları almadan önce eğitim verilerini genelleştirmeye çalışır [71]. Bu algoritmadaki kazanılan temel avantaj, yerel olarak k-en yakın komşu algoritması gibi hedef fonksiyonun yaklaştırılmasıdır. Amaç fonksiyonu, sisteme yapılan her sorgu için yerel olarak yaklaştırıldığından, Lazy sistemleri birden fazla sorunu aynı anda çözebilir ve sorun arenasındaki

değişikliklerle başarıyla başa çıkabilir. Lazy metodu sınıflandırmanın dezavantajı ise eksiksiz eğitim veri setinin depolanması için büyük alan gereksinimini içermesidir. Eğitim aşamasında hiçbir yöntem uygulanmadığı için çoğunlukla gürültülü eğitim verileri, olay desteğini gereksiz yere arttırmaktadır [71, 75]. IBL, IBK ve KStar bazı Lazy sınıfı algoritmalarıdır.

IBL temel bir anlık tabanlı öğrenme yöntemidir. Verilen test örneğine en yakın eğitim örneği öklid uzaklığını bularak sınıflandırmayı yapar. Birkaç örnek en yakın olma niteliğinde olursa ilk bulunan kullanılır [71].

IBK aynı mesafe ölçüsünü kullanan k-en yakın komşu sınıflandırıcısıdır. En yakın komşuları bulma görevini hızlandırmak için farklı arama algoritmalarını kullanılabilir. Kullanılan mesafe işlevi, aramanın bir parametresidir. Öklid, Chebyshev, Manhattan ve Minkowski uzaklık ölçütleri kullanılabilir [71].

KStar algoritması, bir küme yöntemi olarak tanımlanabilir, ağırlıklı olarak " n " bölünmesini amaçlayan her bir gözlemin " k " kümeler halinde gözlemlenmesi en yakın ortalaması olan kümeyle aittir. KStar algoritması, uzaklık ölçüsü olarak entropi kullanır. Avantajları; gerçek değerli özelliklerin, sembolik niteliklerin ve eksik değerlerin ele alınmasında tutarlı bir yaklaşım sağlamasıdır [71].

5.6. Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Trees Sınıfı

Karar ağacı (DT) yapısı bir dizi düğüm ve daldan oluşan bir sınıflandırma modelidir. Düğümler daire şeklinde gösterilirken dallar ise düğümleri birbirine bağlayan segmentler ile gösterilmektedir. Bir DT kökten başlar, aşağı doğru hareket eder ve genellikle soldan sağa doğru çizilir. Ağacın başladığı düğüme kök düğümü adı verilir. Dizinin bittiği düğüme "yaprak" adı verilir. Yaprak düğümü olmayan her iç düğümden iki veya daha fazla dal uzatılabilir. Dalları belirli bir değer aralığını temsil ederken bir düğüm belirli bir karakteristiği temsil eder. Bu değer aralıkları verilen karakteristik değerler kümesi için bir bölüm noktası işlevi görür. DT'ki verilerin gruplandırılması, verilerin niteliklerinin değerlerine dayanır. Bir DT, önceden sınıflandırılmış verilerden yapılır. Sınıflara bölünme, veriyi en iyi bölen özelliklere göre kararlaştırılır. Veri öğeleri bu özelliklerin değerlerine göre bölünür.

Bu işlem veri tabanının her bir alt grubuna yinelemeli olarak uygulanır [77]. Birçok DT yapılandırma algoritması iki adımlı bir işlemi içerir. İlk olarak, çok büyük bir DT yetiştirilir. Daha sonra ikinci adımda, büyük boyu küçültmek ve verilere fazla uyum sağlamak için elde edilmiş olan ağaç budanır [78]. J48, LMT, Random Forest, Random Tree ve REPTree bazı Trees sınıfı algoritmalarıdır.

J48 algoritmasında Ross Quinlan [79] bir DT oluşturmak için kullanılan C4.5 algoritmasını geliştirmiştir. Bu teknikle, sınıflandırma sürecini modellemek için bir ağaç oluşturulur. Ağaç kurulduktan sonra, yöntem veri tabanı içindeki her bir veri grubuna uygulanır ve o veri grubu sınıflandırılır. Bir ağaç inşa ederken, J48 eksik değerleri yok sayar. O maddenin değeri, diğer kayıtların özellik değerleri hakkında bilineni temel alarak tahmin edilebilir. J48, DT'leri ya da onlardan üretilen kurallar sayesinde sınıflandırmaya izin verir [80].

LMT yapraklarda lojistik regresyon fonksiyonlarına sahip sınıflandırma ağaçları olan lojistik model ağaçları kurmak için kullanılan DT yöntemidir. Algoritma ikili ve çok sınıflı hedef değişkenleri, sayısal ve nominal öznelikleri ve eksik değerleri ele alabilir [74].

Random forest, Leo Breiman [81] tarafından geliştirilmiştir. Tahmin yapmak için çoğunluk oyunu kullanan, budanmamış sınıflandırma ağaçlarının bir araya gelmesi ile oluşmuştur [72].

Her ağaç aşağıdaki gibi büyütülür:

- Eğitim setindeki olgu sayısı E ise, E olgu orijinal verilerin yerini alacak şekilde rastgele örneklenir. Bu örnek, ağacın büyütülmesi için düzenlenen eğitim olacaktır.
- Her düğümde, m öngörüsü, G girdi değişkeninin dışından rastgele seçilir ve bu m , öngörücülerin en iyi bölünmesi sağlayan düğümü bölmek için kullanılır ($m \leq G$). Ormanın büyümesi sırasında m 'in değeri sabit tutulur. En iyi sonuçlara ulaşmak için $m = \sqrt{G}$ varsayılır.
- Her ağaç mümkün olan en geniş kapsamda yetiştirilir. Bir budama yoktur [82].

Random forest genellikle C4.5 gibi tek ağaç sınıflandırıcılarına göre önemli bir performans iyileştirmesi göstermektedir [77].

Aşağıda Random forest algoritmasının bazı önemli özellikleri vurgulanmıştır [82]:

- Mevcut sınıflandırma algoritmalarıyla karşılaştırıldığında tutarlı bir şekilde doğru olduğu rapor edilmiştir.
- Büyük veri setleri üzerinde verimli çalışır.
- Kayıp verileri tahmin etmek için verimli bir yöntemi vardır ve verilerin büyük bir kısmı eksik olduğunda doğruluğu korur.
- Sınıflandırmada hangi özelliklerin önemli olduğunu tahmin eder.
- Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında gürültüye karşı daha duyarsızdır.

Diğer bir DT algoritması olan Random Tree algoritması ise her düğümde K rastgele özelliğe sahip olan ağaçlardan rastgele oluşturulmuş bir ağaçtır. Bu bağlamda "rastgele" ifadesi ağaçların kümesinde her ağacın örnek alınma şansı eşit olduğu anlamına gelir ya da ağaçların "aynı" bir dağılımı olduğu söylenebilir. Rastgele ağaçlar verimli bir şekilde oluşturulabilir ve rastgele ağaçların büyük setlerinin kombinasyonu genellikle doğru modellere yol açmaktadır [77].

5.7. Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Rules Sınıfı

Sınıfın tüm öznitelikleri arasında doğru tahmin için bir tür ortaklık kuralı kullanılır. Doğru tahmin miktarı kapsam terimi tarafından tanımlanır ve yüzde veya doğruluk formunda ifade edilir. Birden fazla sonuç öngörülebilir [75]. JRip ve PART bazı Rules sınıfı algoritmalarıdır.

JRip 1995'te Cohen [83] tarafından uygulanmıştır. Bu teknik bir kural öğrenimi önerimini gerçekleştirir. Hatayı azaltmak için kümülatif hata budaması yöntemini uygular. Azalan hata budama teknikleriyle, ilişkilendirme kurallarına dayanmaktadır. Böylece etkili bir teknik olmaktadır [75].

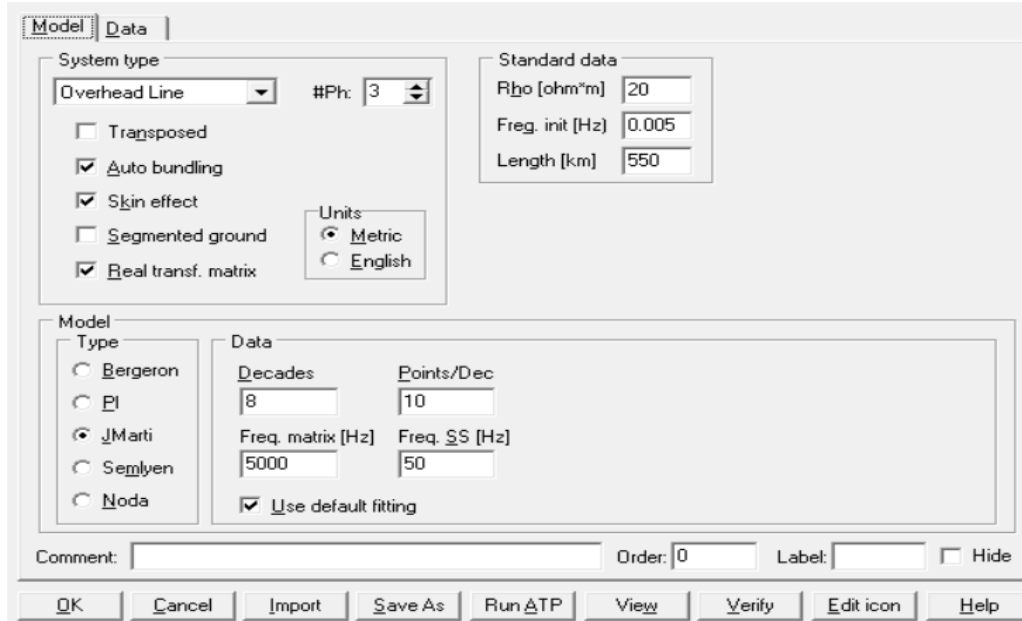
PART algoritması [84], doğru kurallar üretmek için küresel optimizasyonu yürüten nispeten basit bir algoritmadır. Bir kural oluşturur, kapsadığı örnekleri kaldırır ve artık örnekler kalmayana kadar kalan örnekler için özyinelemeli bir kural oluşturmaya devam eder [85].

6. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu bölümde bu doktora tezinde seçilen ATPDraw iletim hattı modeli, iletim hattı parametreleri incelenmiştir. Daha sonra bu tezde uygulanan arıza bulma yöntemi, arıza sınıflandırma yöntemlerinin benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tüm benzetim sonuçları geniş bir şekilde değerlendirilmiştir.

6.1. ATPDraw/EMTP Programı

ATPDraw programı [49, 50] literatürde geçici rejim olaylarını incelemek ve iletim hattı modellerini oluşturmak için kullanılan bir programdır. Bu program birçok farklı iletim hattı modelinin denenmesine imkan vermektedir. Şekil 6.1 ATPDraw programı için kullanılabilir iletim hattı modellerini göstermektedir. Şekil 6.2 ise iletim hattı modeli için kullanılan elektriksel ve fiziksel parametreleri göstermektedir.



Şekil 6.1. ATPDraw iletim hattı modelleri

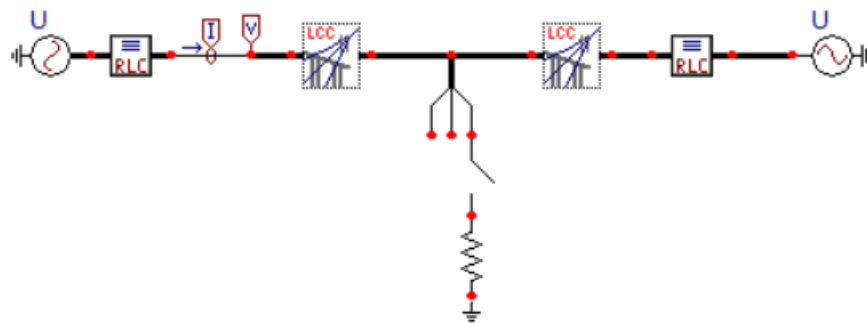
	Ph.no	Rin	Rout	Rsis	Horiz	Vtower	Vmid	Separ	Alpha	NB
#		[cm]	[cm]	[ohm/km DC]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[deg]	
1	1	0.557	1.521	0.0596	-12	24	12	40	0	2
2	2	0.557	1.521	0.0596	0	24	12	40	0	2
3	3	0.557	1.521	0.0596	12	24	12	40	0	2
4	0	0.48	0.8	0.3527	-7.6	33	20	0	0	0
5	0	0.48	0.8	0.3527	7.6	33	20	0	0	0

Buttons: Add row, Delete last row, Insert row copy, Move (up/down arrows), OK, Cancel, Import, Save As, Run ATP, View, Verify, Edit icon, Help

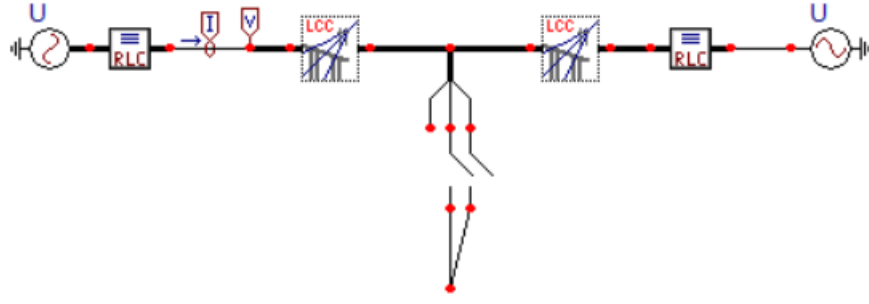
Şekil 6.2. ATPDraw iletim hattı modeli için kullanılan parametreler

Arıza sinyalleri ile oluşan geçici frekanslar güç frekansından büyük olduğu için, frekans bağımlı iletim hattı modelinin kullanılması gereklidir. Bu yüzden J. Marti iletim hattı modeli [86] bu çalışmada kullanılmıştır. Bu iletim hattı modeli elektromanyetik geçici programlarında en çok kullanılan yöntem olup birçok benzetim için etkili olduğu görülmüştür [87].

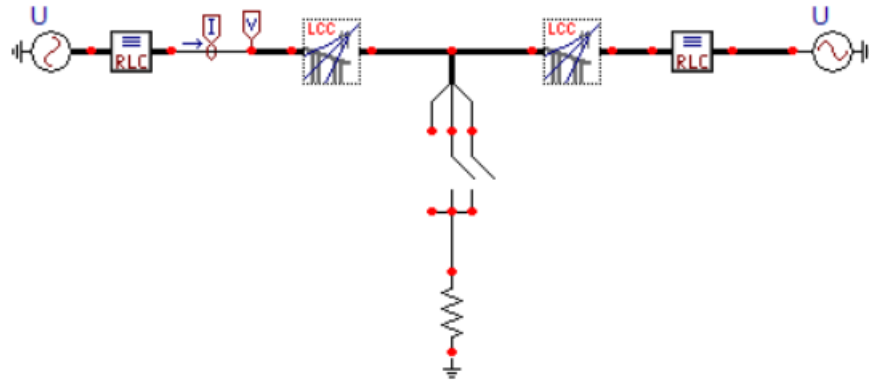
Şekil 6.3, 6.4, 6.5 ve 6.6'da ise farklı kısa devre arızalarının ATPDraw modelleri gösterilmiştir.



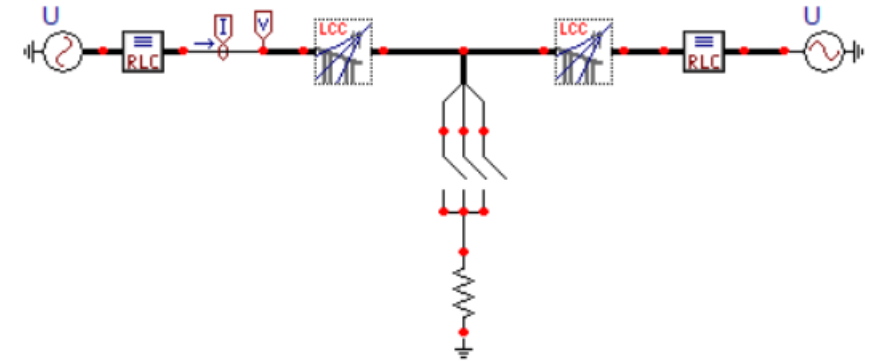
Şekil 6.3. Tek faz toprak kısa devre arızası ATPDraw modeli



Şekil 6.4. İki faz kısa devre arızası ATPDraw modeli

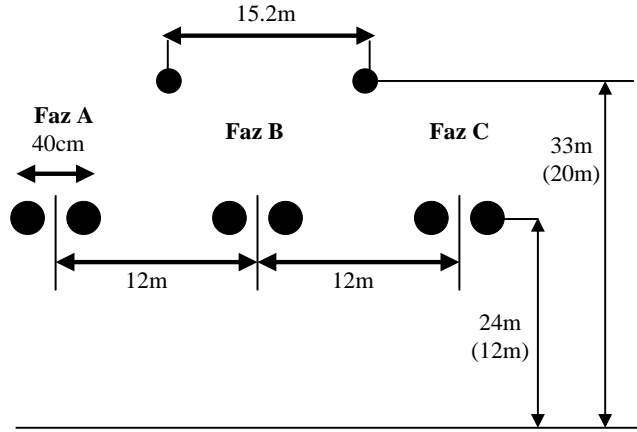


Şekil 6.5. İki faz toprak kısa devre arızası ATPDraw modeli



Şekil 6.6. Üç faz toprak arızası ATPDraw modeli

Şekil 6.7’de ATPDraw programında benzetimler için kullanılan kule yapısı gösterilmiştir. Çizelge 6.1’de ise iletim hattı kulesi fiziksel ve elektriksel parametreleri verilmiştir.



Şekil 6.7. Benzetimler için kullanılan 380kV'luk kule yapısı

Çizelge 6.1. Üç faz iletim hattı kulesi fiziksel ve elektriksel parametreleri

Faz konumu	Yatay kule yapısı
Faz iletkenleri	
Kuledeki yükseklik	24 m
Orta açıklık yüksekliği	12 m
Faz aralığı	12 m
Demet sayısı	2
Alt iletkenin yarıçapı	1.521 cm
Alt iletkenler arası uzaklık	40 cm
Geometrik ortalama yarıçapı (GMR)	1.2253 cm
DC direnç	0.0596 Ω /km
Toprak iletkeni	
Direkteki yükseklik	33 m
Orta açıklık yüksekliği	20 m
Ara uzaklık	15.2 m
Yarıçap	0.8 cm
DC direnç	0.3527 Ω /km

6.2. Geçici Rejim Frekans Spektrumu İle Arıza Noktasının Belirlenmesi

Kısa devre olayları iletim hatlarında en sık karşılaşılan durumlardır. İletim hattının herhangi bir noktasında meydana gelen kısa devre, hat üzerinde yürüyen gerilim ve akım dalgalarına yol açar. Bu dalgaların hattın bir noktasından diğer bir noktaya ulaşması dalga hızına bağlı olup, hattın dalga hızını hat parametreleri belirlemektedir. İletim hattındaki bir x mesafesindeki akım veya gerilim dalgasının hat üzerindeki yayılma süresi τ olup,

$$\tau = x_{ariza} / v \quad (6.1)$$

ile hesaplanabilir. Bu eşitlikte v dalga hızını ifade etmektedir ve empedansı $z = r + j\omega l$ Ω/m , admitansı $y = g + j\omega c$ S/m olan bir iletim hattı için [88]

$$v = \omega / \text{Im}(\sqrt{zy}) \approx 1 / \sqrt{lc} \text{ m/s} \quad (6.2)$$

değerine sahiptir. Meydana gelen geçici rejim anındaki akım dalgalarının genliği ise arıza noktasındaki gerilimin, arıza anındaki genliği ile orantılıdır. Kısa devre arızalarının akım ve gerilim dalgaları üzerinde meydana getirdiği değişimler dikkate alınarak arıza noktasının uzaklığını tespit etmek mümkündür. Geçici rejim frekans analizinden yayılım süresi τ belirlenerek ve hat parametrelerinden hesaplanabilen dalga hızı v kullanılarak arıza noktası $x_{ariza} = \tau v$ olarak bulunur. Geçici rejimde ortaya çıkan harmonik frekanslar ile yayılım süresi

$$f_1 = \frac{1}{2\tau_f}, f_2 = \frac{1}{\tau_f}, \dots, f_i = \frac{i}{2\tau_f} \quad (6.3)$$

ve

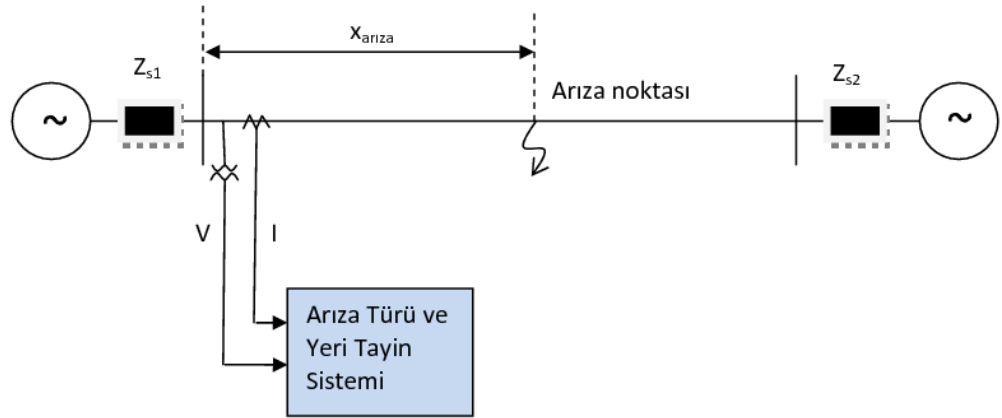
$$\tau_f = \frac{1}{2f_1} = \frac{1}{f_2} = \dots = \frac{i}{2f_i} \quad (6.4)$$

şeklinde olmaktadır. i . harmonik frekansı f_i kullanarak arıza noktası

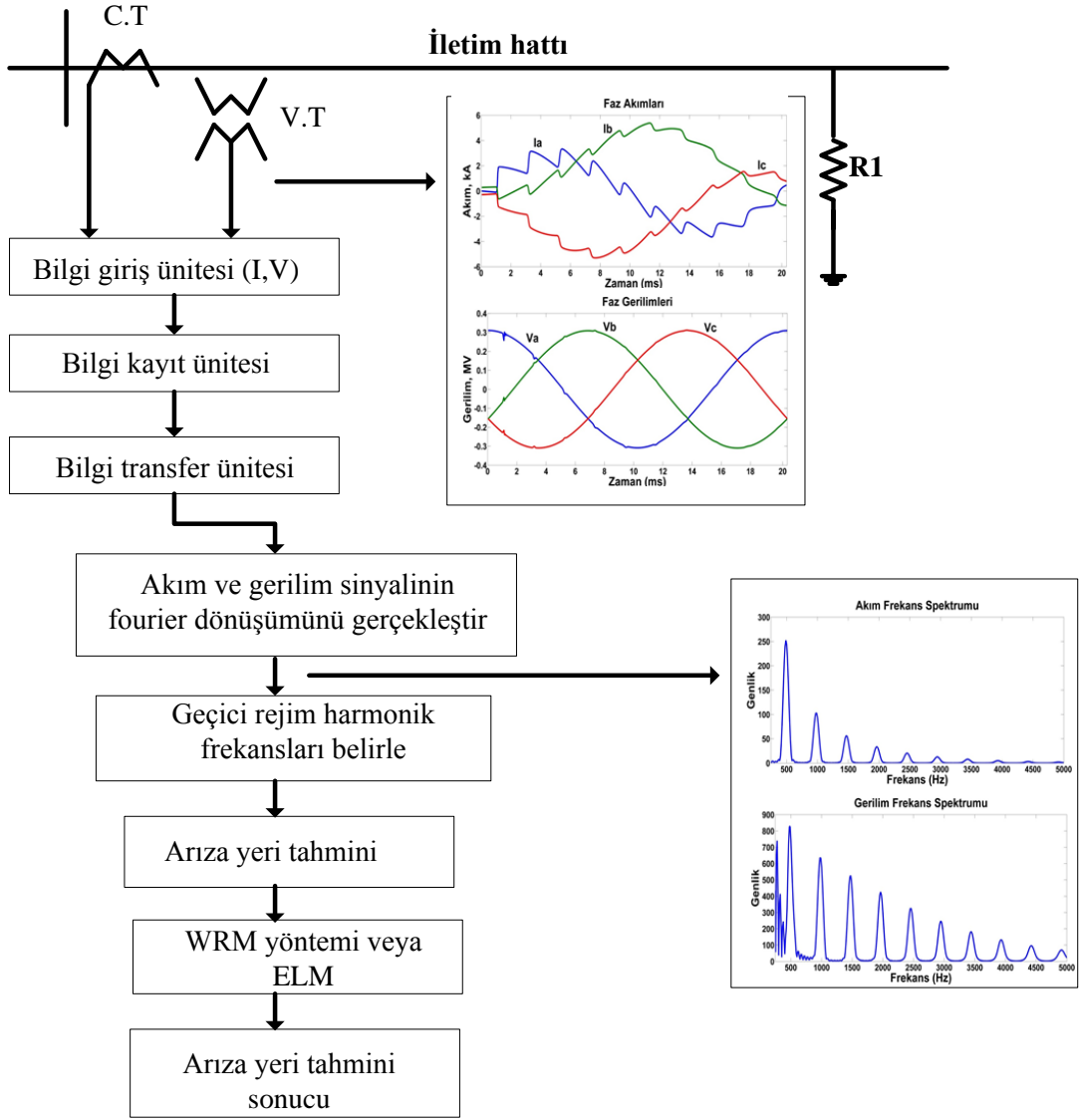
$$x_{ariza} = v\tau_f = \frac{iv}{2f_i} \quad (6.5)$$

hesaplanabilir [11,12,23,24]. Yöntemin uygulanmasında en önemli husus arızanın meydana getirdiği dalga yayılımlarından yola çıkarak yayılım süresinin belirlenmesidir. Dalga olaylarını temel alan mevcut yöntemlerin çoğunda akım dalgasındaki ani dalgalanmalar zaman alanında değerlendirilerek arıza yeri belirlenmiştir. Ancak dalga biçiminde meydana gelen deformasyonlar sonuçların doğruluk derecesini etkilemektedir. Bu çalışmada ise zaman domenindeki bilgilerin frekans domenine dönüştürülerek meydana gelen yüksek frekanslı değişimler izlenmiş ve iletim hattının bir terminalinden kısa devre sırasında elde edilecek akım ve gerilim geçici rejim değişiminin harmonik analizinden faydalanarak, iletim hattındaki arıza noktasının kaynağa olan uzaklığı belirlenmiştir [11,12,23,24].

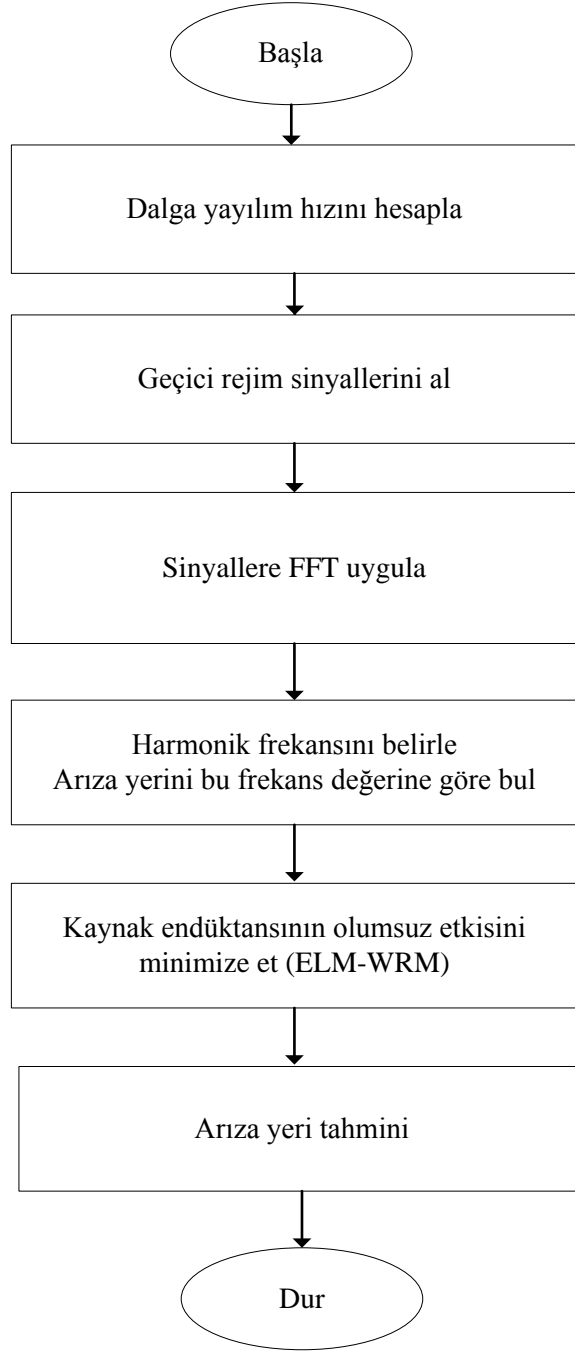
İletim hattında çeşitli durumlarda meydana gelen geçici rejim olayının incelenmesi için ilk olarak ATP-EMTP’de sistemin bir modeli oluşturulmuştur. Örnek test sistemi bağlantısı şekil 6.8’de verilmiştir. İletim hattındaki arıza noktasının bulunması ile ilgili işlem basamaklarını kapsayan sistem modeli şekil 6.9’da verilmiştir. FFT kullanılarak arıza noktasının bulunması için geliştirilen algoritmanın akış diyagramı şekil 6.10’da detaylandırılmıştır.



Şekil 6.8. Arıza noktası belirleme sistemi bağlantısı



Şekil 6.9. Arıza noktası belirleme sistemi blok diyagramı



Şekil 6.10. Yöntem akış şeması

6.2.1. Arıza Noktasının Belirlenmesi: Tek fazlı sistem

Arıza noktasının geçici rejim harmonik frekansları ile orantılı olduğunu ve arıza noktasının bu frekansların değerleri kullanılarak bulunabildiğini örnek uygulama ile göstermek için, $r=0.02 \Omega/\text{km}$, $l=1.11 \text{ mH}/\text{km}$ ve $c=10.366 \text{ nF}/\text{km}$ parametrelerine sahip olan 231 kV, 240 km tek fazlı iletim hattındaki çeşitli arıza durumları incelenmiş ve buna ilişkin sonuçlar verilmiştir. Kaynak direnci 0.01Ω ve

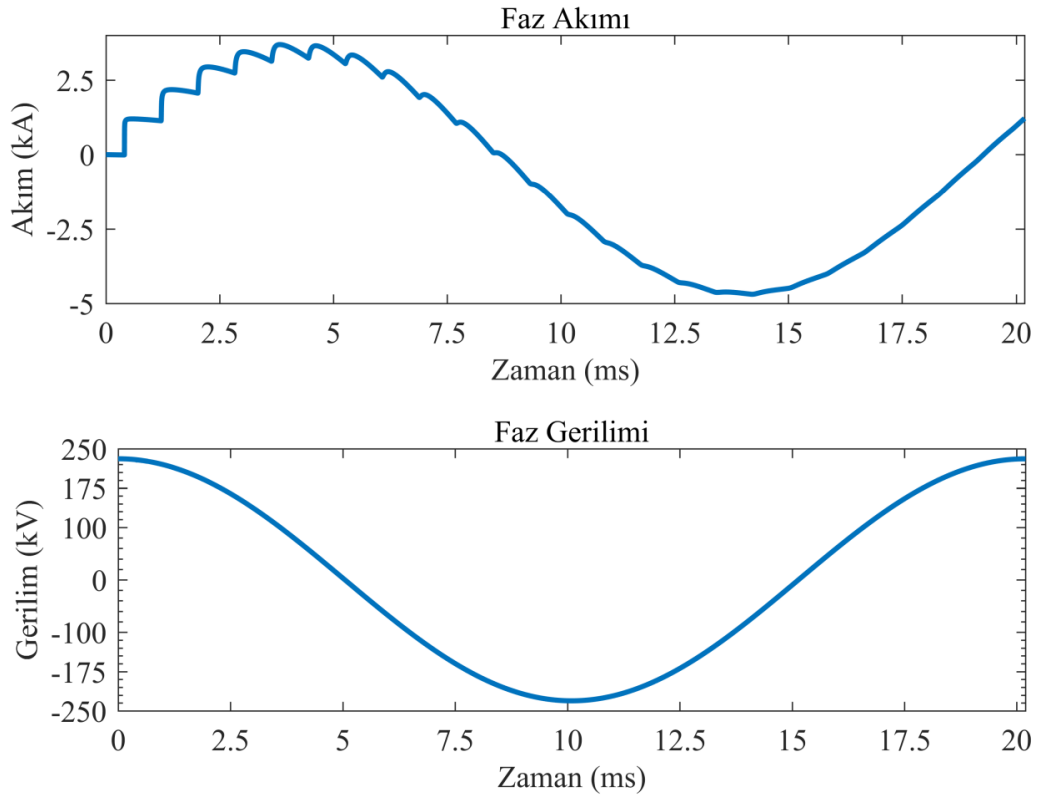
kaynak endüktansı 0.1 mH olarak ele alınmıştır. Hattaki dalga hızı $v=1/(lc)^{1/2}=295 \times 10^3$ km/s'dir. Arızadan sonra oluşan geçici rejim gerilim ve akım sinyallerini frekans domeninde incelemek için FFT kullanılmıştır. Bunun için, gerilim ve akım sinyalinin bir periyodu (20 ms) 102.4 kHz'te örneklenmiştir. 20 ms örnekleme süresi için FFT spektrum aralığı 50 Hz'dir. Bu aralık, %3.2 hata payından daha düşük bir oranla arıza noktasını tahmin etmek için yeterlidir. Yapılan çalışmada 2 ya da 3 periyot boyunca gerilim ve akım sinyalinin işlenmesinin doğruluk derecesini etkilemediği belirlenmiştir.

Şekil 6.11'de iletim hattının 120 km'de oluşan kısa devre arızası sonrası meydana gelen akım ve gerilim sinyali görülmektedir. Yüksek genlikli filtrelenmiş akım ve gerilim sinyalinin spektrum harmonikleri arıza yeri ile ilgilidir. Şekil 6.12'de ise aynı arıza için akım ve gerilim sinyalinin frekans spektrumu gösterilmiştir. Şekilden de görülebildiği gibi, harmonik frekanslar çok belirgindir ve her iki spektrumda da mevcuttur. Harmoniklerle ilişkili tüm arızalar, şu şekilde frekans spektrumundan çıkarılabilir: öncelikle ortalama değerden daha yüksek tüm harmonikler tespit edilir. Sonrasında bunlar genliklerine göre sınıflandırılır. Sonuç olarak, yüksek değerli seçilmiş harmoniklerin istenen frekanslara göre sınıflandırılması yapılır ve sonuçlar işlem için bir dizi içinde tutulurlar. Güç sisteminin bir ucunda örneklenmiş gerilim sinyalinde, kaynak frekansı ağır basmaktadır. Bu da, arızayla ilgili frekansları tespit etmeyi güçleştirebilir. Bunun için, FFT'den önce, örneklenmiş gerilim ve akım sinyali, yüksek-geçirgen filtreden süzölmüş olmalıdır. Mevcut örnekte 5. mertebeden filtreleme için, 60 Hz'lik sınır frekansıyla yüksek-geçirgen filtre kullanılmıştır. Temel frekansı filtreledikten sonra, arızayla ilgili harmoniklerin tespiti daha kolay olacaktır. Dolayısıyla, seçilmiş harmonik frekanslar ve denklemi yardımıyla, arıza mesafesi tahmin edilebilir. Şekil 6.12'den tespit edilebildiği üzere 1. harmonik frekansı 1225 Hz'dir. Denklem (6.5) kullanılarak hesaplanan arıza noktası 120.4 km olup hata oranı ise %0.16'ya karşılık gelmektedir.

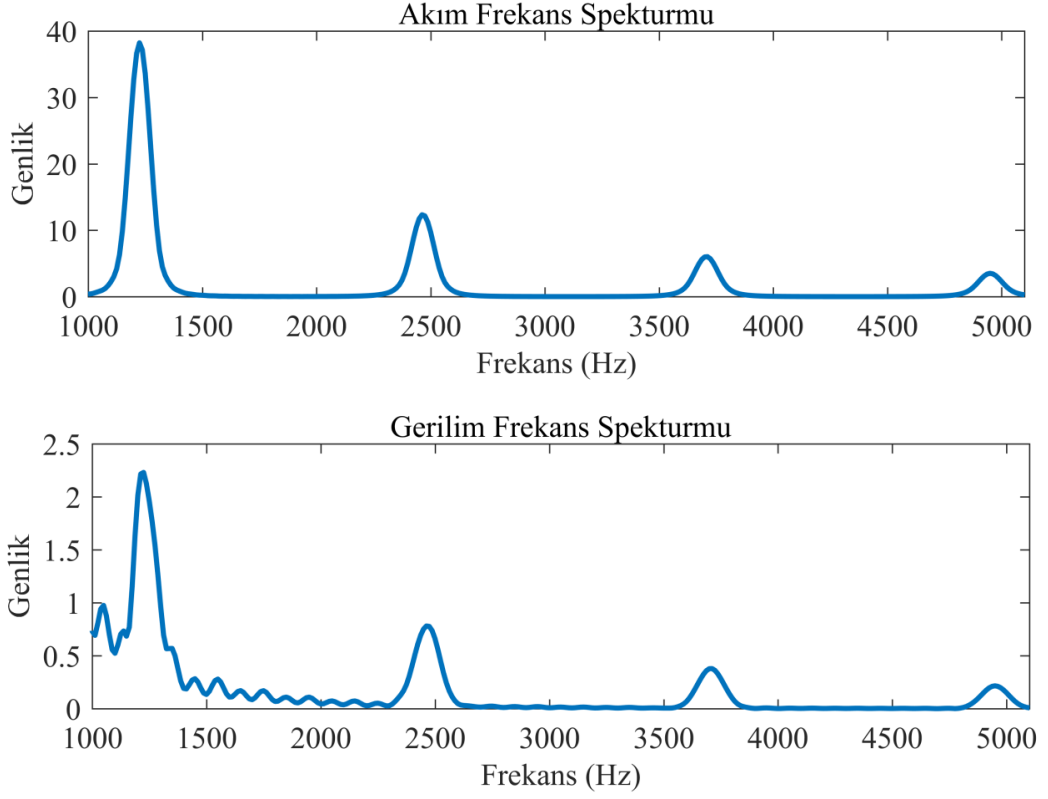
Çizelge 6.2’de yalnızca akım sinyalinin ilk harmoniği kullanılarak değişik noktalardaki tahmin edilen arıza mesafesi ve toplam yüzde hatası verilmiştir. Diğer harmonik frekanslar kullanılarak benzer sonuçlar elde edilebilmektedir. Sonuçlar arıza noktasının geçici rejim harmonik frekansları ile orantılı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.2. Hata yüzdesinin arıza noktası uzaklığına göre değişimi

Arıza mesafesi (km)	Ölçülen birinci harmonik frekansı (Hz)	Ölçülmüş arıza mesafesi (km)	Hata yüzdesi
40	3699	39.87	0.05
80	1837	80.29	0.12
120	1225	120.40	0.16
160	912.2	161.64	0.68
200	737.3	200.05	0.20



Şekil 6.11. Ölçüm yapılan uçtan 120 km uzaklıktaki bir arıza için arıza sonrası geçici rejim akım ve gerilim dalga şekilleri



Şekil 6.12. Ölçüm yapılan uçtan 120 km uzaklıktaki bir arıza için arıza sonrası geçici rejim akım ve gerilim frekans spektrumu

Çizelge 6.3 ve 6.4'te sırasıyla, 120. km'deki bir arıza için farklı arıza dirençlerinin ve farklı faz açılarının, yürüyen dalga frekansına dayalı olan arıza yeri bulma algoritması üzerindeki etkisi verilmiştir. Bu çizelgelerdeki veriler önerilen yöntemde arıza direncinin ve faz açısının doğruluk derecesi üzerinde negatif bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Çizelge 6.3. Hata yüzdesinin arıza direncine göre değişimi

Arıza Direnci (Ω)	Ölçülen Arıza Mesafesi (km)	Hata Yüzdesi
1	120.40	0.16
5	120.40	0.16
20	120.40	0.16

Çizelge 6.4. Hata yüzdesinin arıza faz açısına göre değişimi

Faz Açısı (derece)	Ölçülen Arıza Mesafesi (km)	Hata Yüzdesi
0	120.40	0.16
60	120.40	0.16
90	120.40	0.16
120	120.40	0.16

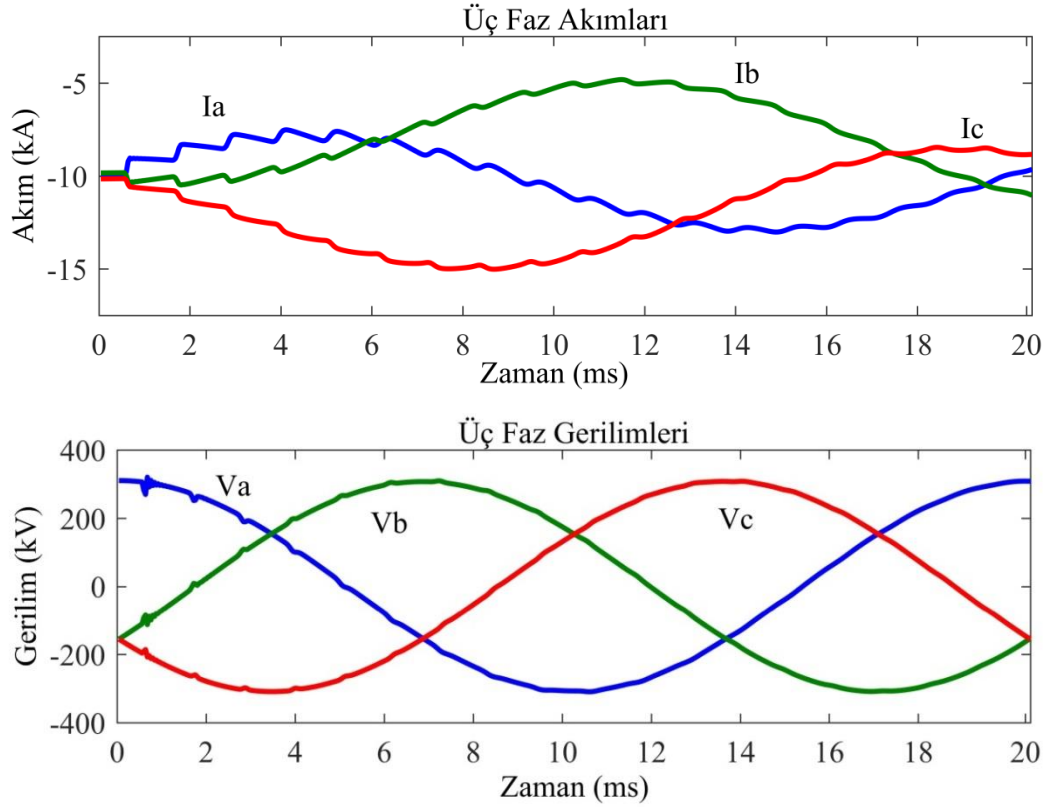
6.2.2. Arıza Noktasının Belirlenmesi: Üç fazlı Sistem

Yöntemin üç-fazlı sistemler için de modal dönüşüm tekniği ile uygulanabilir olduğunu göstermek için, ÜFTA analiz edilmiş ve yüksek doğrulukta başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Benzetimi yapılan üç-fazlı sistemde 50 Hz şebeke frekansında 320 km uzunluğundaki bir hattın seçilen pozitif bileşen parametreleri $l = 1.075$ mH/km ve $c = 10.805$ nF/km ile bu parametrelerin kullanılmasıyla hesaplanan pozitif dalga hızı $v = ((2\pi f) / \beta) \approx 1 / \sqrt{lc} = 294.32 \times 10^3$ km/s'dir. Kaynak direnci 0.1Ω ve kaynak endüktansı 1.0 mH olarak alınmıştır. Hattın 160. km'sinde meydana gelen ÜFTA durumunda hattın kaynak tarafındaki geçici hal gerilim ve akım dalga biçimleri şekil 6.13'de gösterilmiştir. Bu sinyallere denklem (6.6)'daki modal dönüşüm uygulanmış ve bu dönüşüm sonucu akım ve gerilim sinyallerinin sıfır, pozitif ve negatif dizi bileşenleri bulunmuştur. Burada I_m modal akım vektörünü, I_p faz domeni akım vektörünü, V_m modal gerilim vektörünü, V_p faz domeni gerilim vektörünü göstermektedir. Dönüşüm matrisi M ve M^{-1} denklem (6.7)'de verilmiştir. Çaprazlama uygulanmış üç fazlı hatlar için denklem (6.7)'daki dönüşüm matrisi yaygın olarak kullanılmaktadır. İletim hattının pozitif dizi bileşen endüktansı pratiksel olarak sabit olduğu için pozitif bileşen sinyalinin FFT'si alınmıştır. Pozitif bileşen sinyalinin FFT'si alınırken spektral sızıntıları zayıflatmak için Hanning pencere uygulanmış daha sonra FFT çözünürlüğünü arttırmak için ise sınıf noktaları sinyale eklenmiştir [89].

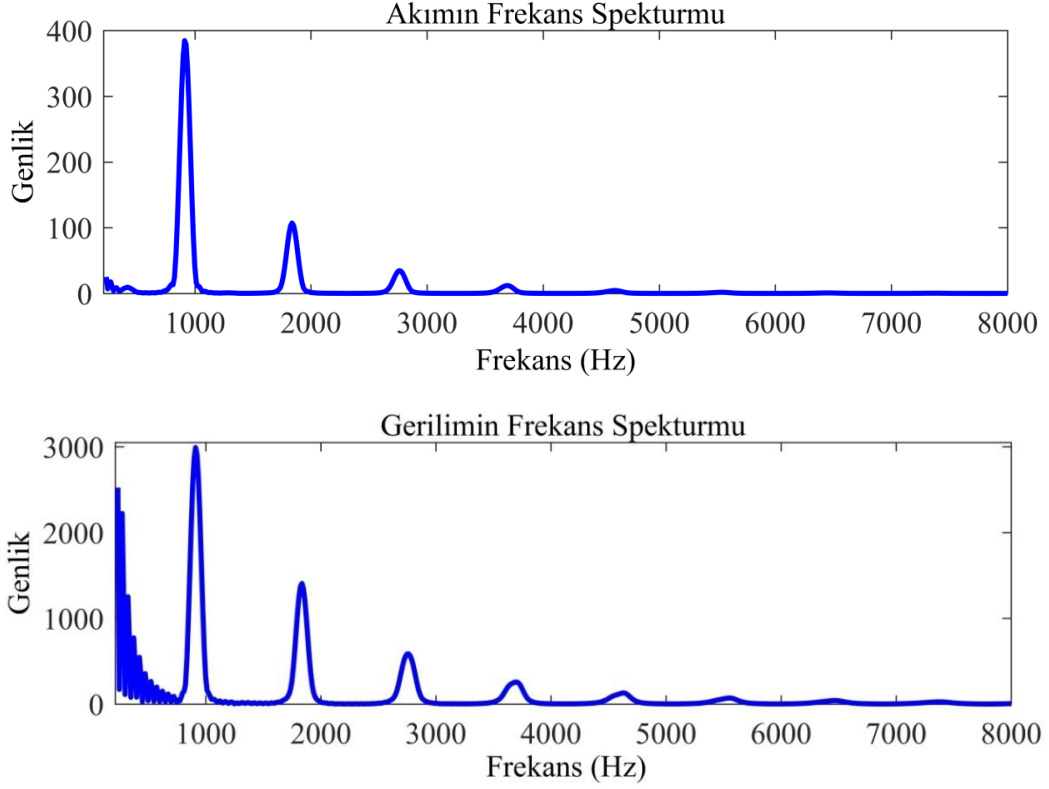
$$I_m = M^{-1}I_p \text{ ve } V_m = M^{-1}V_p \quad (6.6)$$

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \text{ ve } M^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix} \quad (6.7)$$

Denklem (6.5)'e göre bir kısa devre arızası 320 km uzunluğundaki iletim hattının en sonunda oluşsa bile ilk yürüyen dalga frekansı 460 Hz olmalıdır. Bu yüzden bu frekanstan daha yüksek frekans spektrumu incelenmiştir. Pozitif bileşen akım ve gerilimin frekans spektrumları da şekil 6.14'te gösterilmiştir. Şekil 6.14'ten görüldüğü üzere 1. harmonik frekansı 912.5 Hz, buradan hesaplanan arıza noktası 160.72 km ve hata oranı da %0.2'dir. TFTA, İFA, İFTA arızası için de farklı noktalardaki arızalar için benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu örnek, yöntemin üç fazlı sistem için de uygulanabilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.13. 160 km uzaklıktaki bir arıza için ölçüm yapılan geçici üç faz akım ve gerilim dalga şekilleri



Şekil 6.14. 160 km uzaklıktaki bir arıza için arıza sonrası pozitif bileşen geçici akım ve gerilim frekans spektrumu

6.3. İletim Hatlarında Seri Kompanzasyon

Seri kompanzasyon iletim hatlarında, iletim hattının transfer kapasitesini arttırmak için kullanılan pratik bir çözümdür. Seri kompanzasyonun yararları aşağıdaki gibi sıralanabilir [90-93]:

- İletim hattı reaktansını azaltır.
- İletim hattının transfer kapasitesini artırır.
- İletim hattının daha az reaktif güç tüketmesini sağlar.
- İletim hattı kayıplarını azaltır.

Her ne kadar seri kompanzasyon, iletim hattına bağlanan kondansatörlerle sağlansa da uygulamalarda bir koruma ve kontrol devresine ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü arıza anında kondansatörlerin üzerinde oluşan gerilimler büyük değerlere ulaşabilmekte ve kondansatörlere zarar verebilmektedir. Literatürde değişik tasarımlı koruma devreleri bulunmaktadır. Bunlar arasında Metal Oksit Varistör (MOV) ve

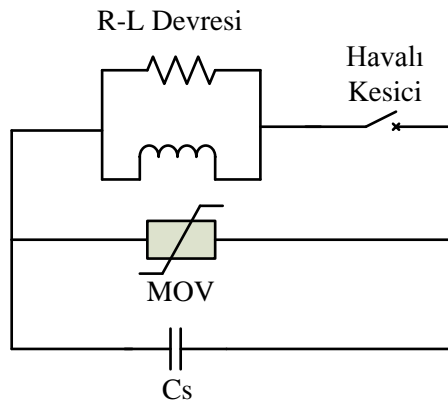
havalı güç kesicileri tipik koruma elemanları olarak kullanılmıştır [94]. Bununla beraber kondansatör ile kullanılan MOV'un doğrusal olmayan davranışları bazı arıza yeri bulma algoritmalarının doğruluklarını etkilemektedir [93].

Bu bölümde seri kompanzasyon modeli üzerinde durulmuş, MOV ve havalı kesici gibi koruma elemanlarının etkisi araştırılmıştır.

6.3.1. Seri Kompanzasyon Elemanları

Genel olarak sabit kondansatörlü ve kontrol edilebilir kondansatörlü seri kompanzasyon modelleri iletim hatlarında uygulamalar için kullanılmaktadır. Her iki modelin de kendine özgü avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Kontrol edilebilir seri kompanzasyon modeli, sabit kompanzasyon modeline göre iletim hatlarında daha iyi bir yük akışı kontrollü sağlamaktadır [92]. Fakat bu kompanzasyon sistemi, yük akımı ve iletim hattı empedansı gibi parametrelerin değişmesine yol açabilmektedir [92]. Bu yüzden bu çalışmada, uygulamalarda daha çok kullanılan sabit kondansatörlü seri kompanzasyon modeli incelenmiştir.

Sabit seri kompanzasyon modeli temel olarak üç birimden oluşmaktadır. Bunlar; MOV, Havalı kesici- RL söndürme devresi ve kondansatördür. Şekil 6.15'te iletim hatlarında kullanılan tek faz seri kompanzasyon modeli gösterilmiştir.



Şekil 6.15. Tek faz seri kompanzasyon devre modeli

Bu birimlerin her birinin görevi farklı olup bu görevler sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

6.3.2. Kondansatör Ünitesi

Seri kompanzasyon, kondansatörlerin iletim hatlarının ortasına veya hattın her iki uç noktasına yerleştirilmesi ile gerçekleştirilir. Böylelikle, iletim hattının reaktif güç tüketimi azaltılarak sistem kayıpları azalır. Seri kompanzasyonun iletim hattına etkisi seri kompanzasyonun derecesine bağlı olup aşağıdaki formülle belirlenebilir:

$$k = X_c / X_L \quad (6.8)$$

Burada X_c kondansatörün kapasitif reaktans değerini gösterirken X_L iletim hattının endüktif reaktans değerini göstermektedir. Gerçek sistem uygulamalarına bağlı olarak bu değer %30 ile %70 arasında değişmektedir [90]. Bununla beraber bazı arıza durumlarında kondansatör üzerinde oluşan gerilim büyük değerlere ulaşır kondansatörlere zarar verebilmektedir. Bu yüzden seri kompanzasyon uygulamalarında belirli bir koruma devresine ihtiyaç duyulmaktadır.

6.3.3. MOV Ünitesi

MOV arıza durumlarında kondansatörleri büyük gerilimlere karşı koruyan devre elemanlarıdır [90,92-94]. Seri kompanzasyon modelinde hat akımı kondansatör ve MOV akımları olarak ikiye ayrılır. Normal koşullarda MOV üzerinden akım geçmemektedir. Fakat arıza durumunda kondansatör üzerindeki gerilime göre MOV üzerinden akım geçmektedir [93]. MOV'un V-I karakteristiği doğrusal olmayıp aşağıdaki formülle gösterilmektedir.

$$I = p \left(\frac{V}{V_{ref}} \right)^q \quad (6.9)$$

Burada V_{ref} ve p , MOV'un referans büyüklükleridir. q ise 20 ile 30 arasında değişmektedir. MOV'un referans gerilimi ise aşağıdaki formül kullanarak belirlenebilir [95]:

$$v_{ref} = 2.5I_{hat}X_C\sqrt{2} \quad (6.10)$$

Buradan görüldüğü gibi MOV'un referans gerilimi normal şartlardaki kondansatör geriliminin 2.5 katı olmalıdır.

6.3.4. Havalı Kesici ve R-L Söndürme Ünitesi

Bazı arıza durumlarında MOV üzerindeki enerji yüksek seviyelere ulaşabilmekte ve MOV'a zarar verebilmektedir. Bu yüzden havalı kesici ve R-L söndürme sistemi MOV'un hasar görmesini engellemek için kullanılmaktadır [94]. R-L söndürme sistemi, akım sınırlayıcı devre olup paralel bağlı direnç ve endüktanslardan oluşmaktadır [94].

6.4. Seri Kompanzasyon Uygulanmış İletim Hatlarında Arıza Noktasının Belirlenmesi

Yürüyen dalga tekniğinde geçici rejim harmonik frekanslarının değerleri kullanılarak arıza mesafesinin bulunabileceği tamamlanan çalışmalarda gösterilmiştir [11,12]. Bu bölümde, yürüyen dalga frekanslarına dayalı arıza yeri belirleme yönteminin farklı seri kompanzasyon seviyelerine sahip iletim hatlarındaki başarısı benzetimler ile test edilmiştir. Çizelge 6.5'te iletim hattı için seçilen parametreler gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. İletim hattı parametreleri

Hat uzunluğu	600km
Gerilim	380kV
Frekans	50Hz
Kaynak endüktansı ve direnci	0.1 Ω , 1 mH
Hat endüktansı	l=1.075 mH/km
Hat kapasitansı	c=10.805 nF/km
Dalga hızı	$v = 1/(lc)^{1/2} = 294.32 \times 10^3 \text{km/s.}$

Çizelge 6.6'da %50 seri kompanzasyon modeli için kullanılan parametreler gösterilmiştir. Hattın toplam endüktif reaktansı 202.53Ω olup %50 seri kompanzasyon için 101.2Ω 'luk kapasitif reaktansa ihtiyaç duyulmaktadır. $31.4 \mu\text{F}$ 'lık kondansatörlerle bu reaktif güç ihtiyacı karşılanmıştır.

Çizelge 6.7'de ise aynı iletim hattının %70 seri kompanzasyon modeli için kullanılan parametre değerleri gösterilmiştir. Bu kompanzasyon seviyesi için 141.77Ω 'luk kapasitif reaktansa ihtiyaç duyulmaktadır. Şebeke frekansında $22.4\mu\text{F}$ 'lık kondansatörlerle bu reaktif güç ihtiyacı karşılanmıştır.

Çizelge 6.6. %50 Seri kompanzasyon modelinin parametreleri

Kompanzasyon değeri	%50
Kondansatör değeri	$31.4 \mu\text{F}$
Hat akımı	300 A
MOV referans değeri	110 kV
MOV enerji tehlike sınır değeri	9 MJ
R-L sönümlenme devresi	$(5 \Omega, 0.23\text{mH})/ 200 \Omega$
Arıza direnci	10Ω

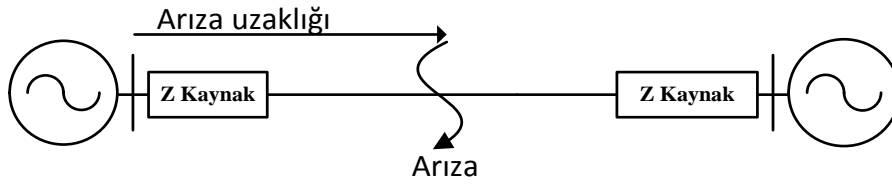
Çizelge 6.7. %70 Seri kompanzasyon modelinin parametreleri

Kompanzasyon değeri	%70
Kondansatör değeri	$22.4 \mu\text{F}$
Hat akımı	300 A
MOV referans değeri	150 kV
MOV enerji tehlike değeri	9 MJ
R-L sönümlenme devresi	$(5 \Omega, 0.23\text{mH})/ 200 \Omega$
Arıza direnci	10Ω

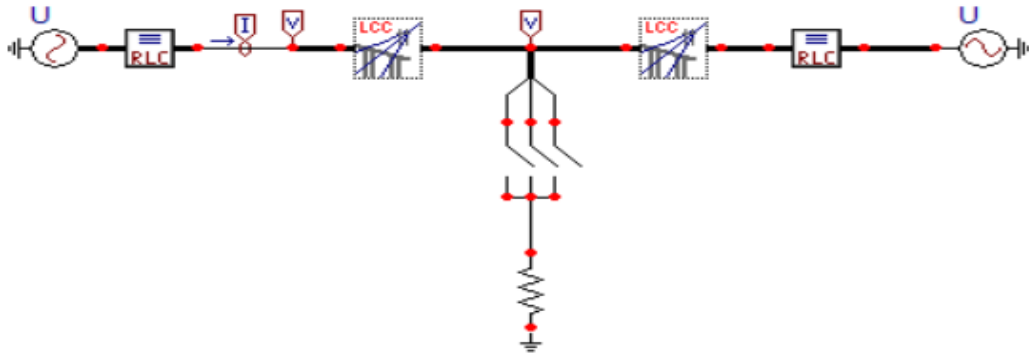
Hat akımı 300A olarak belirlenip denklem (6.10)'a göre MOV referans gerilimi %50 seri kompanzasyon değeri için 110 kV, %70 seri kompanzasyon için ise 150 kV olarak belirlenmiştir. MOV için V_{ref} ölçeğinde kullanılan her bir daldaki seri blok sayısı 1.2 olarak alınmıştır. MOV'un enerji absorbe değeri 9 MJ olarak alınıp R-L sönümlenme devresi ise 5Ω direnç ve 0.23 mH bobinin seri ve 200Ω 'luk direncin bunlara paralel bağlanması ile gerçekleştirilmiştir. Bu değerler, ATP'nin seri kompanzasyon için tasarlanmış demosundan alınmıştır. %50 seri kompanzasyon

modeli için kondansatör üzerindeki gerilim 110kV değerine ulaştığında MOV devreye girerken; %70 seri kompanzasyon modeli için ise 150kV değerinde MOV devreye girerek kondansatörü korumaktadır. MOV üzerindeki enerji değeri 9MJ üzerine çıktığında ise havalı kesici devreye girip MOV ve kondansatörü korumaktadır.

Seri kompanzasyon uygulanmamış iletim hattı şekil 6.16’da gösterilirken ATPDraw modeli şekil 6.17’de gösterilmiştir.

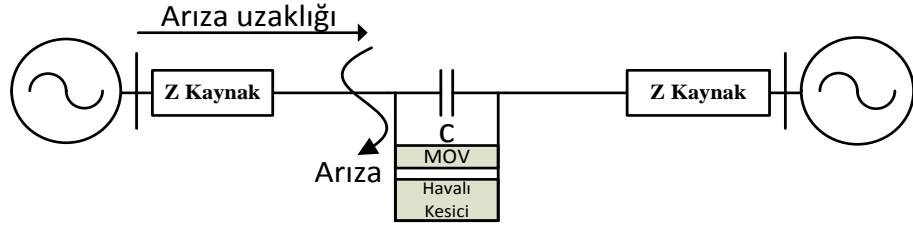


Şekil 6.16. Seri kompanzasyon uygulanmamış iki terminalli güç şebekesi

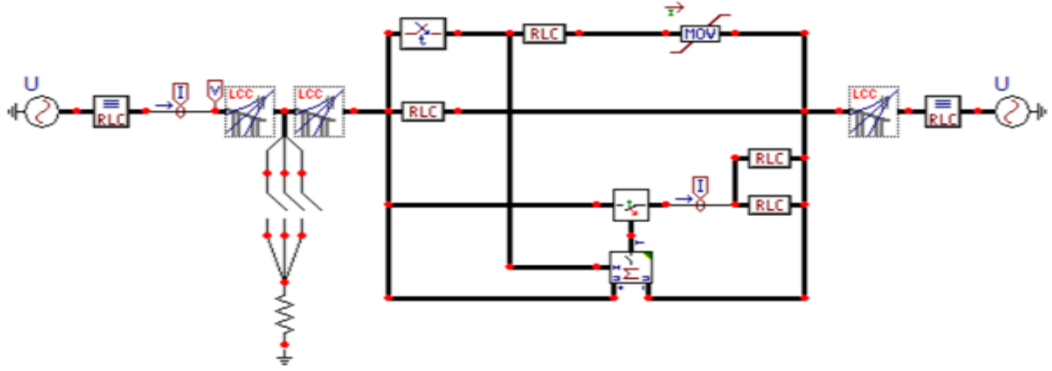


Şekil 6.17. Seri kompanzasyon uygulanmamış iki terminalli güç şebekesinin ATPDraw modeli

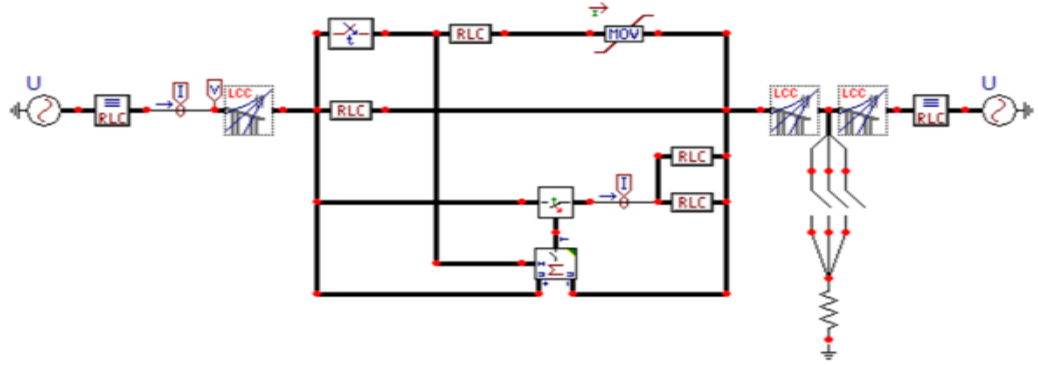
Seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattı şekil 6.18’de gösterilmişken ATPDraw modeli ise şekil 6.19 ve 6.20’de gösterilmiştir. Şekil 6.19 ve 6.20’den görüldüğü gibi arızanın hattın orta noktasından önce veya sonra oluşma durumuna göre iki farklı ATPDraw modeli kullanılmıştır. Her iki durum için üç farklı uzunluktaki iletim hattı bulunmaktadır. Şekil 6.19’de en sağda bulunan iletim hattının uzunluğu 300 km olup diğer iki iletim hattının uzunluğu ise arıza noktasına göre değişmektedir. Şekil 6.20’de ise en solda bulunan iletim hattının uzunluğu 300 km olup diğer iki iletim hattının uzunluğu arıza noktasına göre değişmektedir.



Şekil 6.18. Seri kompanzasyon uygulanmış iki terminalli güç şebekesi



Şekil 6.19. Seri kompanzasyon uygulanmış iletim sisteminin arızanın hattın ortasından önce olması durumu için ATPDraw modeli



Şekil 6.20. Seri kompanzasyon uygulanmış iletim sisteminin arızanın hattın ortasından sonra olması durumu için ATPDraw modeli

Farklı seri kompanzasyon seviyelerinin tezde gerçekleştirilen yöntemle etkisini görmek için üç farklı iletim hattı modeli ATP programı kullanılarak tasarlanmıştır. ATP programı ile seri kompanzasyon uygulanmamış iletim hattı ve seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattı modellenmiş olup farklı kısa devre

arızalarına ait geçici rejim akım ve gerilim sinyalleri elde edilmiştir. Daha sonra bu sinyallere modal dönüşüm uygulanarak sıfır pozitif ve negatif sıra bileşenleri elde edilmiştir. Bu sıra bileşenlerinden pozitif sıra bileşenin FFT' si alınmıştır.

Pozitif bileşen sinyalinin FFT' si alınırken spektral sızıntıyı zayıflatmak için Hanning pencere uygulanmış, daha sonra FFT çözünürlüğünü arttırmak için ise sinyale sıfır noktaları eklenmiştir [89]. Daha sonra pozitif bileşen sinyalinin FFT'si alınmıştır. Denklem (6.5)'e göre 600 km uzunluğundaki bir iletim hattında herhangi bir arıza hattın sonunda oluşsa bile ilk yürüyen dalga frekansı 244 Hz olmalıdır. Bu yüzden arıza bağlantılı yürüyen dalga frekanslarını bulmak için bu frekanstan daha büyük değerlerdeki pik yapan dalgaların frekans değerleri göz önünde bulundurulmuştur.

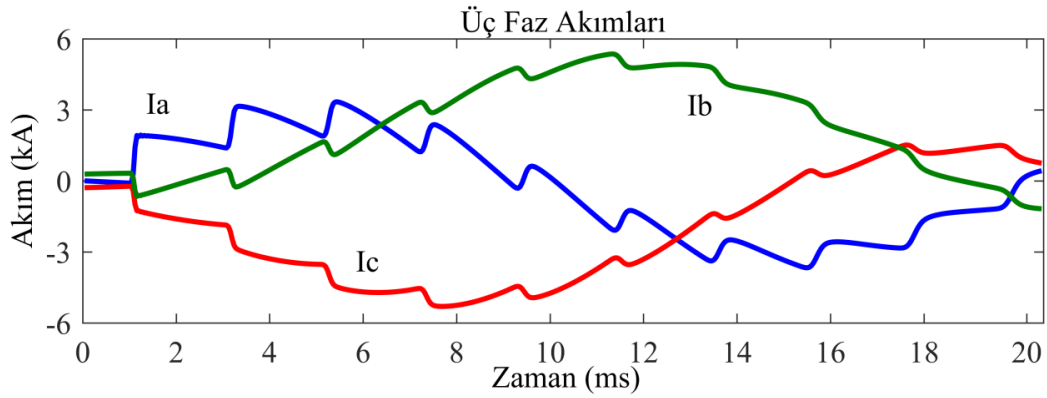
Yürüyen dalga frekansının 244 Hz olduğu durumda, iletim hattının toplam endüktif reaktansı 988.3Ω olup, %50 ve %70 seri kompanzasyon için kondansatörlerin kapasitif reaktansı sırası ile 21.05Ω , 29.13Ω olarak belirlenmektedir. Bu değerler iletim hattının endüktif reaktansı değerinden çok daha küçük olup, seri kondansatörlerin bu yöntemle etkisini oldukça azaltmaktadır. Yürüyen dalga frekansının daha büyük olduğu durumlarda iletim hattının toplam endüktif reaktansı artmakta ve kondansatörün kapasitif reaktansı ise daha küçük değerler almaktadır.

Şekil 6.21 seri kompanzasyon uygulanmamış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA durumu ile hat başında oluşan geçici rejim akım sinyallerini gösterirken, şekil 6.22 ise geçici rejim gerilim sinyallerini göstermiştir. Şekil 6.23 ve şekil 6.24 ise %70 seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA durumu ile hat başında oluşan geçici rejim akım ve gerilim sinyallerini göstermektedir.

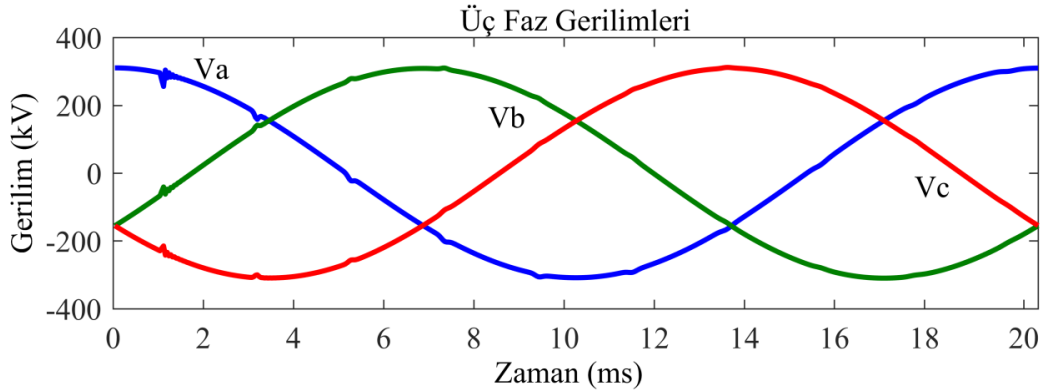
Şekil 6.25 ve şekil 6.26 seri kompanzasyonsuz iletim hattında, 300 km'de ÜFTA ile oluşan geçici rejim akım ve gerilim sinyallerinin pozitif bileşen frekans spektrumunu göstermektedir. Şekil 6.27 ve şekil 6.28 ise %70 seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattında, 300 km'de ÜFTA ile oluşan geçici rejim akım ve gerilim sinyallerinin pozitif bileşen frekans spektrumunu göstermektedir.

Her dört spektrumda da ilk frekans bileşeni 487.85 Hz olup $x = \frac{v}{2f_1} = \frac{293.42 \times 10^3}{2 \times 487.5} = 300.94$ km arıza uzaklığı tahmini yapılmaktadır. Burada hata oranı 0.16 olup aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

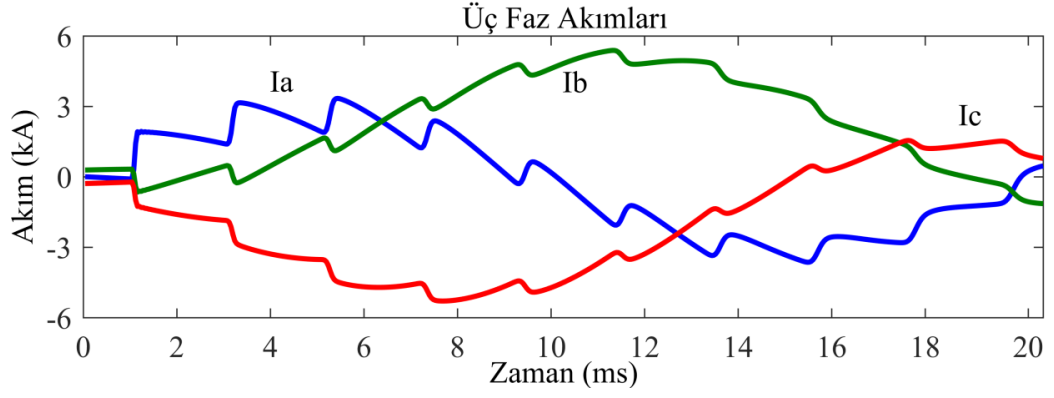
$$\text{Hata oranı} = \frac{|\text{Gerçek arıza uzaklığı} - \text{Tahmin edilen arıza uzaklığı}|}{\text{Hat uzunluğu}} \times 100 \quad (6.11)$$



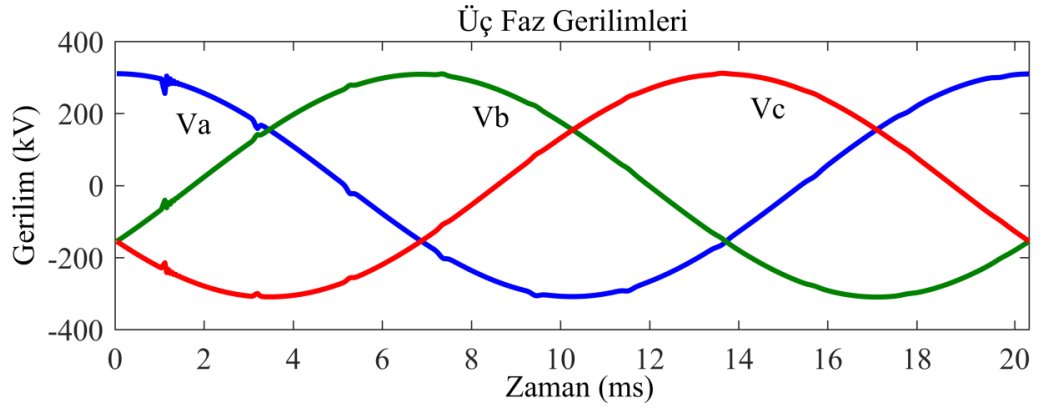
Şekil 6.21. Seri kompanzasyon uygulanmamış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan geçici rejim akım sinyalleri (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω)



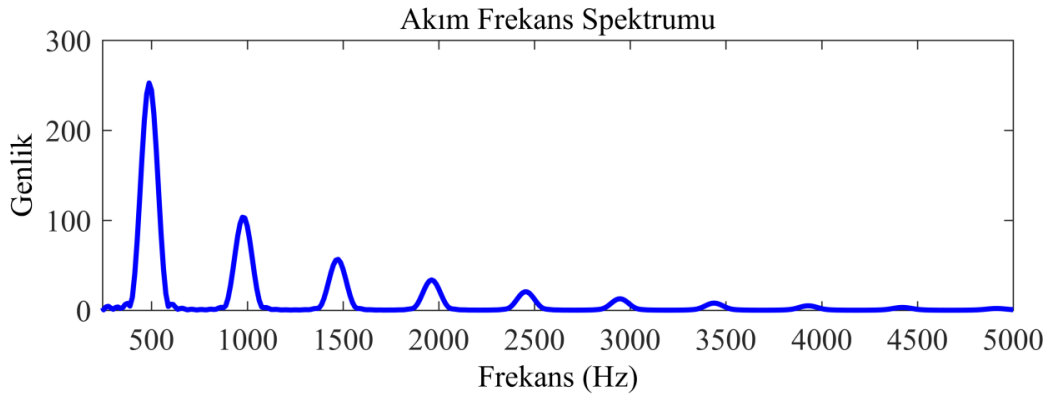
Şekil 6.22. Seri kompanzasyon uygulanmamış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan geçici rejim gerilim sinyalleri (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω)



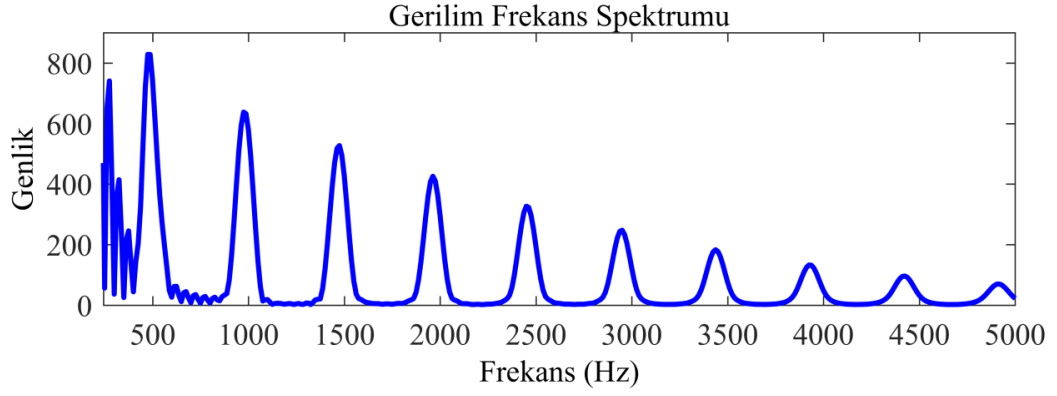
Şekil 6.23. %70 seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan geçici rejim akım sinyalleri (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω)



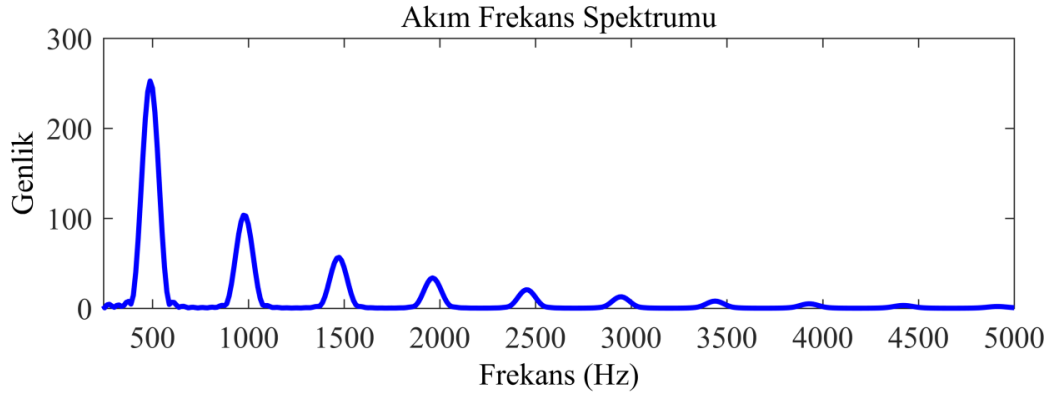
Şekil 6.24. %70 seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan geçici rejim gerilim sinyalleri (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω)



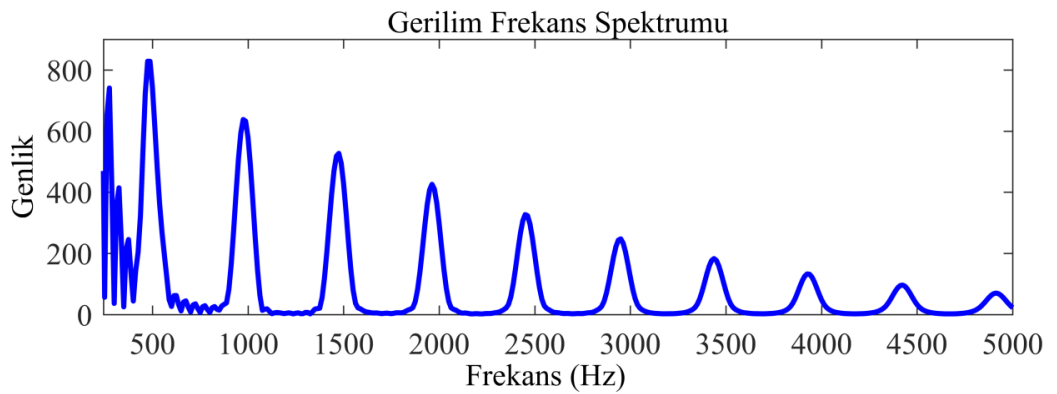
Şekil 6.25. Seri kompanzasyon uygulanmamış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan akım sinyalinin pozitif bileşen frekans spektrumu (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω)



Şekil 6.26. Seri kompanzasyon uygulanmamış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan gerilim sinyalinin pozitif bileşen frekans spektrumu (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω)



Şekil 6.27. %70 Seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan akım sinyalinin pozitif bileşen frekans spektrumu (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω)



Şekil 6.28. %70 seri kompanzasyon uygulanmış iletim hattında, hattın ortasında meydana getirilen ÜFTA ile hat başında oluşan gerilim sinyalinin pozitif bileşen frekans spektrumu (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω)

Şekil 6.25, 6.26, 6.27 ve 6.28'den görüldüğü üzere ÜFTA durumunda geçici rejim harmonik frekanslar oldukça belirgin durumdadır. Bütün arıza durumları için frekans spektrumları elde edilmiştir. Bununla beraber bazı TFTA arızası durumlarında bu frekansları belirlemek zor olmuştur.

TFTA için farklı arıza yerleri ve farklı seri kompanzasyon durumlarına göre tahmin edilen arıza uzaklığı değerleri çizelge 6.8'de verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde farklı kompanzasyon seviyelerinin bu yöntemle etkisinin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Diğer arıza tipleri için İFA, İFTA ve ÜFTA arıza yeri tahmin değerleri aynı bulunup çizelge 6.9'da gösterilmiştir. Çizelge 6.8 ve çizelge 6.9 incelendiğinde TFTA'nin en yüksek hata değerine sahip olduğu görülmüştür. Aynı zamanda bütün arıza tiplerinde arıza uzaklığının artması ile hata değerinin arttığı görülmüştür. Bazı arıza tipleri ve arıza uzaklığı durumları için elde edilen hata değerleri yüksek olmasına rağmen iki taraflı yapılan tahminler ile bu durum ortadan kalkmaktadır.

Çizelge 6.8. TFTA durumunda, farklı arıza uzaklığı ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen arıza uzaklığı değerleri ve hata oranları (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω)

Gerçek arıza uzaklığı (km)	Seri kompanzasyonsuz		%50 Seri kompanzasyonlu		%70 Seri kompanzasyonlu	
	Tahmin edilen arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata	Tahmin edilen arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata	Tahmin edilen arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata
50	53.1	0.51	54	0.66	54	0.66
100	105.69	0.94	104.79	0.79	105.69	0.94
200	213.39	2.23	213.39	2.23	213.39	2.23
Arıza orta noktadan önce	317.21	2.87	317.21	2.87	317.21	2.87
Arıza orta noktadan sonra	317.21	2.87	317.21	2.87	317.21	2.87
400	404.71	0.78	419.17	3.19	419.17	3.19
500	558.89	9.81	533.49	5.58	533.49	5.58

Çizelge 6.9. İFA, İFTA, ÜFTA durumunda, farklı arıza uzaklığı ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen arıza uzaklığı değerleri ve hata oranları (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω)

Gerçek arıza uzaklığı (km)	Seri kompanzasyonsuz		%50 Seri kompanzasyonlu		%70 Seri kompanzasyonlu	
	Tahmin edilen arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata	Tahmin edilen arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata	Tahmin edilen arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata
50	50.58	0.09	50.58	0.09	50.58	0.09
100	100.28	0.04	100.28	0.04	100.28	0.04
200	198.92	0.18	198.92	0.18	198.92	0.18
Arıza orta noktadan önce	300.94	0.16	300.94	0.16	300.94	0.16
Arıza orta noktadan sonra	300.94	0.16	300.94	0.16	300.94	0.16
400	404.71	0.78	404.71	0.78	391.22	1.46
500	489.03	1.82	510.29	1.71	489.03	1.82

Çizelge 6.10 ÜFTA durumunda, farklı arıza dirençleri ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen arıza uzaklığı değerlerini ve hata oranlarını göstermiştir. Çizelge 6.11 ise ÜFTA durumunda farklı faz açısı ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen arıza uzaklığı değerlerini ve hata oranlarını göstermiştir. Buradaki çizelgelerden görüldüğü gibi bu yöntemin farklı arıza dirençlerinden, farklı faz açılarından ve farklı seri kompanzasyon seviyelerinden etkilenmediği anlaşılmaktadır. Fakat bütün benzetimler incelendiğinde bazı arıza tipleri ve farklı uzaklıklar için yöntemin bu iletim hattı parametrelerinden (farklı arıza dirençleri, farklı faz açıları ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri) çok küçük miktarlarda etkilendiği görülmüştür.

Çizelge 6.10. Hattın ortasında oluşan ÜFTA durumunda, farklı arıza dirençleri ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen arıza uzaklığı değerleri ve hata oranları (kaynak endüktansı=1mH)

Arıza direnci (Ω)	Seri kompanzasyonsuz %50 Seri kompanzasyonlu %70 Seri kompanzasyonlu		
	Gerçek arıza uzaklığı (km)	Tahmin edilen arıza uzaklığı (km)	Yüzelik hata %
0.1	300	300.94	0.16
5	300	300.94	0.16
10	300	300.94	0.16
50	300	300.94	0.16

Çizelge 6.11. Hattın ortasında oluşan ÜFTA durumunda, farklı faz açıları ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen arıza uzaklığı değerleri ve hata oranları (kaynak endüktansı=1mH, arıza direnci=10 Ω)

Faz açısı kayması derece	Seri kompanzasyonsuz %50 Seri kompanzasyonlu %70 Seri kompanzasyonlu		
	Gerçek arıza uzaklığı (km)	Tahmin edilen arıza uzaklığı (km)	Yüzelik hata %
0	300	300.94	0.16
30	300	300.94	0.16
60	300	300.94	0.16
90	300	300.94	0.16
120	300	300.94	0.16
150	300	300.94	0.16

Farklı kaynak endüktansları ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen uzaklık değerleri ise çizelge 6.12’de gösterilmiştir. Bu çizelgeden görüldüğü gibi farklı seri kompanzasyon seviyelerinin arıza yeri tahminine etkisi bulunmazken kaynak endüktansı değerlerinin ise arıza uzaklığı tahminine olumsuz etkisi olduğu görülmüştür. Bu durum kaynak endüktansının dalga hızına olumsuz etkisinden kaynaklanmaktadır. Fakat bu olumsuz etki kaynak endüktansının gecikme etkisini içeren ayrık iletim endüktansının bir algoritma ile modifiye edilmesi sonucunda en aza indirilmiştir.

Bu yöntem Dalga Formu Gevşetme Yöntemi (Waveform Relaxation Method-WRM) olarak adlandırılıp adımları aşağıda gösterilmiştir [12,24].

Adım 1: $i = 1$ ve x_i =arıza uzaklığı.

Adım 2: Modifiye edilmiş hat endüktansını hesapla $l_i = l + \frac{2Ls}{x_i}$

Adım 3: Modifiye edilmiş dalga hızını hesapla $v = 1/\sqrt{l_i c}$

Adım 4: Düzeltilmiş arıza uzaklığını hesapla $x_{i+1} = v\tau$

Adım 5: Eğer $|x_{i+1} - x_i| \leq E_{\max}$ veya $i=N$ ise dur; değilse $x_{i+1} = x_i$ ve $i=i+1$ adım 2 ye git.

Burada N izin verilen maksimum döngü sayısıdır. Adım 1’de bulunan x_i tahmin edilen arıza uzaklığıdır. İletim hattının endüktansı adım 2’de modifiye edilmektedir. Adım 3’te dalga hızı modifiye edilmiştir. Adım 4’te ise yeniden arıza uzaklığı hesaplanmaktadır. Bu algoritma başarılı bir sonuç alınca kadar devam etmektedir. Benzetim sonuçları 2 döngünün yeterince başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

WRM’den sonra tahmin edilen arıza uzaklık değerleri çizelge 6.13’de gösterilmiştir. Çizelge 6.12 ve çizelge 6.13’den görüldüğü gibi WRM’den önce en yüksek hata değeri olan %7.53, WRM iyileştirmesinden sonra %0.35’e düşürülmüştür. Benzer başarılar diğer tiplerdeki arıza durumları içinde gerçekleşmiştir.

Çizelge 6.12. Hattın ortasında oluşan ÜFTA durumunda, farklı kaynak endüktansı ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen arıza uzaklığı değerleri ve hata oranları (WRM'den önce)

Kaynak endüktansı (mH)	(İyileştirmeden önce) Seri kompanzasyonsuz %50 Seri kompanzasyonlu %70 Seri kompanzasyonlu		
	Gerçek arıza uzaklığı (km)	Tahmin edilen arıza uzaklığı (km)	Yüzdelerik hata %
0.1	300	300.9	0.16
1	300	300.9	0.16
10	300	308.9	1.47
50	300	345.2	7.53

Çizelge 6.13. Hattın ortasında oluşan ÜFTA durumunda, farklı kaynak endüktansı ve farklı seri kompanzasyon seviyeleri için tahmin edilen arıza uzaklığı değerleri ve hata oranları (WRM'den sonra)

Kaynak endüktansı (mH)	(İyileştirmeden sonra) Seri kompanzasyonsuz %50 Seri kompanzasyonlu %70 Seri kompanzasyonlu		
	Gerçek arıza uzaklığı (km)	Tahmin edilen arıza uzaklığı (km)	Yüzdelerik hata
0.1	300	300.6	0.10
1	300	299.8	0.04
10	300	299.7	0.05
50	300	302.3	0.38

Kaynak endüktansının arıza belirlemeye olan bu olumsuz etkisi WRM algoritmasının dışında normal iletim hattında ELM'nin regresyon özelliği kullanılarak en aza indirilmiştir.

6.5. Geçici Rejim Frekansları ve ELM ile İletim Hatlarında Arıza Uzaklığının Tahmini

[11,12,23,24]'de yapılan çalışmalarda gösterildiği gibi arıza anında oluşan geçici rejim akım ve gerilim sinyallerinin frekans spektrumu ile arıza noktası belirlenebilmektedir. Bu yöntem farklı arıza dirençleri, farklı faz açıları, farklı arıza tipleri ve farklı kompanzasyon seviyeleri için test edilmiş olup benzetim sonuçları bu yöntemin oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Fakat kaynak endüktansının bu yöntemde olumsuz bir etkisi bulunmaktadır.

Kaynak endüktansının olumsuz etkisini en aza indirmek için öncelikle ATP programı ile kaynak endüktansı ve gerçek arıza uzaklığı bilinen birçok farklı kısa devre arızası oluşturulmuştur. Daha sonra her bir arıza için yürüyen dalga frekansları kullanılarak arıza yeri tahminleri yapılmıştır. Burada yürüyen dalga frekanslarını belirlemek için akım ve gerilim sinyalleri kullanılabilir. Fakat bazı arızalarda akım sinyalindeki yürüyen dalgaların daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden bu bölümde yürüyen dalga frekanslarını belirlemek için yalnızca akım sinyalleri kullanılmıştır. Aynı zamanda benzetimler yürüyen dalga frekansları ile arıza tahmini için uygulanan modal dönüşümün bazı arıza tiplerinde yürüyen dalgaların zayıflamasına neden olduğunu göstermiştir. Bunu engellemek için bu bölümde modal dönüşüm yerine her bir hat akımının FFT'si alınarak frekans spektrumları toplanmıştır. FFT alınmadan önce her bir hat akımına Hanning pencereleme uygulanmış daha sonra sinyale sıfır noktaları eklenmiştir [89]. Daha sonra yürüyen dalga frekansları kullanılarak arıza yeri tahminleri yapılmıştır.

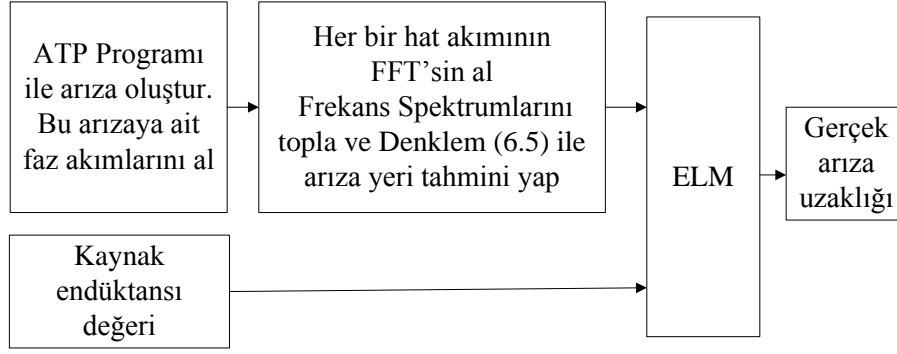
Her bir arızanın kaynak endüktansı değeri, yürüyen dalga frekansları ile tahmin edilen arıza uzaklık değeri ve gerçek arıza uzaklık değeri bir veri tabanında toplanmıştır. Burada yürüyen dalgaların frekans değeri ile tahmin edilen arıza uzaklığı ve kaynak endüktansı değeri ELM'nin giriş bilgisi, gerçek arıza uzaklığı ise ELM'nin çıkış bilgisi olarak ELM eğitimi gerçekleştirilmiştir. Bu eğitimden sonra ELM, kaynak endüktansı değeri ve yürüyen dalgaların frekansları ile tahmin edilen arıza uzaklık değerini kullanarak yeni bir arıza yeri tahmininde bulunmuştur.

ELM ve gerçekleştirilen arıza uzaklığı bulma yöntemi ile kaynak endüktansının etkisini minimize eden yöntem şekil 6.29’da gösterilmiştir. Regresyon için sigmoid fonksiyonu kullanılmış olup nöron sayısı ise 8 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.14’te ELM’nin eğitilmesi ve test edilmesi için seçilen arıza parametreleri gösterilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi ELM, 10 farklı kısa devre arıza durumu için eğitilmiş ve test edilmiştir. Eğitim ve test verileri olabildiğince geniş aralıkta seçilmiş olup tamamen farklı koşullardaki arıza tipleri için ATP programı kullanılarak elde edilmiştir. Buradaki amaç ELM’nin farklı verilerdeki başarısını test etmektir.

Çizelge 6.14. ELM’nin eğitimi ve testi için seçilen arıza değişkenleri

		Eğitim	Test
Arıza tipleri	TFTA	Faz (A)-(B)-(C)	Faz (A)-(B)-(C)
	İFA	Faz (A-B)-(A-C)-(B-C)	Faz (A-B)-(A-C)-(B-C)
	İFTA	Faz (A-B)-(A-C)-(B-C)	Faz (A-B)-(A-C)-(B-C)
	ÜFTA	Faz (A-B-C)	Faz (A-B-C)
Arıza uzaklığı (km)		20-40-60...580	30-50-70...570
Arıza direnci (Ω)		1-25-50 Ω .	15-30-45 Ω .
Kaynak endüktansı (mH)		1-25-50 mH.	15-30-45 mH.
Veri büyüklüğü		10x3x3x29=2610 veri	10x3x3x28=2520 veri



Şekil 6.29. ELM ve gerçekleştirilen arıza uzaklığı bulma yöntemi ile kaynak endüktansının etkisini minimize eden yöntem

Çizelge 6.15, 6.16, 6.17 ve 6.18 hattın ortasında (300 km) oluşturulan 10Ω arıza direncine sahip farklı arıza tiplerinin ve farklı kaynak endüktanslarının yalnızca yürüyen dalga frekansları ile tahmin edilen arıza uzaklığı yerlerinin ve yürüyen dalga-ELM kombinasyonu ile tahmin edilen arıza uzaklığı yerlerinin değerleri gösterilmiştir. Bütün çizelgeler incelendiğinde yalnızca yürüyen dalga frekansları ile tahmin edilmiş olan en yüksek hata değeri %9.27, yürüyen dalga-ELM kombinasyonu sonrası %2.14'e düşürülmüştür. Burada yürüyen dalga frekansları ile tahmin edilen ortalama arıza uzaklığı hatası %3.81 iken yürüyen dalga-ELM kombinasyonunun ortalama arıza uzaklığı hatası ise %1.04 olmuştur.

Çizelge 6.15. Hattın ortasında oluşan TFTA durumunda farklı kaynak endüktansı değerleri için yalnızca yürüyen dalga frekansları ve yürüyen dalga frekansları-ELM kombinasyonu ile tahmin edilen arıza uzaklık değerleri ve hata oranları

	Kaynak endüktansı (mH)	Yürüyen dalga frekansı		Yürüyen dalga frekansı-ELM	
		Tahmini arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata	Tahmini arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata
Arıza türü TFTA	1	317.21	2.86	308.98	1.49
	10	326.02	4.33	312.64	2.10
	25	335.33	5.88	309.56	1.59
	30	345.20	7.53	314.69	2.44
	45	355.66	9.27	312.88	2.14
	50	355.66	9.27	310.03	1.67

Çizelge 6.16. Hattın ortasında oluşan İFA durumunda farklı kaynak endüktansı değerleri için yalnızca yürüyen dalga frekansları ve yürüyen dalga frekansları-ELM kombinasyonu ile tahmin edilen arıza uzaklık değerleri ve hata oranları

	Kaynak endüktansı (mH)	Yürüyen dalga frekansı		Yürüyen dalga frekansı-ELM	
		Tahmini arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata	Tahmini arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata
Arıza türü İFA	1	300.94	0.15	292.5963	1.23
	10	308.86	1.47	295.5369	0.74
	25	317.21	2.86	291.8357	1.36
	30	326.02	4.33	296.0325	0.66
	45	335.33	5.88	293.1979	1.13
	50	345.20	7.53	299.8773	0.02

Çizelge 6.17. Hattın ortasında oluşan İFTA durumunda farklı kaynak endüktansı değerleri için yalnızca yürüyen dalga frekansları ve yürüyen dalga frekansları-ELM kombinasyonu ile tahmin edilen arıza uzaklık değerleri ve hata oranları

	Kaynak endüktansı (mH)	Yürüyen dalga frekansı		Yürüyen dalga frekansı-ELM	
		Tahmini arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata	Tahmini arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata
Arıza türü İFTA	1	300.94	0.15	292.59	1.23
	10	308.86	1.47	295.53	0.74
	25	326.02	4.33	300.46	0.07
	30	326.02	4.33	296.03	0.66
	45	335.33	5.88	293.19	1.13
	50	345.20	7.53	299.87	0.02

Çizelge 6.18. Hattın ortasında oluşan ÜFTA durumunda farklı kaynak endüktansı değerleri için yalnızca yürüyen dalga frekansları ve yürüyen dalga frekansları-ELM kombinasyonu ile tahmin edilen arıza uzaklık değerleri ve hata oranları

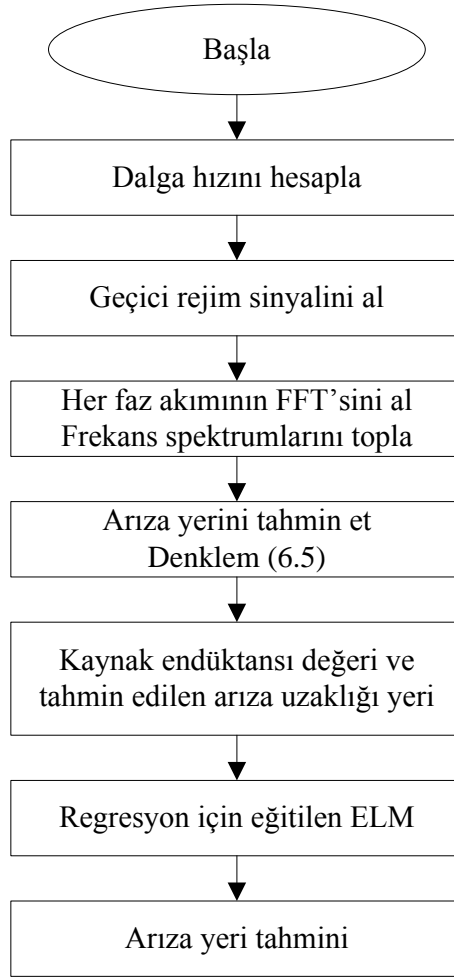
	Kaynak endüktansı (mH)	Yürüyen dalga frekansı		Yürüyen dalga frekansı-ELM	
		Tahmini arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata	Tahmini arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata
Arıza türü ÜFTA	1	300.94	0.15	292.59	1.23
	10	308.86	1.47	295.53	0.74
	25	326.02	4.33	300.46	0.07
	30	326.02	4.33	296.03	0.66
	45	335.33	5.88	293.19	1.13
	50	345.20	7.53	299.87	0.02

Çizelge 6.19. Eğitim ve test verilerinin ELM ile eğitilmeden önceki ve sonraki ortalama arıza yeri bulma başarısı

	Eğitim veri tabanı (%)	Test veri tabanı (%)
Yalnızca yürüyen dalga frekansları ile tahmin edilen arıza uzaklığı yerlerinin ortalama hatası	4.61	5.31
Yürüyen dalga frekansları ve ELM uygulanması sonrası tahmin edilen arıza uzaklığı yerlerinin ortalama hatası	1.33	1.33

Çizelge 6.19 eğitim ve test verilerinin yalnızca yürüyen dalga frekansları ve yürüyen dalga frekansları-ELM kombinasyonunun kullanılması sonrası ortalama arıza yeri bulma başarısını göstermiştir. Çizelgeden görüldüğü üzere ELM'nin yürüyen dalga frekansları ile birlikte kullanılması sonrası eğitim verilerindeki ortalama hata değeri %4.61'den %1.33'e, test verilerindeki ortalama hata değeri %5.31'den %1.33'e düşmüştür. Benzetim sonuçları ayrıntılı incelendiğinde yürüyen dalga frekansları ile tahmin edilen ve 0-400 km arasındaki olan bütün arıza uzaklığı değerlerinin ve bu arızalara ait kaynak endüktansı değerlerinin ELM'ye giriş bilgisi olarak verilme durumunda ELM' nin en büyük arıza yeri tahmini hata değeri %4'ün

altında olup eğitim verileri için ortalama arıza bulma başarısı %99.09 iken test verileri için ise %99.1 dir. Elde edilen benzetim sonuçları, kaynak endüktansının bu sistemdeki olumsuz etkisini minimize etmek için tek taraflı ölçümlerin yeterli olmadığını, iki taraflı ölçümlerin yeterli olacağını göstermiştir. Arıza uzaklığı için kullanılan genel algoritma şekil 6.30'da gösterilmiştir.



Şekil 6.30. Yürüyen dalga frekansları ve ELM ile arıza yerini bulmak için kullanılan algoritma

Tasarlanan arıza bulma yönteminin farklı iletim karakteristiğine sahip iletim hatlarında başarısını ölçmek için $l = 0.9398 \text{ mH / km}$, $c = 12.164 \text{ nF / km}$, $v = 1/(lc)^{1/2} = 295.76 \times 10^3 \text{ km/s}$ olan iki farklı uzunluğa sahip (420-630 km) iletim hattı ATPDraw programı ile tasarlanmıştır. Yöntemin bu iletim hatlarındaki başarısı çizelge 6.20 ve çizelge 6.21'de gösterilmiştir. Bu tablolardan görüldüğü gibi ELM'nin bir kez eğitilmesinden sonra tamamlanan arıza yeri bulma yöntemi, herhangi bir başka ELM eğitimine ihtiyaç duymadan farklı karakteristiğe sahip iletim hatlarında

arıza yerini bulabilmektedir. Bu da tamamlanan arıza yeri bulma yöntemini oldukça kullanışlı ve avantajlı hale getirmektedir.

Çizelge 6.20. 420 km hat uzunluğu ve farklı iletim hattı karakteristiği için tahmin edilen arıza uzaklık değerleri (ELM eğitimi sonrası)

Kaynak Endüktansı (mH)	Arıza Türü	Arıza Yeri (km)	Yürüyen Dalga ve ELM kombinasyonu (km)	Yüzdellik Hata %
10	TFA	140	144.76	1.13
10	TFA	280	282.47	0.58
10	İFA,İFTA,ÜFTA	140	139.11	0.21
10	İFA,İFTA,ÜFTA	280	275.28	1.12
40	TFA	140	142.61	0.62
40	TFA	280	281.61	0.38
40	İFA,İFTA,ÜFTA	140	140.10	0.02
40	İFA,İFTA,ÜFTA	280	281.61	0.38

Çizelge 6.21. 630 km hat uzunluğu ve farklı iletim hattı karakteristiği için tahmin edilen arıza uzaklık değerleri (ELM eğitimi sonrası)

Kaynak Endüktansı (mH)	Arıza Türü	Arıza Yeri (km)	Yürüyen Dalga ve ELM kombinasyonu (km)	Yüzdellik Hata %
10	TFA	190	198.70	1.38
10	TFA	380	390.21	1.62
10	İFA,İFTA,ÜFTA	190	188.18	0.28
10	İFA,İFTA,ÜFTA	380	380.44	0.06
40	TFA	190	196.31	1.00
40	TFA	380	393.73	2.17
40	İFA,İFTA,ÜFTA	190	187.80	0.34
40	İFA,İFTA,ÜFTA	380	380.76	0.12

Kaynak endüktansını minimize eden WRM algoritması ile ELM'nin farklı kaynak endüktansı değerleri için karşılaştırılması ise çizelge 6.22'de gösterilmiştir. Bu değerler, WRM algoritmasının küçük kaynak endüktanslarında daha başarılı olduğunu gösterirken, yüksek kaynak endüktanslarında ELM'nin daha başarılı olduğunu göstermiştir. Farklı arıza şartlarına göre bu iyileştirme değerleri değişmektedir.

Çizelge 6.22. Hattın ortasında oluşan ÜFTA durumunda farklı kaynak endüktansı değerleri için WRM yönteminin ve ELM'nin tahmini arıza uzaklık değerleri ve hata oranları karşılaştırması

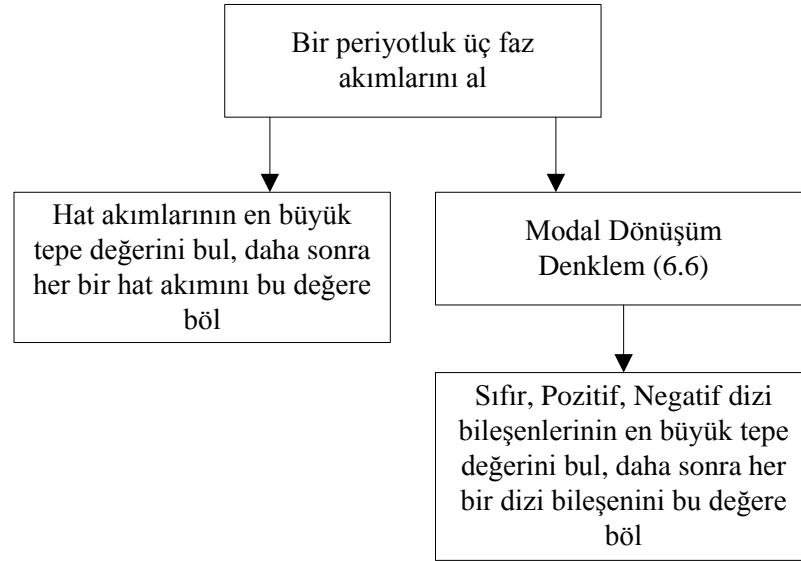
Kaynak endüktansı (mH)	Gerçek arıza uzaklığı (km)	Dalga formu gevşetme yöntemi		ELM	
		Tahmini arıza uzaklığı (km)	Yüzdellik hata	Tahmini arıza uzaklığı	Yüzdellik hata
0.1	300	300.6	0.10	292.97	1.17
1	300	299.8	0.04	292.59	1.23
10	300	299.7	0.05	295.53	0.74
25	300	303.66	0.61	300.46	0.07
50	300	302.3	0.38	299.87	0.02

6.6. Geçici Rejim Sinyalleri ve Farklı Makine Öğrenme Algoritmaları ile İletim Hatlarında Arıza Türünün Belirlenmesi

Arıza sınıflandırma konusu iletim hatlarında arızalara daha doğru bir şekilde müdahale etmek için üzerinde çalışılan önemli konulardan biridir. Aynı zamanda bazı arıza yeri bulma algoritmaları arıza sınıfının bilinmesine ihtiyaç duymaktadır. Bu durum arıza sınıflandırması konusunun önemini arttırmaktadır. Arıza sınıflandırması için genel olarak ilk başta çeşitli sınıflandırma özellikleri elde edilmekte daha sonra bu özellikler ve farklı yapay zeka teknikleri kullanılarak arıza türleri sınıflandırılmaktadır.

6.6.1. Sınıflandırma Özelliklerinin Elde Edilmesi

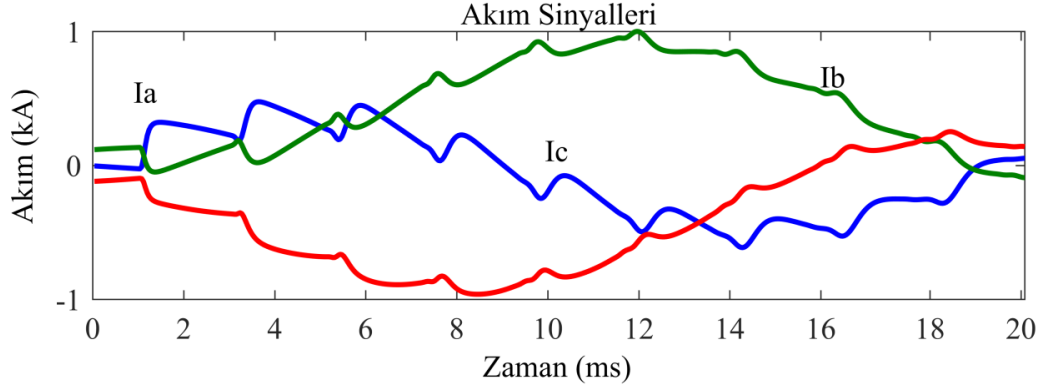
Akım veya gerilim sinyallerinden sınıflandırma özelliği çıkarma işlemi genel olarak yapılan çalışmalarda en büyük sorulardan biri olmuştur. Değişen hat ve arıza parametreleri, elde edilmiş olan sınıflandırma özelliklerini etkileyebilmektedir. Bu yüzden seçilen sınıflandırma özelliklerinin farklı arızalar için belirgin ve tutarlı olması gerekmektedir. Bu çalışmada arıza sonrası oluşan bir periyotluk hat akımları ve hat akımlarına modal dönüşüm uygulanması sonrası elde edilen sıfır, pozitif ve negatif dizi bileşenleri veri penceresi olarak kullanılmıştır. Bütün arızalarda veri tabanının belirli değerlerde kalmasını sağlamak için her bir arıza durumunda üç faz akımları ve dizi bileşenleri belirli bir yöntem ile küçültülmüştür. Bu küçültme yönteminde herhangi bir arızada üç faz akımlarının en büyük tepe değeri bulunmuş daha sonra her bir hat akımı bu tepe değerine bölünerek sinyaller küçültülmüştür. Benzer işlemler dizi akım bileşenlerine uygulanmıştır. Şekil 6.31, her bir kısa devre arızası durumunda, sinyalleri küçültmek için kullanılan yöntemi göstermektedir.



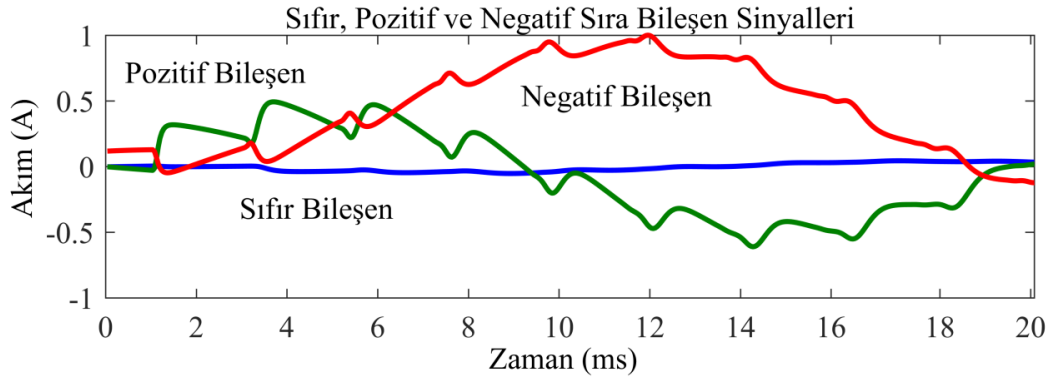
Şekil 6.31. Her bir kısa devre arıza durumunda üç faz akımlarını ve akımların dizi bileşenlerini küçültmek için kullanılan yöntem

Şekil 6.32, 25 mH'lik kaynak endüktansına sahip 600 km uzunluğundaki iletim hattının ortasında meydana gelen ÜFTA ile oluşan hat akımlarının, küçültülmesi sonrası elde edilen dalga şekillerini göstermektedir. Buradan görüldüğü gibi üç faz hat akımının en büyük tepe değeri +1 A olmuştur. Şekil 6.33 ise aynı arıza için sıfır, pozitif, negatif dizi akım bileşenlerinin küçültülmesi sonrası elde

edilen dalga şekillerini göstermiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi dizi akım bileşenlerinin en büyük tepe değeri +1 A olmuştur. Bu yöntem ile bütün arıza durumlarında, en büyük hat akımının ve en büyük dizi akım bileşeninin tepe değeri -1 A veya +1 A olacak şekilde sinyaller küçültülmektedir.



Şekil 6.32. Üç faz hat akımlarının küçültüldükten sonraki dalga şekilleri



Şekil 6.33. Dizi akım bileşenlerinin küçültüldükten sonraki dalga şekilleri

Her bir arıza durumu için bu küçültme işlemi yapıldıktan sonra hat akımı sinyallerinin ve dizi bileşenlerinin RMS değerleri ve bu RMS değerlerinin birbirlerine oranları olmak üzere toplan 12 farklı özellik sınıflandırma için kullanılmıştır. İlk altı özelliğe her bir hat akımının RMS değerleri ($RMS(Faz(A))$, $RMS(Faz(B))$, $RMS(Faz(C))$) ve bu değerlerin birbirlerine oranları kullanılırken ($RMS(Faz(A))/RMS(Faz(B))$, $RMS(Faz(B))/RMS(Faz(C))$, $RMS(Faz(C))/RMS(Faz(A))$), sonraki altı özelliğe ise akım sinyallerine modal dönüşüm uygulanması sonrası elde edilen sıfır, pozitif ve negatif dizi bileşenlerinin RMS değerleri ($RMS(Sıfır)$, $RMS(Pozitif)$, $RMS(Negatif)$) ve bu değerlerin birbirine oranları

(RMS(Sıfır)/ RMS(Pozitif), RMS(Pozitif)/ RMS(Negatif), RMS(Negatif)/RMS(Sıfır) kullanılmıştır.

7830 farklı kısa devre arızası ATPDraw programı kullanılarak üretilmiştir. Bu veri tabanında kullanılan kısa devre arıza parametreleri çizelge 6.23'te gösterilmiştir. Çalışmada Tek faz toprak (a), tek faz toprak (b), tek faz toprak (c), iki faz (ab), iki faz (bc), iki faz (ca), iki faz toprak (ab), iki faz toprak (bc), iki faz toprak (ca) ve üç faz toprak kısa devre arızası olmak üzere toplam 10 farklı arıza türü kullanılmıştır.

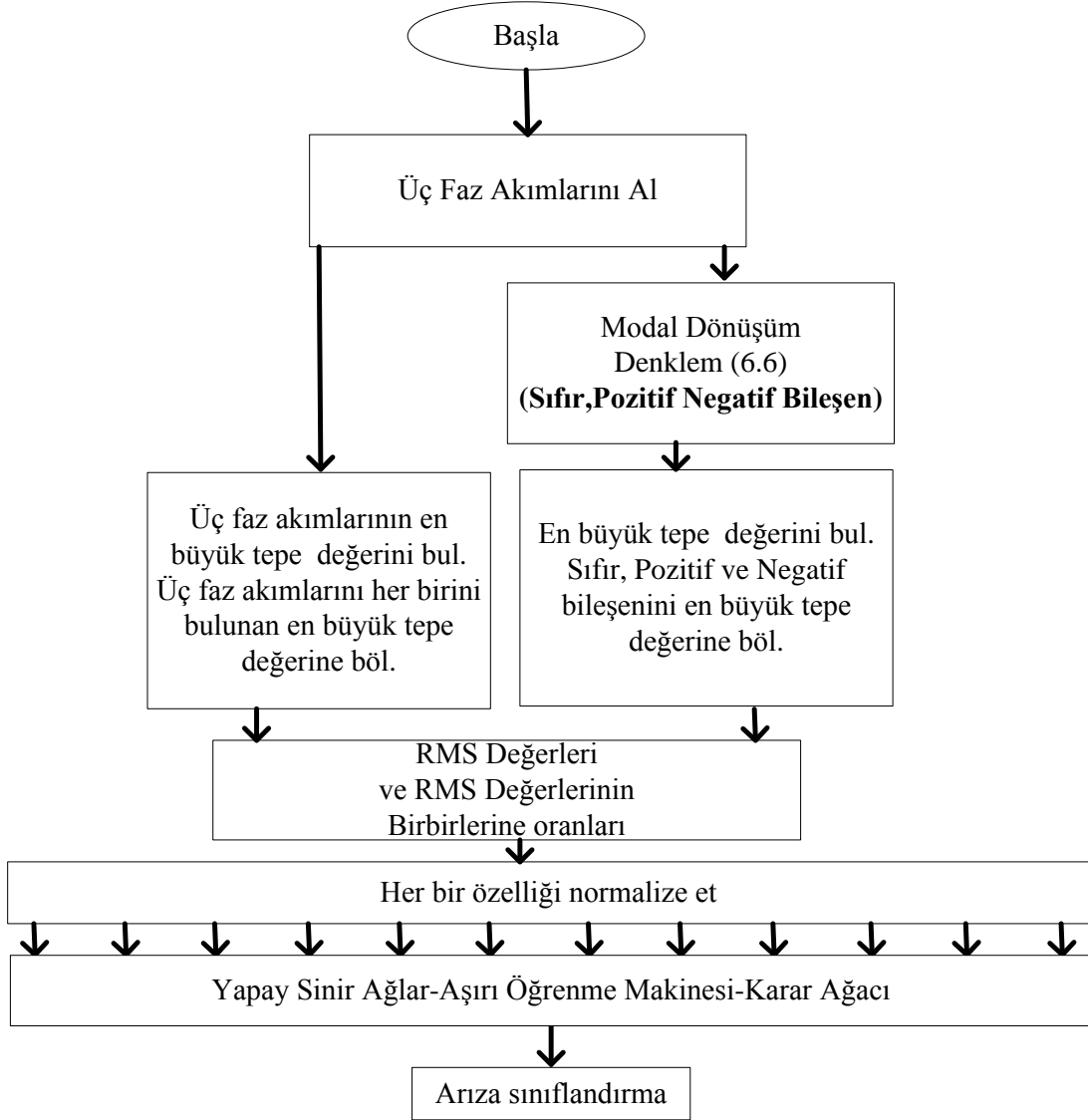
Çizelge 6.23. Kısa devre arıza parametreleri

	Veri Tabanı 1	Veri Tabanı 2	Veri Tabanı 3
Arıza Uzaklığı (km)	20,40,60,80...580	30,50,70,90...570	100,200,300..500
Arıza Direnci Ω	1,25,50	15,30,45	15,30,45
Kaynak Endüktansı (mH)	1,25,50	15,30,45	15,30,45
Faz Açısı (Derece)	0	0	30,90,150,210,270,330
Arıza Türü Sayısı	10	10	10
Farklı Arıza Türü Sayısı	29x3x3x1x10 2610	28x3x3x1x10 2520	5x3x3x6x10 2700
Toplam	7830		

6.6.2. Sınıflandırma Özellikleri ve Farklı Makine Öğrenme Algoritmaları Kullanarak Arıza Sınıflandırma

Sınıflandırma özelliklerinin elde edilmesinden sonra arıza tiplerini sınıflandırmak için ANN, ELM, KStar, Random Forest gibi birçok sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. ANN ve ELM için Matlab programı kullanılırken KStar, Random Forest ve birçok diğer sınıflandırma algoritması için ise WEKA programı [96,97] kullanılmıştır. Yapay sinir ağları aktivasyon fonksiyonu olarak logistic sigmoid seçilmiş olup 55 neron benzetim için kullanılmıştır. ELM aktivasyon fonksiyonu olarak ise sigmoid fonksiyonu kullanılmış olup 150 neron seçilmiştir.

Bütün sınıflandırma algoritmalarında 10 farklı arıza türü için 10 farklı sınıf türü atanmıştır. Çalışmada kullanılan sınıflandırma algoritması şekil 6.34'te gösterilmiştir.



Şekil 6.34. Arıza sınıflandırma algoritması

Çalışmada üç farklı şekilde sınıflandırma yöntemi test edilmiştir. İlk olarak veri tabanının rastgele belirlenen %20'lik kısmı (1566 farklı kısa devre arızası) eğitim için kullanılırken %80 ise (6264 farklı kısa devre arızası) test için kullanılmıştır. Daha sonra aynı veri tabanının rastgele belirlenen %30'luk kısmı (2349 farklı kısa devre arızası) eğitim için kullanılırken %70 ise (5481 farklı kısa devre arızası) test için kullanılmıştır. Son olarak veri tabanında k=10 olan çapraz doğrulama yapılarak sınıflandırma başarısı test edilmiştir. k=10 olan çapraz

doğrulama ilk olarak veri tabanı 10 eşit parçaya bölünerek 10 farklı veri tabanı elde edilmiştir. Daha sonra sırası ile her bir veri tabanı test verisi olarak seçilip diğer 9 veri tabanı ise eğitim verisi olarak seçilmiştir. Bu yöntemde 10 farklı sınıflandırma yapılmış olup sınıflandırma sonucu olarak ise 10 farklı sınıflandırma başarısının ortalaması alınmıştır. Çizelge 6.24’de yapılan benzetim sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 6.24. Arıza sınıflandırması benzetim sonuçları

Sınıflandırıcı	Veri Tabanının %20 Eğitim %80 Test	Veri Tabanının %30 Eğitim %70 Test	k=10 çapraz doğrulama
Random Forest	99.68	99.79	99.87
KStar	99.45	99.67	99.88
IBk	99.42	99.65	99.91
ELM	99.08	99.27	99.41
ANN	98.96	99.01	99.8
PART	98.97	98.97	99.75
J48	98.83	99.41	99.77
Simple Logistic	98.72	98.81	98.88
LMT	98.72	99.63	99.75
Bagging	98.32	99.41	99.73
Random Tree	97.92	99.54	99.79
Logistic	97.74	98.13	99.13
SMO	95.30	96.18	97.76
Niave Bayes	90.65	94.21	94.40

Çizelge 6.24 ELM, IBk, KStar ve Random Forest sınıflandırma algoritmalarının her durumda %99’un üzerinde doğru bir sınıflandırma başarısı sağladığını göstermektedir. Random Forest algoritması ise bütün algoritmaların içinde en yüksek sınıflandırma başarısını göstermiştir ($B \geq 99.68$). Literatürde Random Forest makine öğrenme algoritmasının sınıflandırma yönünden oldukça etkili bir yöntem olduğu vurgulanmıştır [82]. Bu çalışmada da kullanılan veri tabanında sınıflandırma için oldukça etkili olduğu görülmüştür.

6.6.3. Arıza Sınıflandırma Yöntemlerinin Literatürde Yapılan Çalışmalar ile Kıyaslanması

Çizelge 6.25'te literatürde yapılmış olan arıza sınıflandırma yöntemleri ile bu çalışmada tamamlanan arıza sınıflandırma yöntemi birçok farklı açıdan kıyaslanmıştır. Bu çizelgeden görüldüğü gibi tamamlanan çalışmalarda genel olarak sınıflandırma özelliklerinin elde edilmesi için DWT, S-dönüşümü, FFT gibi gelişmiş ve karmaşık matematik işlemleri uygulanmıştır. Bu tezde önerilen yöntemde ise RMS değerleri gibi daha basit bir araç kullanılmıştır. Tezde eğitim için kullanılan özellik sayısı 12 olup bu sayı tamamlanan diğer çalışmalara göre orta seviyede bir sayıdır. Bununla beraber kullanılan test veri sayısı literatürde tamamlanan çalışmaların çoğuna göre oldukça fazla olup yüksek seviyede bir sınıflandırma başarısı elde edilmiştir. Buda önerilen kısa devre arıza sınıflandırma yönteminin kabul edilebilir bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Çizelge 6.25. Tamamlanmış sınıflandırma çalışmalarının kıyaslanması

Referans	Ne kullanıldı	Sınıflandırıcı	Özellik Sayısı	Test veri sayısı	Başarı %
28	DWT	MCSVM	18	T=100	B=%99
29	Akım ve gerilim örnekleri	SOM	27	T>100	B>%99
30	FFT	KNN	7	T=206	B=%100
31	WSE	Bazı belirlenmiş kurallar	3	T=250	B=%100
32	MRA	Bazı belirlenmiş kurallar	3	T ≈1000	B=%100
33	Akım ve gerilim örnekleri	GANN	12	T=1500	B=%97.65
34	S dönüşümü	DT	24	T=1800	B>%98
35	DWT	FNN	24	T=1900	B>%99
36	HCDFT	DT	114	T=1920	B=%100
37	Akım ve Gerilim örnekleri	ANN	594	T1=1980 T2=1188	B1=%92.88 B2=%94.36
38	HCDFT	FL	5	T=2400	B=%97.41
39	Hiperbolik S-dönüşümü	RBFNN	6	T=3000
40	Akım ve gerilim örnekleri	BPNN	24	T=4050	B=%99.42
41	DWT	PNN	4	T=1.209.600	B=%99.42
42	DWT	CART	4	T=1.209.600	B=%99.97
Önerilen	RMS	Random Forest	12	T=6264	B=%99.68

7. DENEYSEL DEVRE DÜZENEĞİ VE TASARIM

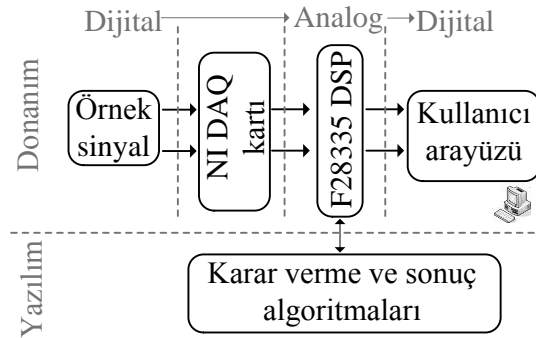
Bu tezde benzetim verilerini oluşturmak ve iletim hatlarını modellemek için ATPDraw programı kullanılmış olup, donanım aracı olarak ise TMS320DSP kullanılmıştır. Donanım aracı olarak DSP kullanılmasının nedenleri aşağıda sıralanmıştır [98].

- DSP'lerin karmaşık aritmetik işlemlerin yapılmasına izin veren bir donanım aracı olup yüksek düzeyde programlama uygulamaları için kolaylık sağlaması.
- DSP'lerin işlem hızını büyük ölçüde arttıran paralel işleme yeteneğine ve entegre bellek bloklarına sahip olması.

Bunların dışında aynı zamanda iletim hatlarında arıza yeri bulan, arıza türünü sınıflandıran ve arıza belirleyen gerçek zamanlı çalışmaların hiçbirinde DSP'nin donanım aracı olarak kullanılmamasından dolayı DSP bu tezde donanım aracı olarak kullanılmıştır.

7.1. Deneysel Devre Düzenegi

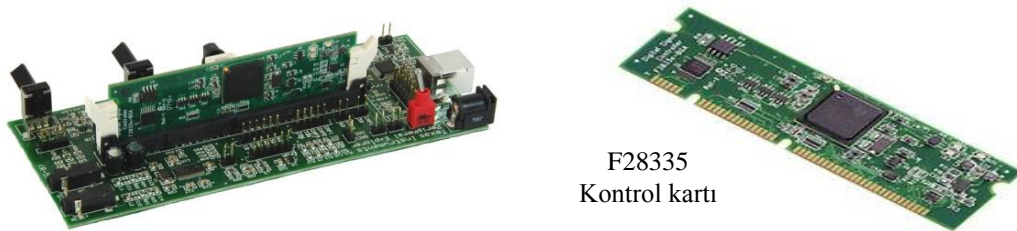
Bu doktora tezinde geçici rejim sinyalleri ve ELM ile geliştirilen sistemin sahada uygulanabilirliğini göstermek için deneysel bir devre düzenegi tasarlanmıştır. Bu düzenekte amaç, gerçek arıza bilgisine sahip veri temin edilmesi imkânı bulunmadığından, ATP paket programından benzetim sonucunda kayıt edilen örnek akım sinyallerinden analog akım bilgilerini elde etmek ve bu analog sinyalleri geliştirilen algoritmaya gerçek zamanlı uygulamaktır. Tasarlanan devre düzeneginin yapısı şekil 7.1'de görülmektedir.



Şekil 7.1. Sistem için tasarlanan devre düzenegi

Çalışmada iletim hattı akım sinyallerini oluşturmak için ATP programı kullanılmıştır. Üretilen akım sinyallerini analog akım sinyallerine dönüştürmek için LabVIEW [99,100] ve NI PCIE-6351 DAQ [101] kartı kullanılmıştır. Kullanılan DAQ kartın analog çıkış uçları yüksek çözünürlükte ve frekansta analog sinyaller üretebilmektedir. Elde edilen arızalı analog akım sinyali geliştirilen algoritmaların uygulanabilmesi için yüksek hızda ve sayıda işlem kapasitesine sahip olan Texas Instrument firması tarafından geliştirilen TMS320C200-F28335 DSP'sinin [102, 103] analog giriş uçlarına giriş olarak verilmektedir.

Şekil 7.2'te görülen TI F28335 kontrol kartı 100 pinli olup Çift Hatlı Bellek Modülü (DIMM) TMS320C serisi bir DSP kartıdır. Bu kontrol kartı 150 MHz çalışma frekansına sahip olup üzerinde 30 MHz'lik osilatör bulunmaktadır. Bu kontrol kartının güvenli çalışması için üzerinde "yaşam destek (clock, supply LDO, decoupling, pull-ups)" devreleri bulunmaktadır. Barındırdığı bu devrelerin yanı sıra DSP kartının giriş-çıkış uçları elektriksel olarak gürültülerden arınmış olup bütün analog ve dijital giriş ve çıkış pinleri altın kaplamalıdır. Besleme gerilimleri endüktans ve kondansatör kullanılarak filtrelenmiştir. 6 adet 12 bitlik yüksek çözünürlükte analog dijital dönüştürücü (ADC) giriş çıkış ucu bulunmaktadır ve bu pinlerde gürültü önleyici filtreler vardır. Ayrıca seri haberleşme modülleri (SCI, SPI vb.) ile diğer çevre birimleri ile haberleşme sağlanabilmektedir.



Şekil 7.2. F28335 DSP Kartı

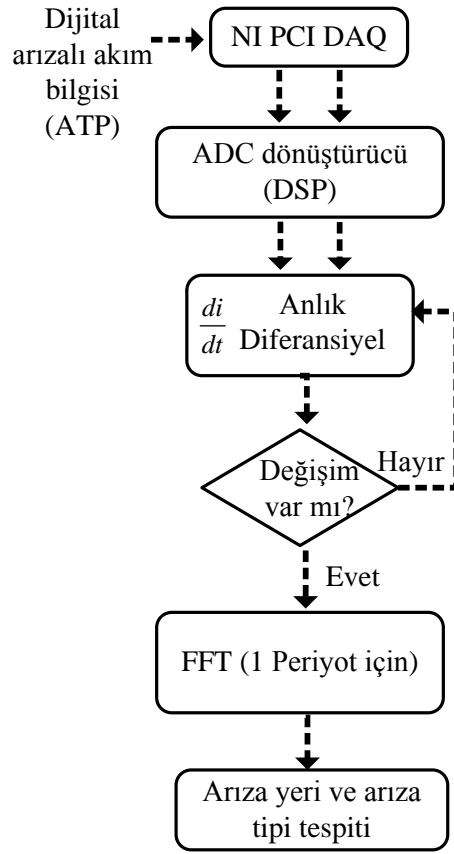
TI F28335 DSP'sinde geliştirilen algoritmalar uygulanarak işlenen arızalı akım sinyalinden elde edilen arıza ve uzaklık bilgilerinin kullanıcı ara yüzünde görüntülenebilmesi için uygun haberleşme protokolleri kullanılarak NOKIA 5110 LCD panelinde görüntülenmektedir. Aynı zamanda elde edilen bu bilgiler bir seri

port aracılığıyla PC'ye gönderilmekte ve PC ekranında da izlenebilmektedir. Bilgisayara ulaşan bu bilgiler GPS tabanlı bir yazılım kullanılarak harita üzerinde arızalı hattın konum bilgileri gösterilmektedir.

Tasarlanan bu devre düzeneği benzetim verileri kullanılarak gerçek zamanlı test edilmiş ve geliştirilen algoritmaların uygulanabildiği görülmüştür. Ayrıca böylesi bir sistem gerçek şebeke hattından alınan akım ve gerilim bilgileri ile de çalışmaya uygundur. Kullanılan arıza tespit ve konum sistemi, iş verimi ve arıza giderleri göz önüne alındığında oldukça düşük maliyetli bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiş bulunmaktadır.

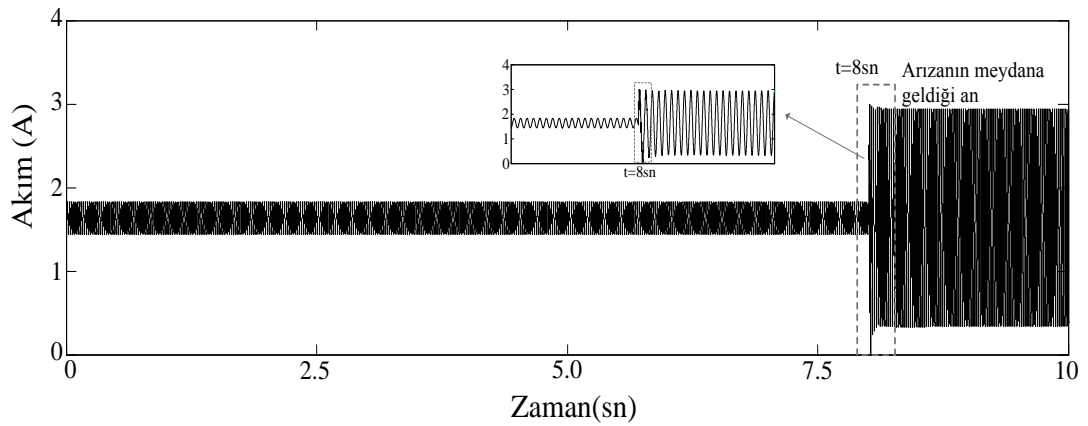
7.2. Yazılım

Geliştirilen algoritmaların yazılımsal olarak NIPCIE-6351 DAQ kart, TI F28335 DSP kartı ve kullanıcı ara yüzünde uygulanabilmesi için geliştirilen yazılım programın temel akış diyagramı şekil 7.3'te sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi TI F28335 DSP'sinin analog uçlarına gelen gerçek arızalı akım bilgisi 25.641 Hz örnekleme frekansı ile sürekli olarak örneklenmektedir. Arıza anını yakalamak için art arda iki örneğin diferansiyeli anlık olarak alınmaktadır. Arıza olmadığı durumlarda bu anlık diferansiyel değer belirli bir aralıkta değişim gösterir. Arıza durumunda ise bu değişim belirli bir seviyenin üzerindedir. Böylece akımda meydana gelen herhangi bir ani değişim yani arıza anında hesaplanan diferansiyel değer belirli bir seviyenin üzerinde olmakta ve o an, arızanın meydana geldiği zaman olarak sistem tarafından algılanmaktadır.



Şekil 7.3. Geliştirilen algoritmanın gerçek sistemde uygulanma akış diyagramı

Örnek olarak şekil 7.4'te 10 sn. boyunca ATP paket programından elde edilen arızalı akım bilgilerinin anlık diferansiyel değişimi görülmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi kısa devre arızası 8. sn'de oluşturulmuş ve arıza anı net olarak görülebilmektedir.



Şekil 7.4. ATP paket programından alınan arızalı akım bilgisi

7.3. Analog Sinyalin Dijital Sinyale Dönüştürülmesi

TI F28335 DSP analog giriş uçlarına PCI kartından gelen 0-3V arasındaki analog sinyal, anlık olarak (simultaneous sampling mode) örneklenecek dijital dönüşürmektedir. Analog giriş ucu olarak ADCIN0 seçilmiştir. ADC konfigürasyonda analogdan dijital dönüşürme frekansı 12.5 MHz seçilmiştir. ADC çalışma modu kaskat mod olarak belirlenmiştir. Sinyalleri 25.641 Hz'de örnekleme için CPU timer kesmesi kullanılmıştır. Böylece her bir kesmede sistem kesme rutinine gitmekte ve ADC biriminin sonuç kaydedicilerine (ADCRESULT REGISTER) 12 bit olarak yüklenen değer okunmaktadır.

7.4. Akım Bilgisinin Gözlenmesi ve Frekans Spektrumunda İncelenmesi

Dijital bilgiye dönüşürülen bu sinyalin sürekli olarak diferansiyeli alınarak akımdaki anlık değişim oranı gözlenmektedir. Akımdaki anlık bir değişim durumunda yani arıza meydana geldiği andan itibaren 1 periyotluk akım (her bir sinyal için 512 örnekleme) dizin içine kayıt edilmektedir. Bu 1 periyotluk akım bilgisini frekans-genlik ekseninde incelemek için FFT uygulanmaktadır. Bir periyotluk dijital akım sinyaline FFT uygulanmadan önce pencereleme fonksiyonu kullanılarak ana harmonik civarlarındaki spektral sızıntılar minimize edilmiştir. Pencereleme fonksiyonu olarak Hanning window fonksiyonu seçilmiştir. Daha sonra frekans çözünürlüğünü artırmak için pencereleme uygulanan veriye sıfır eklenmektedir. Böylece sinyal çözünürlüğü 12.5 Hz olmaktadır.

7.5. Haberleşme Protokolleri ve Kullanıcı Ara Yüzü

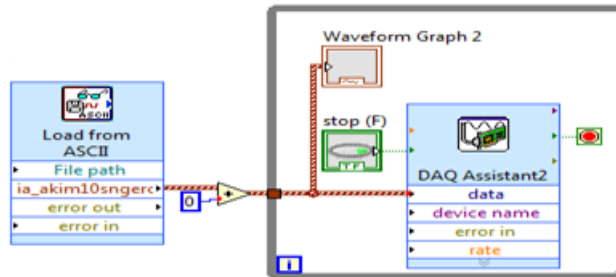
Elde edilen arıza ve mesafe bilgilerinin kullanıcı tarafından gözlemlenebilmesi için NOKIA 5110 LCD paneli ve bilgisayar ekranı kullanılmıştır. TI F28335'te A ve B olarak iki adet seri haberleşme modülleri bulunmaktadır. Bu modüller TI F28335 DSP ile NOKIA 5110 LCD panel ve PC arasında haberleşme sağlamaktadır. DSP'nin seri haberleşme pinleri LCD panelin seri haberleşme pinleri ve PC ile donanımsal olarak uygun bir şekilde bağlanmıştır.

Haberleşme sonucunda NOKIA 5110 LCD ekranında o anda yapılan işlemler ve elde edilen bulgular anlık olarak görüntülenebilmektedir. Temel olarak ekranda verilen bilgiler aşağıdaki gibidir;

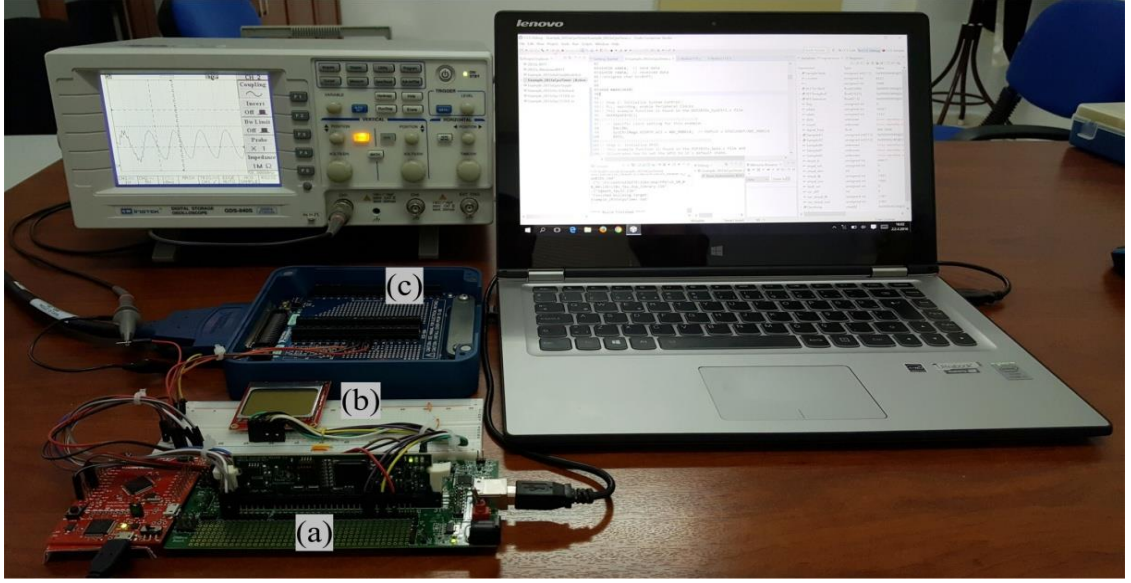
- Arıza olup olmadığı bilgisi
- Arıza türü
- Arıza harmoniklerinin frekansı ve arıza yerinin bilgisi

Bu bilgiler aynı zamanda aynı haberleşme protokolü (SCI) kullanılarak PC ekranında da gözlemlenebilmektedir. Ayrıca geliştirilen yazılımlar ile GPS kullanılarak arızanın meydana geldiği hattın konumu grafiksel tabanlı başka bir LCD panel üzerinde görüntülenebilmektedir.

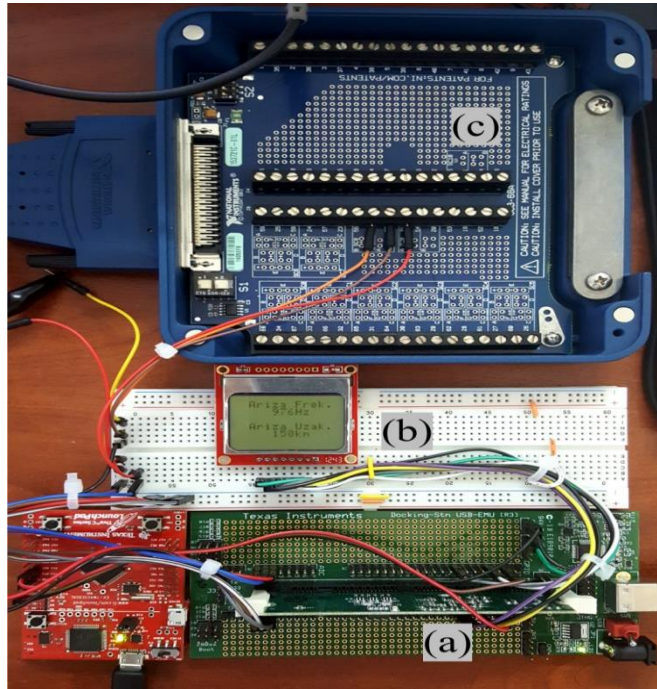
Sayısal simülasyon verilerinin NI PCIE-6351 kartı kullanılarak DSP kartına analog bilgi olarak göndermek için hazırlanan LabView programı yapısı şekil 7.5'te görülmektedir. Şekil 7.6'da ise bilgisayarla haberleşme durumundaki sistem yapısı verilmiştir. Şekil 7.7'de F28335 DSP, Nokia 5110 LCD panel ve NI PCI DAQ kartının bir arada olduğu devre düzeneği görülmektedir. Şekil 7.8'de laboratuvar ortamında bir test işlemi esnasında Nokia 5110 LCD panelde ekran çıktısı sonuçları görülmektedir. Ekran çıktıları iki aşamalıdır. 1. aşamada geçici rejim 1. harmonik frekansı ve arıza noktası, ikinci aşamada ise arıza türü ve arıza noktası görüntülenmektedir. Şekil 7.9'da NI PCI DAQ kartına bağlı kullanıma hazır kutulanmış örnek cihaz prototipi görülmektedir.



Şekil. 7.5. Sayısal benzetim verilerinin NI PCIE-6351 kartı kullanılarak DSP kartına analog bilgi olarak göndermek için hazırlanan LabView programı



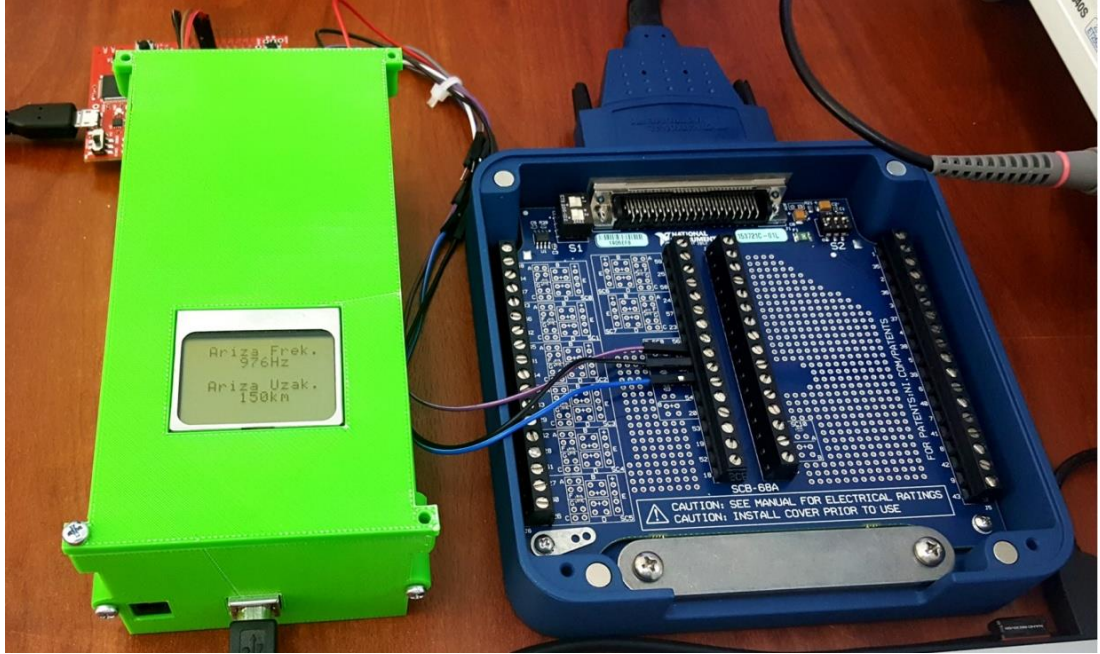
Şekil 7.6. Devre düzeni a) F28335 DSP b) Nokia 5110 LCD panel c) NI PCI DAQ kartı



Şekil 7.7. Arıza tespit sistemi a) F28335 DSP b) Nokia 5110 LCD panel c) NI PCI DAQ kartı



Şekil 7.8. Nokia 5110 LCD panelde arıza frekansı ve uzaklığı gösterimi

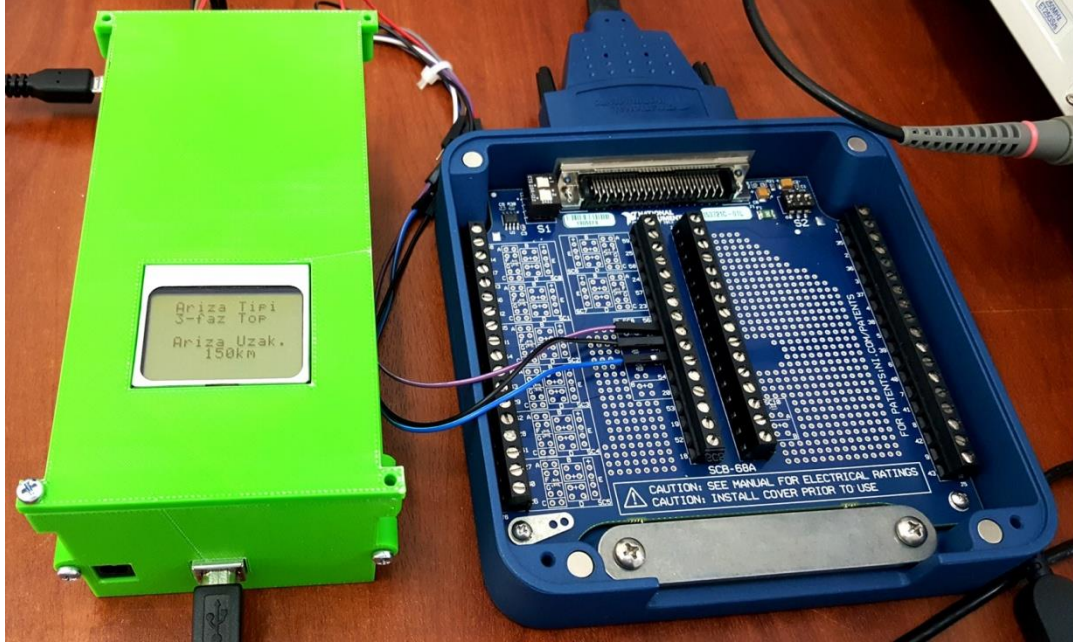


Şekil 7.9. Tubitak 114E152 araştırma projesi sonucu oluşturulan arıza tespit sistemi cihaz prototipi

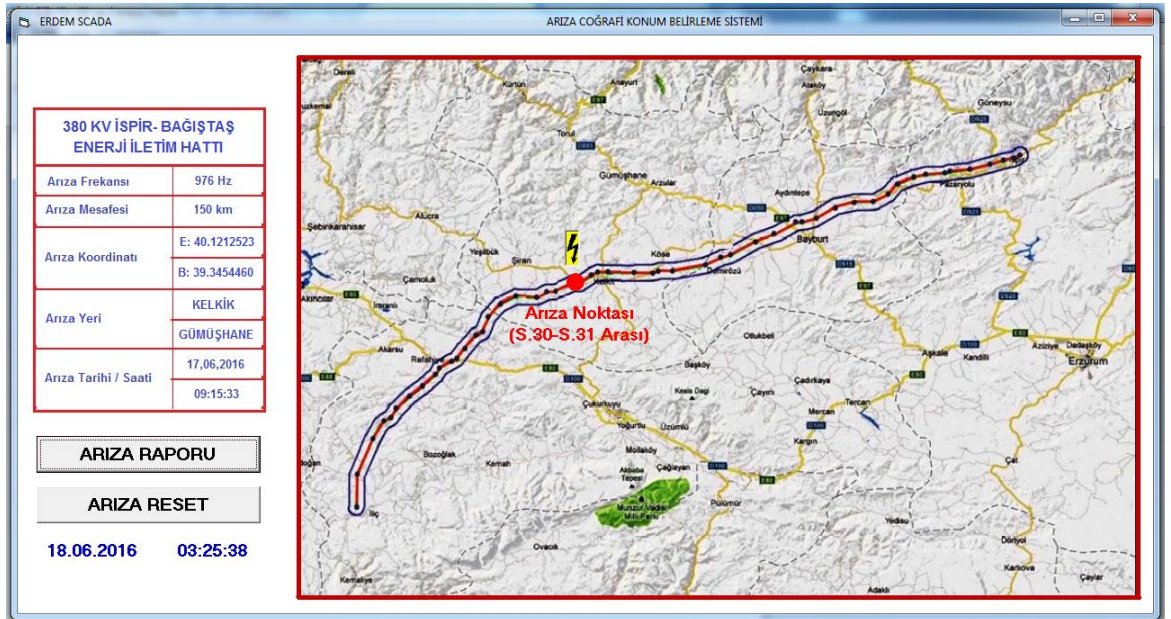
7.6. İspir-Bağıştaş 380 kV Enerji Nakil Hattı Gerçek Zamanlı Uygulaması

Örnek uygulama olarak İspir-Bağıştaş 380 kV iletim hattı seçilmiş ve bu hattın 150 km uzaklığında gerçekleşen ÜFTA'ında ilk örnek prototip cihazın performansı laboratuvar ortamında gerçek zamanlı test edilmiştir. Arıza anındaki akım sinyalleri, ATP benzetimleri ile elde edilen verilerdir. Dijital olarak alınan bu veriler gerçek sistem uygunluk açısından PCI kartı kullanılarak analog olarak DSP girişine uygulanmıştır. Gerçek zamanlı gelen bilginin DSP kartına gömülü

algoritmaların değerlendirilmesi sonucu elde edilen cihaz çıktısı arıza frekansı, arıza noktası ve arıza türü şekil 7.10'da görülmektedir. Şekil 7.11'de ise GPS kullanılarak arıza noktasının harita üzerindeki gösterimi verilmiştir. Arıza noktasının koordinatları ve hangi direk aralığında olduğu bilgisi ekranda görülebilmektedir.



Şekil 7.10. İspir-Bağıştaş hattı için arıza uzaklığı ve arıza türü sonuç gösterimi



Şekil 7.11. İspir-Bağıştaş hattı için arıza noktası GPS sonuç gösterimi

8. SONUÇLAR

Teknolojinin geliştiği ve üretimin arttığı günümüzde kısa süreli elektrik kesintileri bile büyük ekonomik kayıplara yol açabilmektedir. Bu elektrik kesintilerine neden olan faktörlerden biri ise iletim hatlarında oluşan kısa devre arızalarıdır. Kısa devre arızalarına hızlı bir şekilde müdahale edebilmek için arıza yerinin ve türünün belirlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden bu tezde kısa devre arızasını belirleyen, arıza yerini bulan ve arıza türünü sınıflayan yeni bir algoritma uygulamalı olarak gerçekleştirilmiştir.

Literatürde kısa devre arıza anını bulmak için farklı yöntemler uygulanmıştır. Bu yöntemlerin karmaşık olması, farklı veri pencerelerine ihtiyaç duymaları ve belirli eğitim süreçlerine gerek duymaları gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu tezde üç faz akımlarının anlık diferansiyel değişimleri incelenerek arıza anı belirlenmiştir. Herhangi bir kısa devre arıza durumunda bir fazda veya birden fazla fazdaki anlık diferansiyel değer değişmekte ve arıza anı yakalanabilmektedir. Benzetim sonuçları bu yöntemin oldukça basit ve etkili olduğunu göstermiştir.

Arıza yerini bulmak için bu tezde yürüyen dalga frekansları ve ELM'nin regresyon özelliğine dayalı yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemde bir arıza durumunda ilk önce yürüyen dalga frekansları kullanılarak bir arıza yeri tahmini yapılmıştır. Bu arıza yeri tahmini birçok farklı iletim hattı parametresi için denenmiş olup yalnızca kaynak endüktansı değerinden olumsuz etkilendiği görülmüştür. Bu durum kaynak endüktansının dalga hızını olumsuz etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Bu olumsuz etkiyi minimize etmek ve var olan sonuçları iyileştirmek için ELM'nin regresyon özelliği kullanılmıştır. Bu özelliği kullanabilmek için birçok farklı arıza durumu ATP programı ile simüle edilmiş ve arıza verileri toplanmıştır. Yürüyen dalga frekansları ile tahmin edilen arıza uzaklığı değerleri ve kaynak endüktansı değerleri ELM giriş verilerini, gerçek arıza uzaklığı değerleri ise ELM çıkış verilerini oluşturarak ELM eğitimi yapılmıştır. Eğitimden sonra ELM bu iki giriş bilgisine göre yeniden bir arıza uzaklığı tahmininde bulunmaktadır. Kaynak endüktansı bilinen bir sistemde herhangi bir arıza durumunda ilk başta yürüyen dalga frekansını kullanarak bir arıza yeri tahmininde bulunmaktadır. Daha sonra bu tahmin ve kaynak endüktansı değeri ile ELM yeni bir

arıza yeri tahmininde bulunmaktadır. Benzetimler tek taraftan alınan bilgilerde yürüyen dalgaların belirli bir arıza uzaklığı tahmininden (400km) sonra zayıfladığını göstermiştir. 600 km'lik iletim hattında, yürüyen dalga frekansları ile tahmin edilen ve 0-400 km arasındaki olan bütün arıza uzaklığı değerleri ve bu arızalara ait kaynak endüktansı değerleri için ELM'nin en büyük arıza yeri tahmini hatası %4'ün altında olup ortalama arıza yeri bulma başarısı ise %99 üzerindedir. Yöntemin literatürde var olan yöntemlere göre üstün özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Hattın yalnızca bir tarafından alınan bir periyot uzunluğundaki akım sinyallerine ihtiyaç duymaması.
- Her iki taraftan senkronize bilgiye ihtiyaç duymaması.
- Yüksek örnekleme frekansına ihtiyaç duymaması.
- Bir kere ELM eğitimi yapıldıktan sonra herhangi bir eğitime ihtiyaç duymadan farklı karakteristiğe sahip iletim hatlarında arıza yerini bulabilmesi.

Aynı zamanda bu doktora tezinde yürüyen dalga frekansları ve WRM yöntemi ilk defa seri kompanzasyon uygulanmış iletim hatlarında test edilmiştir. Seri kompanzasyon iletim hattının güç kapasitesini arttırıp, iletim hattındaki kayıpları azaltsa da birçok arıza bulma yöntemi bu birimin doğrusal olmayan davranışlarından oldukça etkilenmektedir. WRM yöntemi kaynak endüktansının olumsuz etkisini minimize etmek için kullanılmıştır. Bu yöntem kaynak endüktansı değerinin dalga hızına ayrık olarak dahil edildiği bir algoritmayı kullanmaktadır. Böylece seri kompanzasyon uygulanmış iletim hatlarında arıza yerini bulmak için farklı bir algoritma literatüre dahil edilmiştir.

Arıza türünü belirlemek için ise geçici rejim akım sinyalleri ve birçok farklı makine öğrenme algoritması kullanılmıştır. Sınıflandırma özelliklerini elde etmek için arıza sonrası oluşan bir periyot uzunluğundaki hat akımları ve hat akımlarının modal dönüşüm uygulanması sonrası elde edilen dizi bileşenleri veri penceresi olarak kullanılmıştır. Sınıflandırmada kullanılacak özelliklerin farklı arıza şartlarından en az biçimde etkilenmesi için hem hat akımları hem de hat akımlarına modal dönüşüm uygulanması sonrası elde edilen sıfır, pozitif, negatif dizi bileşenleri belirli bir

yöntem ile küçültülmüştür. Bu yöntemde herhangi bir arıza durumunda hat akımlarının en büyük tepe değeri bulunmuş daha sonra her bir hat akımı bu tepe değerine bölünerek sinyaller küçültülmüştür. Benzer işlemler dizi bileşen sinyallerine uygulanmıştır. Her bir arıza durumu için bu küçültme işlemi yapıldıktan sonra hat akımı sinyallerinin RMS değerleri ve bu RMS değerlerin birbirlerine oranları ve dizi bileşenlerinin RMS değerleri ve bu RMS değerlerinin birbirlerine oranları sınıflandırma özellikleri olarak kullanılmıştır. Bu sınıflandırma özellikleri birçok farklı makine öğrenme algoritmasına (ANN, ELM, KStar, Random Forest) uygulanarak arıza tipleri sınıflandırılmıştır. Çalışmada Random Forest, KStar Part gibi makine öğrenme algoritmalarının ANN ve ELM gibi literatürde oldukça kullanılan algoritmalara göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Tamamlanan arıza sınıflandırma çalışmasının literatürdeki diğer çalışmalara göre üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır.

- Yalnızca bir periyot uzunluğunda akım sinyallerine ihtiyaç duyması.
- Yüksek faz açısı kaymasından etkilenmemesi.
- Sınıflandırma özelliklerinin elde edilmesi için basit bir işlem kullanılması.
- Yüksek sayıda test verisinin denenmesi.

Yapılan çalışmalar sonucunda geçici rejim sinyalleri ve ELM ile kısa devre arızalarının yerini ve türünü bulan algoritma DSP cihazına aktarılarak kullanıma hazır bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Burada ELM'nin seçilme nedeni ise hem regresyon hem de sınıflandırmada gösterdiği başarıdır. Tasarlanan sistem herhangi bir arıza durumunda arıza yerini ve arıza türünü belirlemekte ve GPS ile arızanın uydu üzerinden konum bilgisini alabilmektedir. Sistem laboratuvar ortamında 380 kV İspir-Bağıştaş hattı için benzetim verileri kullanılarak gerçek zamanlı olarak test edilmiş ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

Bu doktora tezinde yapılan yenilikler aşağıda sıralanmıştır.

- İletim hatlarında arıza anını belirlemek için akım sinyallerinin anlık diferansiyel değişimi kullanılmıştır.
- Yürüyen dalga frekansları ve ELM'ye dayalı yeni bir arıza yeri bulma algoritması geliştirilmiştir.

- Seri kompanzasyon uygulanmış iletim hatlarında arıza yerini bulmak için ilk defa yürüyen dalga frekansları ve dalga formu gevşetme yöntemi (WRM) uygulanmış ve başarılı sonuçlar sağlanmıştır.
- Geçici rejim akım sinyalleri ve farklı makine öğrenme algoritmalarına dayalı yeni bir arıza sınıflandırma algoritması geliştirilmiştir.
- DSP donanım aracı ilk defa gerçek zamanlı olarak arıza belirleme, arıza yerini bulma ve arıza türünü sınıflandırma amacıyla kullanılmıştır.
- GPS ile arızanın uydu üzerinden konum bilgisi alınmıştır.

Tamamlanan arıza yeri bulma sisteminin zayıf yönleri aşağıda sıralanmıştır.

- Tek faz toprak arızası için zaman zaman yürüyen dalga frekanslarını belirlemek zor olmuştur.
- Belirli bir uzaklıktan sonra (400 km) tahmin edilen arıza uzaklık yeri hatası artmaktadır. Bunu önlemek için iki taraflı ölçümlerin kullanılması gerekmektedir.

Gelecekte yapılması düşünülen çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

- Akım transformatorlerinin bu tezde kullanılan arıza yeri tahmin etme ve arıza türünü sınıflandırma yöntemine etkisi incelenecektir.
- Arıza yeri bulmak için kullanılan yürüyen dalga frekansları paralel iletim hatlarında incelenecektir.
- Yürüyen dalga frekanslarına dayalı arıza bulma yöntemi yeraltı kabloları için incelenecektir.
- Arıza sınıflandırması için kullanılan birçok farklı makine öğrenme tekniği dalgacık dönüşümü ile kullanılarak arıza tipleri sınıflandırılacaktır.

9. KAYNAKLAR

- 1 C.E.d.M. Pereira and L.C. Zanetta, *Fault location in transmission lines using one-terminal postfault voltage data*, **IEEE T Power Deliver**, 19:2 (2004) 570-575.
- 2 J. Izykowski, R. Molag, E. Rosolowski and M. M. Saha, *Accurate location of faults on power transmission lines with use of two-end unsynchronized measurements*, **IEEE T Power Deliver**, 21:2 (2006) 627-633.
- 3 J. Suonan, S. Gao, G. Song, Z. Jiao and X. Kang, *A Novel Fault-Location Method for HVDC Transmission Lines*, **IEEE T Power Deliver**. 25:2 (2010) 1203-1209.
- 4 A. Gopalakrishnan, M. Kezunovic, S. M. McKenna and D. M. Hamai, *Fault location using the distributed parameter transmission line model*, **IEEE T Power Deliver**, 15:4 (2000) 1169-1174.
- 5 S. S. Gururajapathy, H. Mokhlis and H. A. Illias, *Fault location and detection techniques in power distribution systems with distributed generation: A review*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 74 (2017) 949-958.
- 6 A. G. Shaik and R. R. V. Pulipaka, *A new wavelet based fault detection, classification and location in transmission lines*, **Int J Elec Power**, 64 (2015) 35-40.
- 7 D. Chanda, N. K. Kishore and A. K. Sinha, *A wavelet multiresolution analysis for location of faults on transmission lines*, **Int J Elec Power**, 25:1 (2003) 59-69.
- 8 S. Hasheminejad, S. G. Seifossadat, M. Razaz and M. Joorabian, *Ultra-high-speed protection of transmission lines using traveling wave theory*, **Electr Pow Syst Res**. 132 (2016) 94-103.
- 9 A. Ahmadimanesh and S. M. Shahrtash, *Transient-based fault-location method for multiterminal lines employing S-transform*, **IEEE T Power Deliver**, 28:3 (2013) 1373-1380.
- 10 Z. He, X. Liu, X. Li and R. Mai, *A Novel Traveling-Wave Directional Relay Based on Apparent Surge Impedance*, **IEEE T Power Deliver**, 30:3 (2015) 1153-1161.
- 11 M.S. Mamis and M. Arkan, *FFT based fault location algorithm for transmission lines*, in:7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Bursa, Türkiye, Dec. 1-4, (2011), pp.I-71-I-75.
- 12 M.S. Mamiş, M. Arkan and C. Keleş, *Transmission lines fault location using transient signal spectrum*, **Int J Elec Power**, 53 (2013) 714-718.
- 13 A.J. Mazon, I. Zamora, J.F. Miñambres, M.A. Zorroza, J.J. Barandiaran and K. Sagastabeitia, *A new approach to fault location in two-terminal transmission lines using artificial neural networks*, **Electr Pow Syst Res**, 56:3 (2000) 261-266.
- 14 R. Salat and S. Osowski, *Accurate fault location in the power transmission line using support vector machine approach*, **IEEE T Power Syst**, 19:2 (2004) 979-986.
- 15 M. J. Reddy and D. K. Mohanta, *A wavelet-fuzzy combined approach for classification and location of transmission line faults*, **Int J Elec Power**, 29:9 (2007) 669-678.
- 16 V. Malathi, N.S. Marimuthu and S. Baskar, *Intelligent approaches using support vector machine and extreme learning machine for transmission line protection*, **Neurocomputing**, 73:10 (2010) 2160-2167.
- 17 M.M. Saha, J. Izykowski, E. Rosolowski and B. Kasztenny, *A new accurate fault locating algorithm for series compensated lines*, **IEEE Transactions on Power Delivery**, 14:3 (1999) 789-797.
- 18 A. Çapar and A. Basa Arsoy, *A performance oriented impedance based fault location algorithm for series compensated transmission lines*, **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, 71 (2015) 209-214.
- 19 J. Sadeh and A. Adinezhadeh, *Accurate fault location algorithm for transmission line in the presence of series connected FACTS devices*, **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, 32:4 (2010) 323-328.

- 20 S.M. Nobakhti and M. Akhbari, *A new algorithm for fault location in series compensated transmission lines with TCSC*, **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, 57 (2014) 79-89.
- 21 H. Zijun, C. Yunping and G. Qingwu, *A protection and fault location scheme for EHV line with series capacitor based on travelling waves and wavelet analysis*, in: International Conference on Power System Technology, Kunming, China, Oct. 13-17, (2002), pp.290-294.
- 22 M. Abedini, A. Hasani, A.H. Hajbabaie and V. Khaligh, *A new traveling wave fault location algorithm in series compensated transmission line*, in: 21st Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), Mashhad, Iran, May. 14-16, (2013), pp.1-6.
- 23 D. Akmaz, M.S. Mamiş, M. Arkan, M.E. Tağluk, *Fault location on series compensated power transmission lines using transient spectrum*, in: 23th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Malatya, Türkiye, May. 16-19, (2015), pp.951-954.
- 24 D. Akmaz, M.S. Mamiş, M. Arkan, M.E. Tağluk, *Travelling-wave based fault distance estimation for series compensated transmission lines using EMTP-ATP*, EEUG European EMTP-ATP Conference, Grenoble, France, (2015), pp.151-161.
- 25 V. Malathi, N.S. Marimuthu, S. Baskar and K. Ramar, *Application of extreme learning machine for series compensated transmission line protection*, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, 24:5 (2011) 880-887.
- 26 A.A. Yusuff, C. Fei, A.A. Jimoh and J.L. Munda, *Fault location in a series compensated transmission line based on wavelet packet decomposition and support vector regression*, **Electric Power Systems Research**, 81:7 (2011) 1258-1265.
- 27 P. Ray, B.K. Panigrahi and N. Senroy, *An AI approach for fault distance estimation*, in: International Conference on Energy, Automation and Signal (ICEAS), Odisha, India, Dec. 28-30, (2011) pp.1-6.
- 28 S. Ekici, *Support Vector Machines for classification and locating faults on transmission lines*, **Applied Soft Computing**, 12:6 (2012) 1650-1658.
- 29 R. K. Aggarwal, Q. Y. Xuan, R. W. Dunn, A. T. Johns and A. Bennett, *A novel fault classification technique for double-circuit lines based on a combined unsupervised/supervised neural network*, **IEEE transactions on Power Delivery**, 14:4 (1999) 1250-1256.
- 30 B.H. Chowdhury and W. Kunyu. *Fault classification using Kohonen feature mapping*, in: Proceedings of International Conference on Intelligent System Application to Power Systems, Orlando, USA, 28 Jan.-2 Feb, (1996), pp.194-198.
- 31 Z. He, L. Fu, S. Lin and Z. Bo, *Fault detection and classification in EHV transmission line based on wavelet singular entropy*, **IEEE Transactions on Power Delivery**, 25:4 (2010) 2156-2163.
- 32 M.J. Reddy and D.K. Mohanta, *A wavelet-fuzzy combined approach for classification and location of transmission line faults*, **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, 29:9 (2007) 669-678.
- 33 Y. H. Song, A. T. Johns, Q. Y. Xuan and J. Y. Liu, *Genetic algorithm based neural networks applied to fault classification for EHV transmission lines with a UPFC*, in: 6th International Conference on Developments in Power Systems Protection, Nottingham, UK, March. 25-27, (1997), pp.278-281.
- 34 S.R. Samantaray, *A systematic fuzzy rule based approach for fault classification in transmission lines*, **Applied Soft Computing**, 13:2 (2013) 928-938.
- 35 F. Martin and J.A. Aguado, *Wavelet-based ANN approach for transmission line protection*, **IEEE Transactions on Power Delivery**, 18:4 (2003) 1572-1574.
- 36 S.M. Shahrtash and A. Jamehbozorg. *A decision tree based method for fault classification in transmission lines*, in: 2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, Chicago, USA, April. 21-24, (2008), pp. 1-5.

- 37 M. Kezunović, I. Rikalo and D.J. Šobajić, *High-speed fault detection and classification with neural nets*, **Electric Power Systems Research**, 34:2 (1995) 109-116.
- 38 B. Das and J.V. Reddy, *Fuzzy-logic-based fault classification scheme for digital distance protection*, **IEEE Transactions on Power Delivery**, 20:2 (2005) 609-616.
- 39 S.R. Samantaray, P.K. Dash and G. Panda, *Fault classification and location using HS-transform and radial basis function neural network*, **Electric Power Systems Research**, 76:(9–10) (2006) 897-905.
- 40 M. Oleskovicz, D.V. Coury and R.K. Aggarwal, *A complete scheme for fault detection, classification and location in transmission lines using neural networks*, in: 7th International Conference on Developments in Power Systems Protection (DPSP), Amsterdam, Netherlands, April. 9-12, (2001), pp. 335-338.
- 41 J. Upendar, C.P. Gupta and G.K. Singh, *Discrete wavelet transform and probabilistic neural network based algorithm for classification of fault on transmission systems*, in: India Conference, 2008. INDICON 2008. Annual IEEE, Kanpur, India, Dec. 11-13, pp.206-211.
- 42 J. Upendar, C.P. Gupta and G.K. Singh, *Statistical decision-tree based fault classification scheme for protection of power transmission lines*, **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, 36:1 (2012) 1-12.
- 43 D. Das, N.K. Singh and A.K. Sinha, *A comparison of Fourier transform and wavelet transform methods for detection and classification of faults on transmission lines*, in:2006 IEEE Power India Conference, (2006), New Delhi, India, April. 10-12, pp. 7-pp.
- 44 E. Koley, R. Kumar and S. Ghosh, *Low cost microcontroller based fault detector, classifier, zone identifier and locator for transmission lines using wavelet transform and artificial neural network: A hardware co-simulation approach*, **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, 81 (2016) 346-360.
- 45 K. M. Lee, S. C. Choi, S. H. Yoon and C. W. Park, *A Study on Smart Fault Locator Based on Time-Synchronized Phasor*, **IFAC-PapersOnLine**, 49:27 (2016) 224-229.
- 46 S.P. Valsan and K.S. Swarup, *High-Speed Fault Classification in Power Lines: Theory and FPGA-Based Implementation*, **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 56:5 (2009) 1793-1800.
- 47 J. Ezquerro, V. Valverde, A. J. Mazon, I. Zamora and J. J. Zamora, *Field programmable gate array implementation of a fault location system in transmission lines based on artificial neural networks*, **IET Generation, Transmission & Distribution**, 5:2 (2011) 191-198.
- 48 W. Li, A. Monti and F. Ponci, *Fault Detection and Classification in Medium Voltage DC Shipboard Power Systems With Wavelets and Artificial Neural Networks*, **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, 63:11 (2014) 2651-2665.
- 49 Alternative Transients Program (ATP).(2015) <<http://www.emtp.org/>> (on-line access on 10 Jun, 2015).
- 50 W.S. Meyer, and T.H. Liu, *Alternative transients program (ATP) rule book*, Canadian/American EMTP User Group, 2000, 5-2.
- 51 Esra Karaer. "*Enerji iletim hattı parametrelerinin kestiriminin incelenmesi*" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Türkiye, 2005.
- 52 Kocatepe, C, *Enerji iletim hatlarının PSPICE ile analizi*, in: Elektrik Mühendisliği 5.Ulusal Kongresi, Trabzon, Türkiye, Eylül. 13-19, (1993), pp.1222-1248.
- 53 Şahin Haçemanayvalyan. "*Enerji iletim hatlarında arıza yerinin Belirlenmesi*" Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Türkiye, 2007.
- 54 F. H. Magnago and A. Abur, *Fault location using wavelets*, **IEEE Transactions**

- on Power Delivery, 13:4 (1998)1475-1480.
- 55 J. A. Jiang, J. Z. Yang, Y. H. Lin, C. W. Liu, and J. C. Ma, *An adaptive PMU based fault detection/location technique for transmission lines. I. Theory and algorithms*, **IEEE Transactions on Power Delivery**, 15:2 (2000) 486-493.
- 56 J. A. Jiang, C. S. Chen and C. W. Liu, *A new protection scheme for fault detection, direction discrimination, classification, and location in transmission lines*, **IEEE Transactions on power delivery**, 18:1 (2003) 34-42.
- 57 A. A. M. Zin, M. Saini, M. W. , Mustafa and A. R. Sultan, *New algorithm for detection and fault classification on parallel transmission line using DWT and BPNN based on Clarke's transformation*, **Neurocomputing**, 168 (2015) 983-993.
- 58 L. S. Martins, J. F. Martins, V. F. Pires and C. M. Alegria, *The application of neural networks and Clarke-Concordia transformation in fault location on distribution power systems*, in: Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE/PES, Yokohama, Japan, Oct. 6-10, (2002), pp.2091-2095.
- 59 L. S. Martins, J. F. Martins, C. M. Alegria and V. F. Pires, *A network distribution power system fault location based on neural eigenvalue algorithm*, in: Power Tech Conference Proceedings, Bologna, Italy, June. 23-26, (2003), pp. 6-pp.
- 60 X. Dong, W. Kong and T. Cui, *Fault classification and faulted-phase selection based on the initial current traveling wave*, **IEEE transactions on power delivery**, 24:2 (2009), 552-559.
- 61 C.Kocatepe, M. Uzunoğlu, R.Yumurtacı, A.Karakaş and Arıkan, O. Elektrik tesislerinde harmonikler. Birsen Yayınevi, İstanbul, 2003.
- 62 L. SARIBULUT, T. E. K. E. Ahmet and M. TÜMAY, *Fundamentals and literature review of Fourier transform in power quality issues*, **Journal of Electrical and Electronics Engineering Research**, 5:1 (2013) 9-22.
- 63 Özer Şenyurt. "Elektrik Tesislerinde Hızlı Fourier Dönüşümü ile Harmonik Analizinin Yapılması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Türkiye, 2006.
- 64 M. Chandrasekaran, M. Muralidhar, C. M. Krishna and U. S. Dixit , *Application of soft computing techniques in machining performance prediction and optimization: a literature review*, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 46:5 (2010) 445-464.
- 65 R. Ata, *Artificial neural networks applications in wind energy systems: a review*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 49 (2015) 534-562.
- 66 M. Jamil, S.K. Sharma, R. Singh, *Fault detection and classification in electrical power transmission system using artificial neural network*, **SpringerPlus**, 4:1 (2015) 334
- 67 G.-B. Huang, Q.-Y. Zhu and C.-K. Siew, *Extreme learning machine: Theory and applications*, **Neurocomputing**. 70:1 (2006) 489-501.
- 68 V. Malathi, N.S. Marimuthu and S. Baskar, *Intelligent approaches using support vector machine and extreme learning machine for transmission line protection*, **Neurocomputing**. 73:10 (2010) 2160-2167.
- 69 S. Ding, X. Xu and R. Nie, *Extreme learning machine and its applications*, **Neural Computing and Applications**, 25:3-4 (2014) 549-556.
- 70 Y. Wang, F. Cao and Y. Yuan, *A study on effectiveness of extreme learning machine*, **Neurocomputing**, 74:16 (2011) 2483-2490.
- 71 S. Vijayarani and M. Muthulakshmi, *Comparative analysis of bayes and lazy classification algorithms*, **International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering**, 2:8 (2013) 3118-3124.
- 72 T.M. Khoshgoftar, M. Golawala and J.V. Hulse, *An Empirical Study of Learning from Imbalanced Data Using Random Forest*, in: 19th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), Patras, Greece, Oct. 29-31, (2007), pp.310-317.
- 73 J. D. Rennie, L. Shih, J. Teevan and D.R. Karger, *Tackling the poor assumptions of naive bayes text classifiers*, in: Proceedings of the 20th International

- Conference on Machine Learning, 2003, pp. 616-623.
- 74 Weka classifiers summary. (2013). http://www.academia.edu/5167325/Weka_Classifiers_Summary (on-line access on 21 Nov, 2013).
- 75 S. Choudhury and A. Bhowal. *Comparative analysis of machine learning algorithms along with classifiers for network intrusion detection*, in: 2015 International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM), Chennai, India , May. 6-8, (2015), pp.89-95.
- 76 J. Platt, *Sequential minimal optimization: A fast algorithm for training support vector machines*, (1998).
- 77 J. Ali, R. Khan, N. Ahmad and I. Maqsood, *Random forests and decision trees*, **IJCSI International Journal of Computer Science Issues**, 9:5 (2012) 1-7.
- 78 T.C. Sharma and M. Jain, *WEKA approach for comparative study of classification algorithm*, **International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering**, 2:4 (2013) 1925-1931.
- 79 J. Quinlan, *C4. 5: Programs for Machine Learning. C4. 5-programs for machine learning*, Morgan Kaufmann Publishers 1993.
- 80 T.R. Patil and S. Sherekar, *Performance analysis of Naive Bayes and J48 classification algorithm for data classification*, **International Journal of Computer Science and Applications**, 6:2 (2013) 256-261.
- 81 L. Breiman, *Random Forests*, **Machine Learning**, 45:1 (2001) 5-32.
- 82 L. Guo, Y. Ma, B. Cukic and H. Singh, *Robust prediction of fault-proneness by random forests*, in: 15th International Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE), Bretagne, France, Nov. 2-5, (2004), pp.417-428.
- 83 W. W. Cohen, *Fast effective rule induction*. in: Proceedings of the twelfth international conference on machine learning, (1995), pp. 115-123.
- 84 E. Frank and I.H. Witten, *Generating accurate rule sets without global optimization*, University of Waikato, Department of Computer Science, 1998.
- 85 W.N.H.W. Mohamed, M.N.M. Salleh and A.H. Omar, *A comparative study of Reduced Error Pruning method in decision tree algorithms*, in: 2012 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering, (2012), Penang, Malaysia, Nov. 23-25, pp.392-397.
- 86 J.R. Marti, *Accurate Modeling of Frequency-Dependent Transmission-Lines in Electromagnetic Transient Simulations*, **Ieee Transactions on Power Apparatus and Systems**, 101:1 (1982) 147-157.
- 87 A. Abur, O. Ozgun, F.H. Magnago, *Accurate modeling and simulation of transmission line transients using frequency dependent modal transformations*, in: Ieee Power Engineering Society Winter Meeting, Conference Proceedings, OH, USA, 28 Jan.-1 Feb, (2001), pp. 1443-1448.
- 88 W.D. Stevenson, *Elements of power system analysis*, McGraw Hill, New York, 1989.
- 89 S.Hageman, *The practicing instrumentation engineer's guide to the DFT - Part 2: Spectral leakage and windowing*, 2002.
- 90 R. Grunbaum and J. Samuelsson, *Series capacitors facilitate long distance AC power transmission*, in: Power Tech, 2005 IEEE Russia, St. Petersburg, Russia, June 27-30, (2005), pp. 1-6.
- 91 A. Damnjanovic, D. Dayton and G. Ferguson, *Assessment modeling of series capacitors protected by Metal Oxide Varistors in power system studies*, in: Power Engineering Society General Meeting IEEE, FL, USA, June. 24-28, (2007), pp. 1-5.
- 92 B. Vyas, R.P. Maheshwari and B. Das, *Protection of series compensated transmission line: Issues and state of art*, **Electric Power Systems Research**, 107 (2014) 93-108.
- 93 M. Al-Dabbagh and S.K. Kapuduwage, *Using instantaneous values for estimating fault locations on series compensated transmission lines*, **Electric**

- Power Systems Research**, 76:(1–3) (2005) 25-32.
- 94 Joshi, H. M., and N. H. Kothari, *A review on series compensation of transmission lines and its impact on performance of transmission lines*, **Int J Eng Dev Res**, (2014) 72-76.
- 95 G. Sybille and H. Le-Huy, Digital simulation of power systems and power electronics 18 using the MATLAB/Simulink Power System Blockset. in: *IEEE 2000 Power 19 Engineering Society Winter Meeting*; 23-27 Jan 2000; Singapore, Singapore. pp.2973- 20 2981.
- 96 S.B. Aher and L. Lobo, *Data mining in educational system using Weka*, in: *IJCA Proceedings on International Conference on Emerging Technology Trends (ICETT)*, (2011), pp.20-25.
- 97 Z. Markov and I. Russell, *An introduction to the WEKA data mining system*, **ACM SIGCSE Bulletin**, 38:3 (2006) 367-368.
- 98 A. Malinowski and H. Yu, *Comparison of Embedded System Design for Industrial Applications*. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, 7:2 (2011) 244-254
- 99 J. Travis and L.K. Wells, *LabVIEW for Everyone with Cdrom*, Prentice Hall PTR, USA, 2001.
- 100 C. Elliott, V. Vijayakumar, W. Zink and R. Hansen, *National instruments LabVIEW: a programming environment for laboratory automation and measurement*, **Journal of the Association for Laboratory Automation**, 12:1 (2007) 17-24.
- 101 National Instruments. (2014). <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-100> (on-line access on 11 June, 2014).
- 102 Texas Instruments. (2016). <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320f28232.pdf> (on line access on 01 October 2016).
- 103 Texas Instruments, TMS320F2823x Digital Signal Controllers (DSCs), 2016.

10. EKLER

YÜRÜYEN DALGA FREKANSLARINI GÖRÜNTÜLEYEN MATLAB KODU

```
Ts=0.0390625e-3;
Fs = 1/Ts;          % Örnekleme frekansı fs

v=293420;
uz=600;
tr=round(v/(2*uz));

ee=length(c_X0003A_X0005A);
for dd=1:1:ee;
    s(1,dd)=c_X0003A_X0005A(dd,1);
    s1(1,dd)=c_X0003B_X0005B(dd,1);
    s2(1,dd)=c_X0003C_X0005C(dd,1);
end

x1=s;
x2=s1;
x3=s2;

x1=x1.*hanning(length(x1)); %Hanning pencereleme
x1=[x1 zeros(1, 1535)];    %Zero padding

x2=x2.*hanning(length(x2)); %Hanning pencereleme
x2=[x2 zeros(1, 1535)];    %Zero padding

x3=x3.*hanning(length(x3)); %Hanning pencereleme
x3=[x3 zeros(1, 1535)];    %Zero padding

nfft = length(x1);        %işleyeceğin değer sayısına göre değişir

X1 = fft(x1);             %x sinyalinin nfft ye göre hızlı fourier dönüşümü alınır

X1 = X1(1:nfft/2);        % fft yansıma yaptığından bu yansımayı engellemek için
yarı sinyal elenir.

mx1 = abs(X1)/(length(t)/2);

nfft = length(x2);        %işleyeceğin değer sayısına göre değişir

X2 = fft(x2);             %x sinyalinin nfft ye göre hızlı fourier dönüşümü alınır

X2 = X2(1:nfft/2);        % fft yansıma yaptığından bu yansımayı engellemek için
yarı sinyal elenir.
```

```

mx2 = abs(X2)/(length(t)/2);

nfft = length(x3);           %işleyeceğin değer sayısına göre değişir

X3 = fft(x3);               %x sinyalinin nfft ye göre hızlı fourier dönüşümü alınır

X3 = X3(1:nfft/2);         % fft yansıma yaptığından bu yansımayı engellemek için
                            % yarı sinyal elenir.

mx3 = abs(X3)/(length(t)/2);

mx=mx1 +mx2+mx3;

f = (0:nfft/2-1)*Fs/nfft;   %frekans bileşenleri hesaplanır.

b=[mx;f];
n = length(f);

pp=1;                       %taramabaslatcakyeribelirlmek için
for p=1:1:n;
    if b(2,pp)>tr
        ff=(pp-1);
    else
        pp=pp+1;
    end;
end

mx1 = mx(ff:nfft/2);
f1 = (ff-1:nfft/2-1)*Fs/nfft;

figure(1);
plot(f1,mx1);
title('Sinyalin frekans spekturmu');
xlabel('Frekans (Hz)');
ylabel('Genlik');

```

11. ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyadı: Düzgün AKMAZ

Doğum Yeri ve Tarihi: Tunceli-20.11.1985

Adres: Munzur Üniversitesi-Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümü

E-Posta: dakmaz@munzur.edu.tr

Lisans: Mustafa Kemal Üniversitesi-Elektrik-Elektronik Müh-2008

Yüksek Lisans: Munzur Üniversitesi-Elektrik ve Elektronik Mühendisliği-2011

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

PROJE: İletim hatlarında arıza noktasının geçici rejim frekans domeni analizi ile belirlenmesi arıza sınıflandırma DSP uygulaması ve GPS ile arıza noktasını görüntüleme, TÜBİTAK 1001 BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA PROJELERİ DESTEKLEME PROGRAMI, PROJE NO: 114E152 (DOKTORA BURSİYERİ).

Uluslararası SCI indekslerde taranan makaleler:

1. Akmaz, D., et al. “Fault location determination for transmission lines with different series compensation levels using transient frequencies”, Turkish Journal Of Electrical Engineering & Computer Sciences , DOI: 10.3906/elk-1606-180.
2. Akmaz, D., et al. “Transmission line fault location using traveling wave frequencies and extreme learning machine ”. Electric Power Systems Research, DOI: 10.1016/j.epsr.2017.09.019.

Uluslar Arası Bildiriler

1. Akmaz, D., et al., *Travelling-wave based fault distance estimation for series compensated transmission lines using EMTP-ATP*, in *EEUG European EMTP-ATP Conference 2015*. 2015: Grenoble, France p. 151-161.
2. Akmaz, D, Mamiş, M.S, *Classification of Short Circuit Faults Occurring in Transmission Lines by Using Transient Current Signals, J48 And Naïve Bayes Machine Learning Algorithms*, in *International Conferance on Advances and Innovations in Engineering (ICAIE)*, Elazığ, 2017.
3. Akmaz, D, Mamiş, M.S, “*Classification of Short Circuit Faults in Transmission Lines Using Different Machine Learning Algorithms and Transient Regime Current Signals* ”in *International Advanced Technology Symposium (IATS)*, Elazığ, 2017.
4. Akmaz, D, et al, “*Series Compensation with Constant Capacitors in Transmission Lines*” in *International Advanced Technology Symposium (IATS)*, Elazığ, 2017.
5. Akmaz, D, Mamiş, M.S, “*Bayes, Lazy, Trees, Rules Class Machine Learning Algorithms*” in *2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC)*, Adana, 2017.
6. Akmaz, D, Mamiş, M.S, “*Completed Works for Determining Failure Type in Transmission Lines*” in *2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC)*, Adana, 2017.

Ulusal Bildiri

1. Akmaz, D., et al. *Fault location on series compensated power transmission lines using transient spectrum*. in *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 23th Malatya*. 2015.