GELİŞTİRİLMİŞ RASTGELE VEKTÖR İŞLEVSEL BAĞLANTI AĞLARI İLE DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE ARIZA TÜRÜ VE YERİNİN TESPİTİ

CEM HAYDAROĞLU

ARALIK 2022

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GELİŞTİRİLMİŞ RASTGELE VEKTÖR İŞLEVSEL BAĞLANTI AĞLARI İLE DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE ARIZA TÜRÜ VE YERİNİN TESPİTİ

CEM HAYDAROĞLU

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA
DOKTORA TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

ARALIK 2022

DİYARBAKIR

GELİŞTİRİLMİŞ RASTGELE VEKTÖR İŞLEVSEL BAĞLANTI AĞLARI İLE DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE ARIZA TÜRÜ VE YERİNİN TESPİTİ

Cem HAYDAROĞLU tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Elektrik–Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ
Danışman, **Elektrik–Elektronik Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi**

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Davut HANBAY **(*)**
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ **(**)**
Elektrik–Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. İbrahim KAYA
Elektrik–Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. M. Temel ÖZDEMİR
Elektrik–Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Fırat Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi M. Emin ASKER
Elektrik–Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Dicle Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 20 / 12 / 2022

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.
(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Annem Nurcan, Babam Medet, Kardeşim Dilan'a…

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılayıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Cem HAYDAROĞLU

İmza: …….……

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın, hazırlanması boyunca bilgi ve birikimlerini içtenlikle paylaşan, yardımlarını ve anlayışını esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ'e teşekkür ederim. TİK üyelerim Prof. Dr. İbrahim KAYA ve Doç. Dr. M. Temel ÖZDEMİR'e bu tezin daha nitelikli bir hale gelmesi için yaptıkları eleştiri ve önerileri için teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince kıymetli desteklerini gördüğüm Dr. Öğr. Üyesi Heybet KILIÇ'a, Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin ACAR'a, Arş. Gör. Ahmet TOP'a, Öğr. Gör. Dr. Ertuğrul GÜL'e teşekkür ederim.

Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (DÜBAP), DÜBAP- 20.002 proje numarası ile tez çalışması için sağladıkları finansal destek için teşekkür ederim.

En önemlisi, bu süreçte her daim yanımda olan anneme, babama ve kız kardeşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
ŞEKİLLER LİSTESİ viii
TABLOLAR LİSTESİ x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ xii
ÖZET xiv
ABSTRACT xvi
1. GİRİŞ 1
1.1 Motivasyon 1
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı 5
1.3 Tezin Katkısı 6
1.4 Tezin Yapısı 7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 9
3. MATERYAL VE METOT 21
3.1 Dağıtım Sistemindeki Arızalar 21
3.1.1 Açık devre arızası 22
3.1.2 Kısa devre arızası 23
3.1.2.1 Simetrik arıza 23
3.1.2.2 Asimetrik arıza 24
3.2 Öznitelik Vektörlerinin Elde Edilmesi 25
3.3 RVFL Ağ Modelinin Oluşturulması 27
3.3.1 M-tahmini tabanlı gürbüz RVFLN algoritması 29
3.3.1.1 Tek çıkışlı M-RVFLN 29
3.3.1.2 Çok çıkışlı M-RVFLN 31
3.3.1.3 Cauchy dağılım ağırlıklandırma M-RVFLN 32
3.3.2 Düzenlenmiş RVFLN algoritması 34

3.3.3 Gürbüz düzenlenmiş RVFLN algoritması 35
3.3.4 Online (çevrimiçi) gürbüz düzenlenmiş RVFLN algoritması 39
3.4 Verilere Aykırı Değerler Eklenmesi 43
3.5 Gerçek Zamanlı Dijital Simülatör (RTDS) 44
3.6 IEEE 33-Baralı Sistem 45
3.7 IEEE 39-Baralı Sistem 48
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 53
4.1 IEEE 33-baralı Simülasyon Sonuçları 53
4.1.1 Gürültü ve aykırı değerler eklenmemiş veriler ile arıza tespiti 55
4.1.2 Gürültü ve aykırı değerler eklenmiş veriler ile arıza tespiti 59
4.2 IEEE 39-baralı Simülasyon Sonuçları 64
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 89
KAYNAKLAR 96
ÖZGEÇMİŞ 107

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Batı Balkan ülkelerinin 2018 yılı dağıtım kayıpları 3
Şekil 3.1 Dağıtım sisteminde meydana gelen arıza tipleri 22
Şekil 3.2 Açık devre arızası 22
Şekil 3.3 a) 3 faz-toprak arızası 23
Şekil 3.3 b) 3 faz-faz arızası 23
Şekil 3.4 Tek faz-toprak arızası 24
Şekil 3.5 İki faz-toprak arızası 25
Şekil 3.6 Faz-faz arızası 25
Şekil 3.7 RVFLN yapısı 27
Şekil 3.8 Cauchy M-RVFLN algoritması akış şeması 33
Şekil 3.9 Gürbüz düzenlenmiş RVFLN algoritması akış şeması 38
Şekil 3.10 Online gürbüz düzenlenmiş RVFLN algoritması akış şeması 43
Şekil 3.11 IEEE 33-baralı dağıtım sistemi 46
Şekil 3.12 IEEE 39-baralı dağıtım sistemi 48
Şekil 4.1 IEEE 33-baralı sistemin RSCAD modeli 55
Şekil 4.2 Tek faz-toprak arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları 56
Şekil 4.3 İki faz-toprak arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları 57
Şekil 4.4 Faz-faz arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları 58
Şekil 4.5 Üç faz arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları 59
Şekil 4.6 Gürültü eklenmiş verilerde tek faz-toprak arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları 60
Şekil 4.7 Gürültü eklenmiş verilerde iki faz-toprak arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları 61
Şekil 4.8 Gürültü eklenmiş verilerde faz-faz arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları 62
Şekil 4.9 Gürültü eklenmiş verilerde üç faz arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları 63
Şekil 4.10 IEEE 39-baralı sistemin RSCAD modeli 65

Şekil 4.11 Tek faz-toprak arızasında yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedansları için değişimi 66
Şekil 4.12 İki faz-toprak arızasında yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedansları için değişimi 68
Şekil 4.13 Faz-faz arızasında yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedansları için değişimi..... 69
Şekil 4.14 Üç faz arızasında yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedansları için değişimi..... 71
Şekil 4.15 Gürültülü veriler için tek faz-toprak arızasında farklı yöntemlerle yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedanslarında karşılaştırılması..... 73
Şekil 4.16 Gürültülü veriler için iki faz-toprak arızasında farklı yöntemlerle yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedanslarında karşılaştırılması..... 76
Şekil 4.17 Gürültülü veriler için faz-faz arızasında farklı yöntemlerle yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedanslarında karşılaştırılması..... 79
Şekil 4.18 Gürültülü veriler için üç faz arızasında farklı yöntemlerle yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedanslarında karşılaştırılması..... 82
Şekil 4.19 IEEE 39-baralı sistem tek faz-toprak arızasında arızayı tespit başarım oranları 84
Şekil 4.20 IEEE 39-baralı sistem iki faz-toprak arızasında arızayı tespit başarım oranları 85
Şekil 4.21 IEEE 39-baralı sistem faz-faz arızasında arızayı tespit başarım oranları . 86
Şekil 4.22 IEEE 39-baralı sistem üç faz arızasında arızayı tespit başarım oranları... 87

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 2011-2020 yılları arasında meydana gelen arızaların değişimi (%) 2
Tablo 1.2 2016-2020 yılları arasında ülkelerin dağıtım kayıpları üretim miktarına göre değişimi (%) 3
Tablo 3.1 IEEE 33-baralı sistemin yük parametreleri 46
Tablo 3.2 IEEE 33-baralı sistemin iletim parametreleri 47
Tablo 3.3 IEEE 39-baralı sistemin generatör parametreleri 49
Tablo 3.4 IEEE 39-baralı sistemin transformatör parametreleri 49
Tablo 3.5 IEEE 39-baralı sistemin iletim hattı parametreleri 50
Tablo 3.6 IEEE 39-baralı sistemin yük parametreleri 51
Tablo 4.1 IEEE 33-baralı sistemin RSCAD simülasyon parametreleri 53
Tablo 4.2 Özelliklerin arıza türü tespitindeki başarım oranlarının farklı arıza türleri karşılaştırılması 54
Tablo 4.3 Cauchy M-RVFLN başarım oranları (%) 54
Tablo 4.4 Yöntemlerin eğitim ve test sürelerinin karşılaştırılması 64
Tablo 4.5 Tek faz-toprak arızasında farklı mesafe kategorilerinde oluşan her yüz kısa devrede hatalı tespit edilen arıza yerinin sayılarının dağılımı 66
Tablo 4.6 İki faz-toprak arızasında farklı mesafe kategorilerinde oluşan her yüz kısa devrede hatalı tespit edilen arıza yerinin sayılarının dağılımı 67
Tablo 4.7 Faz-faz arızasında farklı mesafe kategorilerinde oluşan her yüz kısa devrede hatalı tespit edilen arıza yerinin sayılarının dağılımı 69
Tablo 4.8 Üç faz arızasında farklı mesafe kategorilerinde oluşan her yüz kısa devrede hatalı tespit edilen arıza yerinin sayılarının dağılımı 70
Tablo 4.9 Tek faz-toprak arızası için farklı yöntemlerin arıza yeri tespit performanlarının karşılaştırılması 72
Tablo 4.10 Tek faz-toprak arızasında farklı yöntemlere göre yapılan minumum ve maksimum mesafe tespit hatası 73
Tablo 4.11 İki faz-toprak arızası için farklı yöntemlerin arıza yeri tespit performanlarının karşılaştırılması 75
Tablo 4.12 İki faz-toprak arızasında farklı yöntemlere göre yapılan minumum ve maksimum mesafe tespit hatası 77

Tablo 4.13 Faz-faz arızası için farklı yöntemlerin arıza yeri tespit performanslarının karşılaştırılması 78
Tablo 4.14 Faz-faz arızasında farklı yöntemlere göre yapılan minumum ve maksimum mesafe tespit hatası 79
Tablo 4.15 Üç faz arızası için farklı yöntemlerin arıza yeri tespit performanlasrının karşılaştırılması 81
Tablo 4.16 Üç faz arızasında farklı yöntemlere göre yapılan minumum ve maksimum mesafe tespit hatası 82
Tablo 4.17 IEEE 39-baralı sistemde ORR-RVFLN yönteminin farklı arıza empedanslarında gürültülü ve gürültüsüz veriler için başarım oranı (%) 88
Tablo 4.18 IEEE 39-baralı sistemde Cauchy M-RVFLN yönteminin farklı arıza empedanslarında gürültülü ve gürültüsüz veriler için başarım oranı (%) 88
Tablo 5.1 Literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılması 94

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
H	Atalet Sabiti
x'd	d-ekseni Alt Geçici Reaktans
xd	d-ekseni Reaktans
xq	q-ekseni Reaktans
x'q	q-ekseni Alt Geçici Reaktans
xl	Reaktans
T'do	Açık Devre d-ekseni Geçici Zaman Sabiti
T'qo	Açık Devre q-ekseni Geçici Zaman Sabiti
B1	Pozitif Dizi Kapasitif Duyarlılık Süseptans
X1	Pozitif Dizi Endüktif Reaktans
R1	Pozitif Dizi Direç
B0	Sıfır Dizi Kapasitif Duyarlılık Süseptans
X0	Sıfır Dizi Endüktif Reaktans
R0	Sıfır Dizi Direç

Kısaltma	Açıklama
ENTSO-E	The European Network of Transmission System Operators for Electricity
CEER	Council of European Energy Regulators
IEA	International Energy Agency
WB6	Western Balkans 6
CEEC-11	Central and Eastern European Countries
SEM	Avrupa birliğine üye olan 28 ülke
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
PV	Fotovoltaik Sistemler
HIF	Yüksek Empedans Arızası

RTDS	Real Time Digital Simulator
RSCAD	Real-Time Simulation Software Package
RVFLN	Random Vector Functional Link Networks
Cauchy-M-RVFLN	Cauchy Distribution Weighting M-estimation RVFLN
R-RVFLN	Regularized RVFLN
RR-RVFLN	Robust Regularized RVFLN
ORR-RVFLN	Online Robust Regularized RVFLN
ANN	Artificial Neural Networks
SVM	Support Vector Machine
ELM	Extreme Learning Machine
CNN	Convolutional Neural Network
LSTM	Long Short Term Memory
NKDE	Non-Parametric Kernel Density Estimation

ÖZET

GELİŞTİRİLMİŞ RASTGELE VEKTÖR İŞLEVSEL BAĞLANTI AĞLARI İLE DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE ARIZA TÜRÜ VE YERİNİN TESPİTİ

Haydaroğlu, Cem
Doktora, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü
Danışman: Doç. Dr. Bilal Gümüş
Aralık 2022, 126 sayfa

Arıza tespiti, yapısı giderek karmaşıklaşan elektrik iletim ve dağıtım şebekelerinde önemli bir konudur. Bu tez çalışmasında iletim ve dağıtım hatlarının önemli bir sorunu olan kısa devre arızalarının ve arıza yerlerinin tespitinde rastgele vektör işlevsel bağlantı ağları (RVFLN) tabanlı iki yöntem olan Cauchy ağırlıklandırma M-tahmini RVFLN (Cauchy-M-RVFLN) ve online gürbüz düzenlenmiş RVFLN (ORR-RVFLN) yöntemleri önerilmiştir. Önerilen yöntemlerin arıza tespit performansı analiz edilmiş, klasik makine öğrenme yöntemleri ile ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yöntemlerin performanslarının analizi gerçek zamanlı sayısal simülatörde (RTDS) yapılan simülasyonlar sonucu elde edilen veriler yardımıyla yapılmıştır. Simülasyon modeli olarak IEEE 33 ve IEEE 39-baralı sistemlerin gerçek zamanlı simülasyon yazılım paketi olan RSCAD kullanılarak geliştirilen modelleri kullanılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak tez çalışmasında, arıza ve arıza yeri tespitinde kullanılacak altı yeni öznitelik vektörü geliştirilmiştir. Geliştirilen altı yeni öznitelik vektörünün yüksek empedanslı kısa devre hatalarının tespit doğruluğunu yaklaşık %10 oranında artmasına katkı sunmakta olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında gerçek sistemlere yakınlığın sağlanması için elde edilen verilere gürültü eklenerek yöntemlerin performansı test edilmiştir. Önerilen yöntemler, dağıtım veya iletim sisteminin sadece sekiz barasından alınan akım ve gerilim verileri ile tespit yapabilmektedir. Farklı kısa devre arızaları için 0, 30, 50 ve 100 ohm'luk dört farklı hata empedans değeri ile baradan uzaklığı 0-50, 50-100, 100-150, 150-200, 250-300, 350-400 ve >400 m olan yedi farklı mesafe kategorisinde oluşturulan çok sayıda durum için elde edilen verilerle yöntemlerin performansları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen ORR-RVFLN ve Cauchy-M-RVFLN yöntemlerinin arıza türü tespitini, arıza türleri, hata empedansları ve gürültü değerlerine bağlı olarak %100 ile %80 doğrulukla tespit edebildiğini göstermektedir. Önerilen yöntemler RVFLN, evrişimsel sinir ağları (CNN), uzun kısa süreli bellek (LSTM), destek vektör makinesi (SVM) ve aşırı öğrenme makinesi (ELM) yöntemlerinden daha yüksek doğrulukla arıza tespiti yapabilmiştir. Arıza yeri tespitinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde arıza yer tespitinin hata sayısının, hata empedansı arttıkça yükseldiği ve baraya olan mesafe arttıkça da azaldığı tespit edilmiştir. En çok hatalı yer tespitinin baraya en yakın mesafe olan 0-50 m aralığında olduğu görülmüştür. Sonuçlar yöntemin 400 m'den uzak mesafelerdeki arıza yerini %90'nın üzerinde doğrulukla doğru olarak tespit ettiğini göstermektedir. Önerilen iki yöntem birbirleriyle karşılaştırıldıklarında, ORR-RVFLN yönteminin Cauchy-M-RVFLN yönteminden %3 ile %8 oranında daha iyi arıza tespit başarımına sahip olduğu görülmektedir. Tüm sonuçlar göz önüne

alındığında önerilen ORR-RVFLN yönteminin arıza türü ve arıza yeri tespitinde en başarılı yöntem olduğu ortaya çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: RVFLN; Online Gürbüz Düzenlenmiş RVFLN; Cauchy M-tahmini RVFLN; IEEE 33-bara modeli; IEEE 39-bara modeli; RTDS; RSCAD

ABSTRACT

FAULT TYPE AND LOCATION DETECTION IN DISTRIBUTION NETWORKS WITH IMPROVED RANDOM VECTOR FUNCTIONAL LINK NETWORKS

Haydaroğlu, Cem
Ph.D Thesis, in Department of Electrical-Electronic Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bilal Gümüş
December 2022, 126 pages

Fault detection is an important subject in increasingly complex electrical transmission and distribution systems. In the present dissertation study, two methods based on random vector functional link networks (RVFLN), Cauchy weighting M-estimation RVFLN (Cauchy-M-RVFLN) and online robust regularized RVFLN (ORR-RVFLN) methods, are proposed for the detection of short circuit faults and fault locations, which are a major problem of transmission and distribution systems. The fault detection performances of the proposed methods were analyzed and compared with those of conventional machine learning methods and with each other. The performances of methods were analyzed with data obtained from simulations on a real-time digital simulator (RTDS). As a simulation model, IEEE 33 and IEEE 39-bus systems developed on RSCAD, a real-time simulation software package, were used. Different from studies in the literature, this dissertation study introduces six new feature vectors to be used in the detection of faults and fault locations. It was detected that these newly constructed feature vectors contributed to increasing the detection accuracy of high-impedance short circuit faults by about 10%. In addition, the performances of methods were tested by adding noise to data in order to achieve similarity to real systems. The proposed methods can detect faults with current and voltage data retrieved from only eight buses of the transmission and distribution system. The performances of methods were analyzed with data obtained for a large number of conditions including four different fault impedance values for different short-circuit faults which were 0, 30, 50 and 100 ohm and seven different distances from the bus which were 0-50, 50-100, 100-150, 150-200, 250-300, 350-400 and >400 m. Results showed that the proposed ORR-RVFLN and Cauchy-M-RVFLN methods detected the faults with 100% and 80% accuracies depending on the fault type, fault impedances and noise values. The proposed methods were able to perform fault detection with higher accuracy than RVFLN, convolutional neural networks (CNN), long short-term memory (LSTM), support vector machine (SVM) and extreme learning machine (ELM) methods. Results regarding the detection of fault locations showed that the number of erroneous fault location detections increased with higher fault impedance and decreased with longer distance from the bus. It was observed that the most erroneous detections of fault locations occurred in 0-50 m range which was the shortest distance from the bus. Study results demonstrated that the method detected the fault locations farther than

400 m with an accuracy of over 90%. When the proposed methods were compared with each other, the ORR-RVFLN method had a better fault detection performance than the Cauchy-M-RVFLN method by 3% and 8%. In the light of all these results, we can conclude that the proposed ORR-RVFLN method is the most successful method for the detection of faults and fault locations.

Keywords: RVFLN; Online Robust Regularized RVFLN; Cauchy M-estimate RVFLN; IEEE 33-bus model; IEEE 39-bus model; RTDS; RSCAD

1. GİRİŞ

1.1 Motivasyon

Güç sistemleri temel olarak 3 ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar elektriğin üretildiği üretim sistemleri, elektriğin üretim yerlerinden tüketim merkezlerine taşındığı iletim sistemleri ve kullanıcıların şebekeye bağlı olduğu dağıtım sistemleridir [1]. Dağıtım sistemleri, son kullanıcıya elektriğin güvenli ve kaliteli ulaşmasını sağlayan kısımdır [2]. Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları, elektrikli araçların ve elektrik enerjisi depolama sistemlerinin dağıtım sistemlerine bağlanması ile dağıtım sistemleri oldukça karmaşık hale gelmiştir [3,4]. Dağıtım sistemleri bu karmaşık ağ yapısı nedeniyle oldukça yoğun işletmeler olarak kabul edilmektedir. Güç sistemlerindeki arızaların %80'i dağıtım sistemlerinde meydana gelir [5]. Bu durumdan yola çıkarak dağıtım sistemleri güç sistemlerinde meydana gelen arızaların ve hizmet kesintilerin ana kaynağı olarak düşünülebilir. Bir diğer yandan dağıtım sistemlerinde oluşan arızalara tüketiciler doğrudan maruz kalmaktadır. Dağıtım sistemlerinde meydana gelen arızalar uzun süren elektrik kesintisine, can kaybına, ekipman ve mülk hasarına, endüstrinin durmasına ve ekonomik zarara neden olurlar.

Dağıtım sistemlerinde meydana gelen arızalar ülke ekonomilerine de zarar vermektedir. Bu ekonomik etkiler üzerine çeşitli raporlar hazırlanmaktadır. Örneğin, Avrupa Elektrik İletim Sistemi Operatörleri Ağının (ENTSO-E) 2020 yılında yayımladığı rapora göre Baltık ve İskandinav ülkelerinde toplam 1589 arıza meydana gelmiş ve bu arızlardan dolayı 2257,2 MWh'lık bir enerji arzı kaybı söz konusu olmuştur. Bu enerji miktarı Baltık ve İskandinav ülkelerinde 2020 yılında tüketilen enerji miktarının %5,3'üne karşılık gelmektedir. Söz konusu Baltık ve İskandinav ülkelerinin elektrik sisteminde oluşan arızaların %55,125'ü dağıtım sisteminde olan hatalardan kaynaklanmaktadır [6]. Ayrıca aynı raporda Tablo 1.1'de görülebileceği üzere 2011-2020 yıları arasında meydana gelen arızaların güç sistemin hangi bileşeninde meydana geldiği de verilmiştir. Tablo 1.1'de verilen değerlerde Litvanya ve Letonya verileri 2012-2020 yılları arasındaki değerleri kapsamaktadır. Tablo 1.1'de verilen güç sisteminde meydana gelen arızaların çoğu yer altı iletim, yer üstü iletim ve dağıtım hatlarında meydan gelmektedir. Sadece İzlanda da meydana gelen arızaların çoğu diğer güç sistemi elemanları arasında, yaklaşık olarak eşit şekilde dağılmıştır. Bu sonuçlar dağıtım hatlarının çok önemli bir arıza kaynağı olduğunu göstermektedir.

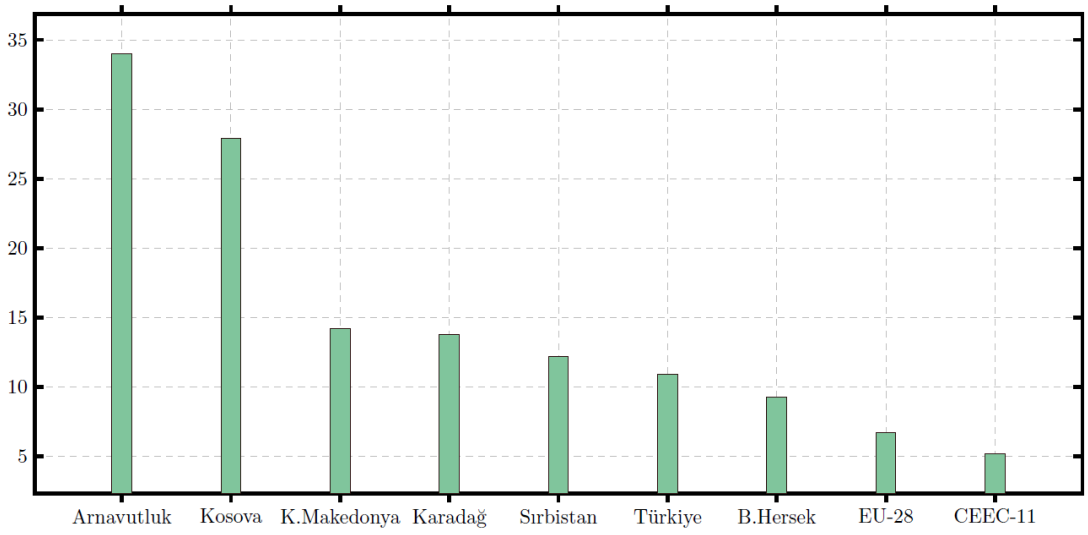
Tablo 1.1 2011-2020 yılları arasında meydana gelen arızaların değişimi (%) [6]

	Hatlar	Trafo Merkezi Bileşenleri	Kompansatör Bileşenleri	Diğer
Estonya	58	30	2	10
Letonya*	67	23	1	9
Litvanya*	67	20	0	12
Danimarka	50	37	5	8
Finlandiya	81	13	2	4
İzlanda	34	29	2	36
Norveç	50	41	7	1
İsveç	64	25	6	8

* Veriler 2012-2020 yılları arasındaki değerleri kapsamaktadır.

Avrupa Enerji Düzenleyicileri Konseyi'nin (CEER) 2020 yılı elektrik kayıpları raporuna göre 18 Avrupa ülkesi 2012 ve 2018 yılları arasında %2 ile %9 arasında değişen elektrik dağıtım sistemi elektrik kayıplarına sahiptir [7]. 2021'de yayınlanan elektrik güvenliği raporu, ABD'de hanelerin elektrik kesintileri nedeniyle kW başına 15,90 dolarlık bir maliyete maruz kaldığını göstermiştir [8]. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından hazırlanan "Güç Sistemi Güvenliğinin Güçlendirilmesi: Bir Yol Haritası" raporuna göre 2019'da Kırgızistan'da dört dağıtım şirketinde yıllık ortalama %12,3'lük bir enerji kaybı söz konusudur [9]. Bu da tüketicilere %4'lük oranında ilave yıllık maliyet yükü getirmiştir.

Şekil 1.1'de Batı Balkan (WB-6) ülkelerinin 2018 yılı dağıtım sistemi kayıplarını göstermektedir. Bu kayıplar 2018 yılı Orta ve Doğu Avrupa ülkeleri (CEEC-11) ile Avrupa birliğine üye olan yirmi sekiz ülkenin (EU-28) dağıtım sistemi kayıplarının ortalaması ile karşılaştırılmıştır. Bu verilere göre dağıtım sistem kayıpları Arnavutluk'ta %35, Bosna ve Hersek'te %10 ve Türkiye %11 oranındadır. Bu değerler, dağıtım sistemi kayıpları sırasıyla %6,7 ve %5,2 olan AB-28 ve CEEC-11 ülkelerinin ortalama değerlerinin oldukça üzerindedir [10]. Bu kayıplar, şirketler için maliyet ve riski temsil ettiğinden, WB-6 ülkelerinin ekonomik rekabet edebilirliği için zararlıdır.



*EU-28 ve CEEC-11 ülkelerine Bulgaristan ve Romanya dâhil edilmemiştir.

Şekil 1.1 Batı Balkan ülkelerin 2018 yılı dağıtım kayıpları [10]

Uluslararası Enerji Ajansının 2022 yılında yayınladığı elektrik sistem bilgileri ile ilgili rapora göre dağıtım sistem kayıplarının yıllık elektrik üretimindeki payları Tablo 1.2'de verilmiştir. Tablo 1.2'de 2016-2020 yılları arasında dağıtım kayıplarının değişimi gösterilmiştir. Tablo 1.2 dikkatli incelendiğinde Türkiye'nin dağıtım sistem kayıpları yıllara göre kayıp miktarı düşmesine rağmen hala Avrupa Birliği ve OECD ülkeleri ortalamasının üzerinde bulunmaktadır [11].

Tablo 1.2 2016-2020 yılları arasında ülkelerin dağıtım kayıpları üretim miktarına göre değişimi (%) [11]

	2016	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Almanya	4,19	4,36	4,4	4,77	4,94
Japonya	4,44	3,93	4,39	4,41	4,74
ABD	5,69	5,53	4,98	5,81	4,85
OECD Ortalaması	6,06	5,93	5,72	6	5,66
Avrupa Birliği - 28	6,63	6,52	6,67	6,62	6,75
Fransa	6,93	7,17	6,92	6,96	7,04
Danimarka	6,44	5,59	7,12	5,59	3,8
İngiltere	8,13	8,31	8,06	8,2	8,82
Türkiye	13,59	12,19	10,88	10,82	10,03
Meksika	13,2	14,21	12,34	11,81	11,93
Litvanya	22,38	22,87	28,19	23,53	18,08

Elektrik dağıtım sistemlerinin kayıplarının yüksek olması sistem alt yapısının uygun olmamasının bir göstergesidir. Alt yapı uygunsuzluğu da dağıtım sistemindeki arızaların atmasına neden olmaktadır

Günümüzdeki gelişen teknoloji ile birlikte modern toplumlar enerjiye bağımlı hale gelmiştir. Bundan dolayı özellikle toplumlar kesintisiz bir enerji ve elektrik talebi istemektedirler. Dağıtım sisteminde meydana gelen arızalar, trafik kazaları, ilaç dağıtımındaki zorluklar, tıbbi kayıtların kaybı, su kıtlığı, gıdaların bozulması, ulaşımın aksaması, iletişim kaybı, kamu düzeninin bozulması gibi birçok önemli faaliyetin durdurulması riski ile toplumları karşı karşıya bırakmaktadır [12,13]. Bu durum toplumları sosyal ve psikolojik şekilde etkileyebilir. Kesinti sırasında insanların, ulaşım, gıda ve içme suyu temini, ısıtma gibi günlük rutinleri bozulur ve kişileri yeniden planlama yapmaya maruz bırakır. Yoğun yerleşim yerlerindeki uzun kesinti süreleri günlük yaşamda oldukça büyük problemler ortaya çıkarabilir. Örneğin, 14 Ağustos 2003'te Ohio'da ekipman arızasından kaynaklanan elektrik kesintisinden dolayı New York Şehrinde toplu taşıma sistemi etkilenmiş ve yolcuların yolda mahsur kalmalarına neden olmuştur [14]. Bir arıza sırasında meydana gelen kesinti süresi uzadığında toplumlarda stres bozukluğuna, endişeye ve depresyona neden olur [13]. Bu nedenle elektrik kesintilerinin hızlı bir şekilde algılanması, sınıflandırılması ve çözülmesi gerekmektedir.

Bir dağıtım şebekesinde tek fazlı toprak arızası meydana geldiğinde arızanın tespit edilememesi, genellikle güç sisteminin 1-2 saat arasında arızalı çalışmasına izin verilmesiyle sonuçlanır. Bu durum, hem arızanın daha da gelişmesine hem de güç sisteminin güvenliğinin tehdit edilmesine neden olur. Bu durumun sonucunda faz-toprak arıza noktasında kişisel yaralanmalar veya ölümler meydana gelebilir. Dağıtım sisteminde oluşan bu arızaların giderilmesi için koruma sistem sigortaları, otomatik tekrar kapatıcılar ve aşırı akım röleleri kullanılmaktadır [15-17]. Ancak günümüzde rüzgar enerjisi sistemleri, fotovoltaik (PV) sistemler, biyokütle enerji santralleri ve elektrikli araçlarının şarj sistemlerinin de güç sistemine dahil olması ile birlikte dağıtım sistemleri sürekli gelişmektedir [3,18]. Geleneksel olarak dağıtım şebekesinin pasif olan yapısı, yukarıda bahsedilen yeni üretim ve tüketim sistemlerinin güç sistemine dahil olması ile birlikte aktif bir yapıya dönüşür. Bu dinamik ağ yapısı beraberinde birçok sorun ortaya çıkarır. Bu sorunlar koruma koordinasyonunun kaybolmasına, bazı rölelerin kör olmasına neden olabilir [4,18]. Ayrıca, yüksek empedans arızası (HIF) ve düşük arıza akımı büyüklükleri nedeniyle dağıtım ağlarının korumasında ciddi hasarlar meydana gelebilir [4,19]. Özellikle yüksek empedans

hatası (HIF), aşırı akım röleleri ve sigortalar tarafından algılanabilecek sınırın altında kalabilmektedir [20,21]. Örneğin, [22]'de HIF'leri algılamak için başka cihazlar geliştirme çabalarına rağmen, ticari aşırı akım rölelerinin vakaların yalnızca %50 ila %60'ını algılayabildiği belirtilmiştir. Bu nedenle koruma sistemi sigortaları, otomatik tekrar kapatıcılar ve aşırı akım röleleri artık güvenli ve istikrarlı çalışma gerekliliğini karşılamamaktadır. Dağıtım şebekelerinin ekonomik kayıplarının azaltılması ve bakım personelinin arızayı aramak için ihtiyaç duyduğu süreyi kısaltmak için hızlı ve doğru bir arıza teşhis yöntemi önerilmelidir.

Günümüzde dağıtım şebekelerinin dinamik bir ağ yapısına sahip olmasından dolayı arızaların ve özellikle yüksek empedanslı arızaların bulunması zorlaşmıştır. Mümkün olan en kısa sürede arızanın doğru tespit edilip şebekeden bu arızanın uzaklaştırılması gerekmektedir. Geleneksel arıza tespit yöntemleri yüksek empedanslı arızaların türünü ve yerini tespit etmekte yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, dağıtım şebekesine ait akım ve gerilim verilerinden daha iyi yararlanabilen ve daha duyarlı arıza algoritması geliştirmek gereklidir.

1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı

Arıza türünün ve yerinin tespiti, dağıtım şebekelerinin verimliliği ve güvenliği için önemlidir. Dağıtım şebekelerine yenilebilir enerji kaynakları ve elektrikli araçların şarj sistemlerinin bağlanmasıyla ile birlikte bu şebekeler daha da karmaşıklaşmıştır. Bu karmaşık ağ yapısından dolayı arıza tipini ve yerini belirlemek zordur.

Dağıtım şebekelerinin değişen ve karmaşıklaşan ağ yapıları nedeniyle bu sistemlerde meydana gelen yüksek empedanslı arızaların mevcut koruma cihazları ile algılanması her geçen gün daha da zor bir görev haline gelmiştir. Bu tezde, dağıtım şebekelerinde meydana gelen arızaların türlerini ve yerlerini belirlenmesindeki zorluklara ve sınırlamalara bir çözüm olarak yeni bir arıza tespit algoritması sunulmaktadır. Bu amaçla IEEE-33 baralı ve IEEE-39 baralı sistemler gerçek gerçek zamanlı dijital simülatörde (RTDS veya RTS) gerçek zamanlı simülasyon yazılım paketi (RSCAD) kullanılarak oluşturulmuştur. Daha sonra farklı arıza durumları için akım ve gerilim verileri alınmıştır. Bu verilerden yüksek empedanslı arızaları tespit etmek için literatürde olmayan öznitelikler geliştirilmiştir.

Dağıtım şebekelerinin kısa devre arızalarını tespit edecek yöntemler araştırılmış ve arıza türünü ve yerini tespit etmek için yeni yöntemler önerilmiştir. Dağıtım şebekelerinde meydana gelen koruma cihazları ile tespiti zor olan arızaları için rastgele vektör fonksiyonel bağlantı ağlarına (RVFLN) dayalı yeni iki yöntem önerilmiştir. RVFLN kullanılarak arıza tipini ve yerini belirmek için literatürde var olan yöntemler incelenmiştir. Bu yöntemlerin dezavantajının üstesinden gelmek için cauchy dağılım ağırlıklandırma M-tahmini RVFLN (Cauchy-M-RVFLN) ve online-gürbüz düzenlenmiş RVFLN (ORR-RVFLN) yöntemlerinin dağıtım hatlarındaki arızaların tespitinde kullanılması önerilmiştir. Önerilen yöntemin arıza türü ve yeri tespit başarımları, literatürde bulunan önde gelen sınıflandırma yöntemleri olan evrişimsel sinir ağı (CNN), uzun kısa süreli bellek (LSTM), destek vektör makinesi (SVM) ve aşırı öğrenme makinesi (ELM) ile karşılaştırılmıştır.

1.3 Tezin Katkısı

Bu tez çalışması ile dağıtım şebekelerinde arıza türünü ve yerinin tespiti üzerine literatüre katkı sağlamaya çalışılmış ve belirlenen sorunun çözümü ile ilgili olarak bilimsel yöntemler sunulmuştur. Tezin mevcut katkıları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Literatüre Katkı-1: Gerçek zamanlı çalışmalar için gürültü kaçınılmaz bir sorundur. Sensörlerdeki bu gürültüler dikkate alınmadığı zaman, hem sinyal işlemede hem de makine öğrenmesi uygulamalarında, yanlış sınıflandırma, düşük doğruluk oranı ve eksik öğrenme gibi problemlere neden olabilmektedir. Bu tez çalışmasında sensör ve ölçüm hatlarından kaynaklı gürültü değerler dikkate alınmıştır.

Literatüre Katkı-2: Literatürde koruma cihazlarının algılayamadığı yüksek empedanslı kısa devre arızalarının tespiti için 6 yeni öznitelik vektörü geliştirilmiştir.

Literatüre Katkı-3: Literatürdeki çalışmalarda genellikle iki baralı uzun iletim hattı sistemi kullanılmış ve sistemin simülasyonu için Matlab/Simulink yazılımından yararlanılmıştır. Matlab/Simulink ile yapılan çalışmaların ya gerçek zamanlı sistemlerle karşılaştırılması ya da

kararlılık analizinin sunulması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, uygulama, IEEE 33-baralı ve IEEE 39-baralı sistem RTDS kullanılarak gerçek zamanlı olarak yapılmıştır. Böylelikle gerçek koşulara uygun ve literatürde kabul edilebilir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Literatüre Katkı-4: Bu tezde önerilen yöntem, herhangi bir ayar yapılmadan gizli katman parametrelerini rastgele atama avantajına sahip RVFLN metodunu kullanıldığı için, geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerine göre arıza tipi ve arıza yeri tespit doğruluğunu artırmaktadır. Bunun yanında eğitim süresini de ciddi miktarda düşürmektedir.

Literatüre Katkı-5: Bu tezde, arıza tipi ve arıza yeri tespiti için önerilen yöntem mevcut dağıtım sistemlerinden yapılan ölçümlerden yararlanmaktadır ve herhangi bir dağıtım sisteminde çalışabilmektedir.

1.4 Tezin Yapısı

Bu tez, daha önce tartışılan araştırma problemlerinin ışığında oluşturulmuştur. Dağıtım sistemlerinde, geleneksel koruma cihazları tarafından tespit edilemeyen yüksek empedanslı kısa devre arızaları açıklamayı, analiz etmeyi, arıza tipi ve arıza yeri tespiti için yeni yöntemler önermeyi amaçlamaktadır. Tez yapısal olarak şu şekilde düzenlenmiştir:

Bölüm 2'de literatür taraması sunulmuştur. Bölüm 3'te arıza tipi ve arıza yeri için önerilen geliştirilmiş RVFLN algoritmalarına odaklanmaktadır. Simülasyon sonucunda elde edilen bulgular bölüm 4'te sunulmuştur. Bölüm 5'te, tezin ve araştırmanın sonuçları sunulmaktadır Ayrıca bu bölümde gelecekteki çalışmalar için önerilere yer verilmiştir. Bölümlerde açıklanan konuların detaylı sunumu aşağıda verilmiştir.

Bölüm 2: Literatür İncelemesi

- Literatürde kullanılmış modeller ve yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3: Arıza tipi ve arıza yeri tespiti için RVFLN algoritmasının geliştirilmesi

- Dağıtım sistemindeki arızalar hakkında bilgi verilmiştir.
- Özniteliklerin elde edilmesi hakkında bilgi verilmiştir.
- RTDS ve RSCAD hakkında temel bilgiler verilmiştir.
- Verilere aykırı değerler eklenmesi hakkında bilgi verilmiştir.
- IEEE 33 ve IEEE 39 bara sistemi hakkında bilgiler verilmiştir
- RVFLN algoritması hakkında teorik bilgiler verilmiştir.
- RVFLN algoritmasının aykırı değer ve gürültü gibi sorunlara karşı iyileştirilmesi için Cauchy dağılım ağırlıklandırma M-tahmin RVFLN, gürbüz düzenlenmiş RVFLN ve çevrim içi gürbüz düzenlenmiş RVFLN yöntemlerinin arıza türü ve yerinin tespitinde kullanımının geliştirilmesi hakkında bilgi verilmiştir

Bölüm 4: Arıza tipi ve arıza yerinin tespiti için yapılan simülasyon sonuç ve bulguların değerlendirilmesi

- IEEE 33 ve IEEE 39 baralı sistemler için gerçek zamanlı simülasyon sonuçlarından elde edilen sonuçlar verilmiştir.
- Literatürdeki arıza türü ve yeri tespiti için kullanılan yöntemler ile önerilen yöntemlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Bölüm 5: Sonuçlar ve gelecek çalışmalar için öneriler hakkında bilgi verilmiştir.

- Arıza tipi ve arıza yeri tespit sonuçları yorumlanmıştır.
- Gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölüm, dağıtım şebekelerindeki arıza türü ve yerinin tespiti için geleneksel yaklaşımların literatür incelemesini sunmaktadır.

Misra ve Ray [23], arıza türünü ve arıza yerinin tespit yöntemleri üzerine bir derleme çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada arıza türü tespiti üzerine yapılmış özellik çıkarma yöntemleri ve sınıflandırma yöntemleri anlatılmıştır. Ayrıca bu yöntemlerin güçlü ve zayıf yönleri bir tablo halinde verilmiştir.

Aleem ve ark. [24], güç sistemleri arıza tespiti üzerine derleme çalışma yapmışlardır. Arıza tespiti üzerine en çok kullanılan yapay sinir ağları (ANN) ve destek vektör makinesi (SVM) yöntemlerinin güçlü ve zayıf yöntemleri bir tablo halinde vermişlerdir.

Yadav ve Dash [25], iletim hatlarında ANN kullanılarak arıza tespiti ve arıza sınıflandırması üzerine bir derleme çalışma yapmıştır. Bu çalışma tepki süresi ve makalede kullanılan ANN özellikleri hakkında detaylı bir tablo verilmiştir.

Godse ve Bhat [26], 400 kV, 50 Hz, 150 km 2-baralı bir iletim hattı modeli ATP/EMTP simülasyon programında oluşturulmuştur. Bu çalışmada simülasyon modelinden elde edilen 3 faz akım verilerinden matematiksel morfoloji yöntemiyle özellikler çıkartılmıştır. Daha sonra ayırt edici özellikler kullanılarak karar ağacı (DT) yöntemiyle %99,98 oranında doğrulukla arıza tespiti yapılmıştır.

Ray ve Mishra [27], 400 kV, 300 km 2-baralı iletim hattı modeli oluşturulmuştur. Bu modelden elde edilen 3 faz akım verilerinden 4 seviyeli dalgacık paket dönüşümü (WPT) ile özellikler çıkartılmıştır. Daha sonra SVM yöntemiyle arıza tipi ve arıza km tespiti yapılmıştır. Bu sınıflandırma yönteminde en iyi özellikleri belirlemek için parçacık sürü optimizasyon tekniği (PSO) tekniğiyle SVM yönteminin en iyi parametreleri belirlenmiştir. %99,21 oranında doğru şekilde tespit yapılmıştır. Aynı çalışmada tristör kontrollü seri kapasitör (TCSC) iletim hattı modelin tam ortasına yerleştirilmiş ve bu durumda %98,36 oranında arıza tespiti yapılmıştır. %0,2 daha düşük hata oranlarıyla doğru şekilde arıza yeri tespiti yapılmıştır.

Dagupta ve ark. [28], 220 kV, 50 Hz, 150 km olan 2-baralı iletim hattı modeli ATP/EMTP simülasyon programında oluşturulmuştur. 3 faz gerilim verilerinden yararlanarak arıza tipi ve arıza yeri tespiti yapılmıştır. Özellik çıkartma yöntemi olarak dalgacık dönüşümü (WT) ve tespit içinde ANN sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Arıza tipini %98,28 doğrulukla tespit etmiştir ve arıza yeri %3'den daha küçük hata ile bulmuştur.

Singh ve Maheshwari [29], 400 kV, 120 km 2-baralı iletim hattını PSCAD simülasyon programında oluşturulmuştur. Bu simülasyondan elde edilen 3 faz akım verilerinden ayrık dalgacık dönüşümü ile özellikler çıkartılmıştır. SVM yöntemiyle arıza tipi %98.70 oranında doğrulukla tespit edilmiştir.

Roy ve Bhattacharya [30], 400 kV, 50 Hz, 300 km 2-baralı iletim hattı modeli Matlab/Simulink simülasyon programında oluşturmuştur. Bu simülasyon programında alınan 3 faz akım ve gerilim verilerinden yararlanan S-dönüşüm (S-Trasform) yöntemiyle kural matrisi oluşturularak arıza tipi tespiti yapılmıştır. Bu kullanılan yöntemde tüm verilere 20 dB gürültü eklenmiştir. Bu gürültü eklenmiş verilerde başarı oranı %97,70 olmuştur.

Gopakumar ve ark. [31], 400 kV, 300 km 2-baralı 2 generatörlü ve 2 fazör ölçüm birimli (PMU) modeli Matlab/Simulink simülasyon programında oluşturmuştur. Bu simülasyondan alınan 3 faz akım ve gerilim faz açıları bilgisinin özellikleri park dönüşümü ve hızlı Fourier dönüşümü (FFT) yardımıyla çıkartılmıştır. Daha sonra bu özelliklerin SVM ile tespiti yapılmıştır. Bu çalışmanın devamında önerilen yöntem IEEE 14-baralı sistemde test edilmiştir.

Yadav ve Swetapadma [32], 400 kV, 200 km 2-baralı, 2 generatörlü ve 2 yüklü model oluşturmuştur. Bu modelden 3 faz akım ve gerilim büyüklüğü ile 3 faz akım açısı alınmıştır. Alınan bu verilerden bulanık mantık yöntemiyle arıza tipi ve arıza yeri tespit edilmiştir. Çalışmada sunulan yöntem %95 oranında arıza tipini doğru tahmin ederken, arıza yerinş de %2 ile %4 arasında farklar ile doğru tahmin etmiştir.

Dash ve ark. [33], çalışmasında 500 kV, 280 km 2-baralı ve tek statik dengeleyici (STATCOM) modeli Matlab/Simulink simülasyon programında oluşturmuştur. 3 faz akım verilerinden yaralanarak hızlı frekans filtreleme S-dönüşümü (spare-ST) ile arıza tipi ve arıza yeri tespit edilmiştir. Ayrıca Matlab/Simulink'de oluşturulan model RDTS'de de oluşturulmuştur. RTDS'de arıza yeri çalışmada önerilen yöntem ile %1,35 ile %1,7 arasında değişen hata oranlarıyla doğru tespit edilmektedir.

Swetapadma ve Yadav [34], çalışmasında 400 kV, 100 km 2-baralı, 2 iletim hatlı modeli Matlab/Simulink simülasyon programında oluşturulmuştur. 3 faz akım ve gerilim sinyallerinden ayrık fourier dönüşümleri (DFT) ve ayrık dalgacık dönüşümü (DWT) kullanılarak özellikler çıkarılmıştır. Daha sonra arıza yerini belirlemek için karar ağacı regresyonu (DTR) yöntemi kullanılmaktadır. Önerilen yöntem daha sonra Matlab/Simulink'de kurulan IEEE 9-baralı sistemde ve PSCAD'te kurulan IEEE14-baralı sistemde test edilmiştir. Arıza yeri hata oranı çoğu durumda ±%1 aralığındadır. DTR-DWT tabanlı yer tahmin yöntemi, DTR-DFT'den biraz daha yüksek doğruluğa sahiptir.

Salehi ve Namdari [35], çalışmasında 500 kV, 350 km 2-baralı iletim hatlı modeli Matlab/Simulink simülasyon programında oluşturulmuştur. 3 faz akım verileri morfolojik kenar algılama (MED) filtresi kullanılarak ayırt edici özellikler çıkarılmıştır ve arıza tipi tespiti yapılmıştır. Önerilen yöntemin doğruluğu Matlab/Simulink'de kurulan IEEE 14-baralı sistemde test edilmiştir.

Rathore ve Shaik [36], çalışmalarında 400 kV'luk, 2-baralı modelden elde edilen 3 faz akım ve gerilim verilerden dalgacık yabancılaştırma tabanlı algoritmayı kullanarak arıza tipi tespiti yapmışlardır. Arıza yeri tespiti için ANN modelini kullanmışlardır. Arıza yeri %1,51 ve %0.24 hata ile tespit edilmiştir.

Ananthan ve ark. [37], iki-baralı, 200 km ve 400kV'luk iletim hattı modelini laboratuvarda oluşturmuşlardır. LabVIEW programını kullanarak bu gerçekten kurulan sistemden veriler alınıp dalgacık dönüşümü tabanlı çoklu-çözünürlüklü analiz (MRA) filtresiyle arıza tipi tespiti yapılmıştır. Çalışmada 3 faz akım ve gerilim verileri kullanılmıştır.

Biswal [38], çalışmasında 400 kV, 300 km 2-baralı iletim hatlı modeli PSCAD simülasyon programında oluşturmuştur. 3 faz akım verileri kullanılarak entegre hareketli toplam (IMSUM) yöntemi ile arıza tespiti yapılmıştır. Aynı zamanda tüm verilere 40 dB gürültü eklenmiştir. Çalışmasının ikinci kısmında hat başına tek statik dengeleyici eklenerek farklı hata durumları için tespit yapılmıştır. Yüksek doğrulukta başarı elde edilmiştir.

Malhorta ve ark. [39], IEEE 34-baralı sistemi Matlab/Simulink simülasyon ortamında kurmuşladır. 3 faz akım sinyallerinde ayrık dalgacık dönüşümü (DWT) ile ayırt edici özellikler çıkartılmıştır. Daha sonra karar ağacı (DT) yöntemiyle arıza tipi tespiti yapılmıştır.

Ranjbar ve Jamali [40], IEC mikro şebeke modelini kullanmışlardır. 3 faz ve gerilim sinyallerinden dalgacık paket dönüşüm (WTP) tekniği ile özellikler çıkarılmıştır. Daha sonra arıza tespiti rastgele orman (RF) ve K-en yakın komşular (K-NN) yöntemi kullanılmıştır. RF yöntemiyle doğruluk %95,93 iken K-NN yöntemiyle %97,29 oranında doğrulukla arıza tespiti yapılmıştır.

Xie ve ark. [41], 2-baralı 115 kV, 50 km hat modeli kullanmışlardır. 3 faz akım ve gerilim sinyallerinden dinamik durum tahmini (DSE) tabanlı yöntem ile ayırt edici özellikler çıkarılmıştır. Daha sonra da SVM algoritması ile arıza tespiti yapılmıştır. %99'un üzerinde doğrulukla tespit yapılmıştır.

Sowah ve ark. [42], 2-baralı iletim hatlarını direnç ağı kullanarak modellemiştir. Daha sonra akım ve gerilim verileri alınmıştır. SVM, K-NN VE DT gibi 3 farklı sınıflandırma algoritması kullanılarak arıza tipi tespiti yapılmıştır. %97,37 SVM, %99,25 K-NN ve %99,5 ile DT yöntemi arızaların tipini doğru tahmin etmiştir. Basit bir deney seti olmasına rağmen gerçekçi değerler alınmıştır.

Majd ve ark. [43], 2 generatör, 2 yük ve 5- baralı modeli Matlab/Simulink simülasyon programında oluşturmuşlardır. 3 faz akım sinyallerinden yararlanarak arıza tipi tespiti K-NN yöntemiyle yapmıştır. %98 oranında doğrulukla arıza tipi tespiti yapılmıştır.

Jamil ve ark. [44], çalışmasında 400 kV, 300 km 2-baralı iletim hatlı modelini Matlab/Simulink simülasyon ortamında oluşturmuştur. 3 faz akım ve gerilim sinyallerinden ANN yöntemiyle arıza sınıflandırması yapılmıştır. %93,78 oranında doğrulukla arıza tipi tespiti yapılmıştır.

Ray ve ark. [45], tristör kontrollü seri kapasitör (TCSC), 400 kV, 300 km'lik 2-baralı iletim sistemini Matlab/Simulink simülasyon programında modellemiştir. 3 fazlı akım verilerinden ayrık dalgacık dönüşümü (DWT) ile özellikler çıkartılmıştır. Daha sonra aşırı öğrenme makinesi (ELM) yöntemiyle %99,97 oranında doğrulukla hata tespiti yapılmıştır.

Chen ve ark. [46], 230 kV, 100 km 3 farklı 2-baralı iletim hattını Matlab/Simulink de modellemişlerdir. Bu modellerden elde ettikleri 3 faz akım sinyallerinden toplam-gauss aşırı öğrenme makinesi (SG-ELM), toplam-dalgacık aşırı öğrenme makinesi (SW-ELM), yöntemleriyle arıza tipi tespiti yapmışlardır. SW-ELM %98,22 ve SG-ELM %98,16 oranında doğrulukla arıza tipi tespiti yapmıştır.

Aparnna ve ark. [47], Batı Sistemi Koordinasyon Konseyi (WSCC) 3-genaratör , 9-baralı sistemi ve 2-baralı sistemi PSCAD simülasyon programında modellemişlerdir. 3 faz gerilim sinyallerinden yararlanarak 1-D Konvolüsyonel Sinir Ağı (CNN) ile arıza tipi tespiti yapılmıştır. 2-baralı sistem için %99,19 ve WSCC 9-baralı sistem için %98,87 oranında doğru sınıflandırma yapılmıştır.

Fahim ve ark. [48], 220 kV, 100 km 2-baralı iletim sistemini Matlab/Simulink simülasyon programında modellemiştir. 3 faz akım ve gerilim sinyalleri kullanılarak ayrık dalgacığa dayalı derin sinir ağları (DBN) algoritması ile arıza tipi tespiti yapmışlardır. %99,60 oranında doğrulukla arıza tipi tespit edilmiştir.

Mnyanghwalo ve ark. [49], 2012-2019 yılları arasında Tanzanya'daki kamu hizmeti şirketinden (TANESCO) alınan veri setini kullanarak arıza tipi modeli geliştirmişlerdir. Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN) yaklaşımı kullanılmıştır. Akım ve gerilim sinyallerinden arıza tipi tespiti yapılmıştır. Sadece gerilim verisi kullanılınca

%92,22 doğrulukla tespit yapılmıştır. Hem gerilim hem de akım verileri kullanılınca doğru tespit oranı %93,67'ye yükselmiştir.

Ye ve ark. [50], 220 kV, 80 km ve 500 kV, 450 km 2-baralı iletim hatları modelini PSCAD simülasyon programında modellemiştir. 3 faz akım ve gerilim sinyalleri kullanılarak tek boyutlu evrişimli sinir ağı (1D-CNN) yöntemiyle arıza tipi tespit edilmiştir. Tespitin doğruluk oranı %100 olarak bulunmuştur.

Fan ve ark. [51], 320 kV, 200 km 2-baralı iletim hatları sistemini ATP/EMTP simülasyon programında modellemiştir. 3 faz akım ve gerilim verilerinden yararlanarak evrişimli sinir uzun kısa süreli bellek (CNN-LSTM) ağı ile arıza yeri tespiti yapılmıştır. Arızanın yerini 0.126 km ve 0.211 km arasındaki hata ile hesaplamıştır.

Li ve ark. [52], 500 kV, 300 km 2-baralı iletim hatları sistemi RTDS simülatörde oluşturulmuştur. 3 faz akım ve gerilim sinyalleri kullanılmaktadır. Bu sistemde toplanan tüm verilere 30 dB gürültü eklenmiştir. Daha sonra filtre kalibreli LSTM (FC-LSTM) ile arıza tipi tespiti yapılmıştır. Arıza tipi %99,90 oranıyla doğru tespit edilmiştir.

Srikanth ve Koley [53], IEEE 9-baralı sistemi ATP/EMTP simülasyon programında oluşturmuştur. 3 faz akım ve gerilim verileri alınmıştır. Tüm verilere 30 dB oranında gürültüler eklenmiştir. 3 boyutlu CNN (3D-CNN) yöntemiyle arıza tipi tespiti %93,75 oranında doğrulukla belirlenmiştir.

Belagoune ve ark. [54], 4 generatörlü iki iletim hatlı sistemi Matlab/Simulink simülasyon programında modellemişledir. 3 faz akım, akım açısı, gerilim ve gerilim açısı verileri alınmıştır. Bu veriler kullanılarak LSTM modeli ile arıza tipi ve arıza yeri tespit edilmiştir. Arıza yeri %0,1 den daha küçük farklarla tespit edilmiştir. Arıza tipi %95 üzerinde doğrulukla tespit edilmiştir.

Chen ve ark. [55], 220 kV, 200 km 2-baralı iletim hatları sistemini ilk önce Matlab/Simulink simülasyon ortamında modellemişlerdir. 3 faz akım ve gerilim

sinyalleri alınmıştır. Evrişimli seyrek otomatik kodlayıcı (CSAE) yöntemiyle %99 üzerinde doğrulukla tespit yapılmıştır. Daha sonra aynı model PSCAD simülasyon programında oluşturulmuştur. 3 faz akım ve gerilim sinyalleri alınmıştır ve bu sinyallere farklı oranlarda gürültüler eklenerek evrişimli gürültü giderici otomatik kodlayıcı (CDSAE) ile arıza tespiti %92,22 doğruluk ile yapılmıştır.

Shi ve ark. [56], 220 kV, 200 km iletim hatlı sistemi PSCAD simülasyon programında kurmuşlardır. 3 faz akım ve gerilim sinyalleri alınmıştır. Hem bu ham verilerle hem de farklı gürültüler eklenmiş haliyle Grup Seyrek Temsili (GSR) yöntemiyle arıza tipi tespiti yapılmıştır. Aynı çalışmada 220 kV, 100 km tek baralı iletim hattı sonuna bir doğrultucu ve bir inverter bağlanmıştır. Bu istemden alınan akım ve gerilim verilerine aynı oranlarda gürültüler eklenerek aynı yöntemle arıza tipi tespiti %94 üzerinde doğrulukla yapılmıştır.

Liang ve ark. [57], IEEE 33-baralı sistemi Matlab/Simulink simülasyon programında modellemiştir. 3 faz akım ve gerilim sinyalleri alınmıştır. Uyarlanabilir evrişimli sinir (ACNN) ağı yöntemiyle %99'un üzerinde doğrulukla arıza tipi tespiti yapılmıştır. Arıza yeri tespiti %0.43 den daha küçük hata ile doğru şekilde yapılmıştır.

El-Ghany ve ark. [58], çalışmalarında PMU kullanmışladır. Arıza tipini ve yeri tahmini için pozitif dizi admitans hesabı kullanarak geniş alan bölge arıza indeksi (FI) hesaplamışlardır. Bu matematiksel hesap için baraların akım ve gerilim verileri PMU tarafında sürekli izlenmektedir. IEEE 14-baralı sistem modeli Matlab simülasyon programında oluşturulmuştur. Önerilen modelin arıza yerindeki hata tahmini %1,03'ten azdır.

Khan ve ark. [59], çalışmasında IEEE 9-baralı ve IEEE 39 baralı sistemlerin modelini Matlab/Simulink simülasyon ortamında oluşturmuştur. Önerdikleri algoritma, PMU'dan alınan verilerden, gerilimin pozitif bileşeninden arızalı barayı tespit etmektedir. PMU'dan alınan verilerden, dinamik faz açılarını kullanarak hatalı hattı belirlemek için kullanılır. Ayrıca bu çalışmada verilere gürültüler eklenerek çalışma gürbüzlüğü kontrol edilmiştir. Bu çalışma, arıza tipini %99 doğruluk oranıyla tespit etmiştir.

Ravesh ve ark. [60], 230 kV, 100 mil iletim ve 20 mil yer altı kablosundan oluşan 2-baralı sistemi, EMTP-RV simülasyon programında oluşturmuştur. Bu hibrit iletim hattı sisteminde arıza tipi tespiti yapılmıştır. Simülasyon programında alınan 3 faz akım ve gerilim verilerinde dalgacık paket dönüşümü ile özellikler çıkartılmıştır. Daha sonra çıkartılan özelliklere göre en iyi parametrelerini bulmak için parçacık sürü optimizasyon ve SVM tekniğinden yararlanılmıştır. Bu iki yönteme göre seçilen en iyi özelliklere göre SVM algoritmasının başarı oranı %99,33, K-NN algoritmasının başarını oranı %96,96 bulunmuştur.

Ghaemi ve ark. [61], 3-baralı sistem ile 9 güneş enerji santrali eklenmiş IEEE 123-baralı sistemi Matlab/Simulink simülasyon ortamında modellemişlerdir. Arıza tipi ve arıza yeri tespiti için SVM, K-NN ve RF içeren yığın tabanlı sınıflandırma algoritması (The stacking based model) önerilmiştir. Bu model kullanılarak arıza tipi %99,72 oranında doğrulukla tespit edilmiştir. Ayrıca sistemin gürbüzlük kontrolü için IEEE 123-baralı sistemine 45 dB'lik gürültüler eklenmiştir. 3-baralı sistem için %100 doğrulukla arıza tipi tespit edilmiştir.

Bhatnagar ve ark. [62], IEEE 14-baralı sistemi Matlab/Simulink simülasyon ortamında oluşturmuştur. 3 faz akım ve gerilim verilerinden özellikler Teager-Kaiser enerji operatörü (TKEO) yöntemiyle elde edilmiştir. Aşırı gradyan artırma (XGBoost) algoritması ile arıza tipi ve arıza yeri tespit edilmiştir. Ayrıca 30 dB ile 40 dB arasında farklı gürültüler eklenmiştir. %97 üzerinde doğrulukla arıza tipi tespit edilmiştir. 0 km ile 2 km arasında değişen hatalar ile de doğru arıza yeri tespiti yapılmıştır.

Chattercee ve Debnath [63], 400 kV, 300 km 2-baralı iletim hattı çıkış barasına rüzgâr çiftliği bağlamıştır. 3 faz gerilim sinyallerinden çapraz korelasyon yöntemiyle özellikler çıkartılmıştır. Arıza tipi tespiti için bulanık çıkarım sistemi (FIS) yöntemi kullanılmıştır. 20 dB ile 40 dB arasında değişik gürültüler eklenip arıza tespit doğruluk yöntemi test edilmiştir. %99,34 oranıyla arıza tipi tespiti doğru yapılmıştır.

Taheri ve ark. [64], bir rüzgar çiftliği, statik var kompansatör (SVC), bir senkron generatör ve iki iletim hattından oluşan sistemi PSCAD simülasyon programında oluşturmuşlardır. Bu sistemden alınan akım ve gerilim verileri LSTM algoritmasına

uygulanarak %98 oranında doğru tespit yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada kaynak empedansı tahmin edilmiştir. 20 dB'lik gürültü eklenerek sistemin gürültü etkisi de incelenmiştir.

Rao ve ark. [65], pasif seri kondansatör ve enerji depolama cihazı (SSSC-ES) içeren statik senkron seri kompansatör ile uzun iletim hattı modeli Matlab/Simulink simülasyon ortamında oluşturmuştur. 3 faz akım verilerinden yaralanarak ayrık dalgacık yöntemiyle arıza indeks belirlenmiştir. Buna göre %100 oranında doğrulukla arıza tespiti yapılmıştır. Arıza yeri %0,6'dan daha küçük hatalarla doğru olarak bulmuştur. Ayrıca dalgacık dönüşüm yöntemine dayalı röle mantığı önerilmiştir.

Azeroual ve ark. [66], IEEE 9-baralı sistemi Matlab/Simulink simülasyon ortamında oluşturmuşlardır. PMU'lardan alınan akım verilerinden çok aracılı sistem (MAS) aracılığıyla arıza yeri tahmini yapılmıştır.

Tong ve ark. [67], IEEE 9-baralı sistemi PSCAD simülasyon programında oluşturmuştur. Grafik evrişimli sinir ağına (GCNN) dayanan bir arıza tipi tespit algoritması önerilmiştir. 3 faz gerilim verilerden yararlanarak %98,28 oranında doğrulukla arıza tipi tespiti yapılmıştır. Aynı sistemde 3 baraya rüzgâr santrali eklenince doğru tespit oranı %97,68 olmuştur. Aynı sisteme %1'lik kötü veri eklenince %96,71 oranında doğru tespit yapılmıştır. 15 dB ve 25 dB oranında gürültüler eklenerek önerilen yöntemin (%96) gürbüzlüğü incelenmiştir.

Swain ve ark. [68], 400 kV, 200 km ve 2 PMU sahip 2-baralı iletim sistemi laboratuvar ortamında oluşturulmuştur. Eşdeğer akım faz açıları (ECPA) hesaplanarak gaussian naive bayes yaklaşımı (GNB) ile arıza tipi %100 doğrulukla tespit edilmiştir.

Ola ve ark. [69], 500 kV, 150 km havai hat ve 80 km yer altı kablo sistemi oluşturmuştur. 3 faz akım verileri kullanılarak yabancılaşma katsayısı ve Wigner dağılım foksiyonu kullanılarak arıza yeri %2'den daha küçük hatalarla doğru bulunmuştur. Ayrıca 10 dB gürültü eklenerek yöntem doğruluğu kontrol edilmiştir.

Rathore ve ark. [70], 500 kV, STATCOM kompanzasyonlu iletim hattı modeli oluşturulmuştur. Bu modelden elde edilen 3 faz akım verilerinden dalgacık yabancılaşma-sinir yöntemi ile arıza indeksi çıkartılmıştır. Daha sonra bu indeks değerlerine göre ANN ile arıza tipi ve arıza yeri tespit edilmiştir. Arıza yeri %2,5 den daha küçük hatalarla doğru bulunmuştur. Modelden elde edilen verilere 10 dB gürültüler eklenip modelin gürbüzlüğü kontrol edilmiştir.

Gupta ve ark. [71], 500 kV, 230 km 2-baralı iletim hattını Matlab/Simulink simülasyon ortamında oluşturmuştur. Stockwell dönüşümü (ST), hilbert dönüşümü (HT) ve alienation katsayısını (ACF) kullanılarak, 3 faz akım sinyallerinden arıza indeksleri oluşturulmuştur. Bu arıza indekslerin ortak çarpımıyla arıza indeksi bulunmuştur. Arıza yeri %1'den daha küçük hata ile bulunmuştur. 10 dB gürültüler eklenerek yöntemin gürültü etkisi de incelenmiştir. Hindistan'ın Rajasthan bölgesindeki iletim hattından alınan gerçekçi verilerle yöntem doğrulanmıştır.

Mrabet ve ark. [72], IEEE 9-baralı sistemi GridPACK simülasyon yazılımında oluşturmuştur. 3 faz gerilim verileri ile arıza tipi arıza yeri rastgele orman (RFR) tabanlı bir algoritma kullanılmıştır. %84 doğrulukla arıza tipini %92 doğrulukla da arıza yeri belirlenmiştir.

Patel ve ark. [73], IEEE 19-baralı sistemi elektromanyetik geçici program (EMTP) oluşturmuştur. 3 faz akım verileri kullanılarak arıza durumları Lissajous şeklinin çizimiyle elde edilmiştir. Ayrıca 25 dB gürültüler eklenerek önerilen modelin gürbüzlüğü tespit edilmiştir.

Fahim ve ark. [74], 2 generatörlü, 5-baralı ve 2 süper iletken arıza akımı sınırlayıcıları (SFCL) modeli Matlab/Simulink simülasyon programında oluşturmuştur. 3 faz akım ve gerilim verileri kullanılarak kısıtlanmış Boltzmann makinesinin (RBM) yığılmış mimarisi aracılığıyla, Derin sinir ağları (DBN) modeliyle arıza tipi tespit edilmiştir. 10 dB gürültü eklenince arıza tespit doğruluk oranı %96 olmuştur. Gürültüsüz verilerde %99,47 doğrulukla arıza tipi tespit edilmiştir.

Aker ve ark. [75], 400 kV, 230 km 2-baralı şönt kompanzasyonlu statik senkron kompansatör (STATCOM) iletim hattı modeli Matlab/Simulink simülasyon ortamında oluşturmuştur. 3 faz akım verilerinden ayrık dalgacık dönüşümü (DWT) ile özellikler çıkartılmıştır. Ardından naive bayes (NB) algoritması ile arıza tespiti %100 doğrulukla yapılmıştır.

Han ve ark. [76], IEEE 24-baralı sistem Matlab/Simulink simülasyon ortamında oluşturmuştur. Bu çalışmada ham elektriksel sinyalleri görselleştirilmiş benzerlik görüntülerine (VSI) dönüştüren yeni bir veri ön işleme tabi tutulmuştur. Daha sonra ön işleme tabi tutulmuş veriler ile evrişim sinir ağında (CNN) uzamsal piramit havuzu (SPP) ve karma sınıflandırıcı (HC) kullanan algoritmayla arıza tespiti yapılmıştır. Ayrıca verilere 20 dB ile 40 dB arasında değişen oranlarda gürültüler eklenmiştir. Gürültülü verilerde %95 oranında, gürültüsüz verilerde %99,2 oranında doğrulukla arıza tespiti yapılmıştır.

Hassani ve ark. [77], IEEE 118-baralı, IEEE 39-baralı ve 3 generatör, 3 baralı tek iletim hattı modellerini PSCAD'de oluşturmuştur. Arıza tipi ve teşhisi için 3 modül kullanılmaktadır. Birinci modülde gerilim ve frekans sinyallerinden varyasyon modu ayrıştırma (VMD) algoritması ile ayırt edici özellikler çıkarılmıştır. İkinci modülde SVM ile arıza tipi tespiti yapılmış ve gürültülerden dolayı yanlış arıza teşhisini önlemek için zSlices tabanlı genel tip-2 bulanık füzyon modeli (zGT2FFM) önerilmiştir. 3modülde sinyallerin frekans değerlerinden yararlanarak k-means-PSO algoritmasıyla arıza yeri tespit edilmiştir. %90'nın üzerinde doğrulukla tespit yapılmıştır.

Gangwar ve ark. [78], 2-baralı iletim hattını kullanarak arıza tipi ve arıza sınıflandırması yapmışlardır. 3 faz akım verilerini kullanılarak arıza tespit edilmiştir. Kümülatif diferansiyel toplam (CDS) yöntemiyle arıza indeksleri oluşturulmuştur. Bu arıza indeks değerlerine göre k-en yakın komşu (k-NN) regresyon algoritması arıza tipini 20 dB gürültülerde bile %100 doğrulukla tespit edilmiştir. Arıza yeri %0,45 den daha küçük hatalarla doğru tespit edilmiştir.

Rathore ve ark. [79], 500 kV, 300 km 2-baralı birleşik güç akış denetleyicisi (UPFC) modelini Matlab/Simulink simülasyon ortamında modellemiştir. Dalgacık-yabancılaşma sinir (WAN) algoritmasıyla 3 faz akım sinyallerinden özellikler belirlenmiştir. Daha sonra bu ayıt edici özelliklere göre ANN yöntemiyle gürültülü verilerde bile arıza tipi %95 üzerinde bir doğrululukla tespit edilmiştir. %1,5'den daha küçük hatalar ile arıza yeri tespit edilmiştir.

Guillen ve ark. [80], IEEE 14-baralı sistemi DıgSILENT/PowerFactory simülasyon programında oluşurmuşlardır. 3 faz akım verilerinden yararlanarak O-spline ile uygulanan Taylor-Fourier filtre bankasına dayalı bir algoritma ile arıza tipi tespiti yapılmıştır. Aynı zamanda farklı oranlarda gürültüler eklenerek yöntemim gürbüzlüğü kontrol edilmiştir. %99,2567 oranında doğru arıza tespiti yapılmıştır.

Çoban ve Tezcan [81], 154 kV, 71,3357 km 2-baralı modeli Matlab/Simulink simülasyon ortamında modellemiştir. DWT ile 3 faz akım verisinden ayırt edici özellikler çıkarılmıştır. Daha sonra bu ayırt edici özelliklere göre iki SVM yöntemiyle arıza tipi %99,4 üzerinde bir doğrululukla tespit edilmiştir.

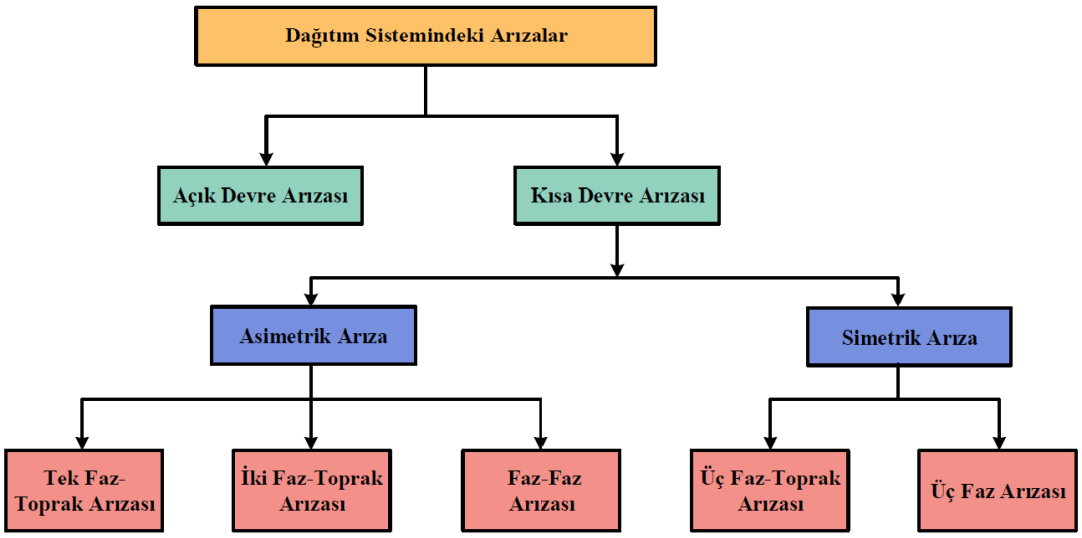
3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde öncelikle dağıtım sisteminde meydana gelen arızalar hakkında genel bilgi verilmiştir. Daha sonra bu arızaların tespiti için oluşturulan öznitelikler hakkında bilgi verilmiştir. RVFLN yöntemi ve geliştirilmiş RVFLN yöntemleri açıklanmıştır. RTDS için oluşturulan IEEE 33-baralı ve IEEE 39-baralı sistemlerin teknik özellikleri hakkında bilgiler verilerek bölüm sonlandırılmıştır.

3.1 Dağıtım Sistemindeki Arızalar

Dağıtım sistemi belirlenen çalışma sınırları içinde dengeli koşullar altında çalışır. Ancak iç ve dış etkenlerden dolayı normal çalışma durumu bozulur. Bu durum dağıtım sisteminde arızalara neden olur [82,83]. Bu arızaların bir kısmı, ağaç teması, kuş veya diğer hayvan teması ve yıldırım çarpması gibi durumlardan dolayı meydana gelir ve kısa bir süre için var olur. Daha sonra dağıtım sistemi normal çalışma durumuna geri döner buna geçici arıza denilmektedir. Geçici arıza durumunda dağıtım sisteminin enerjisi kesildiğinde arıza durumu kaybolur. Geçici arıza durumunda dağıtım sisteminin gücü bir süreliğine kesilir ve arıza giderildikten sonra sistem tekrar çalışamaya devam eder [84]. Dağıtım sistemin enerjisi kesilse bile arızalı durumun devam etmesine kalıcı arıza denilmektedir. Yeraltı güç kablolarında meydana gelen arıza durumu buna örnek verilebilir. Bu durumda sistemi arızalı halde çalıştırmak sisteme daha çok zarar verir. Kalıcı arızalarda sistem enerjisi kesilse bile devam ettiği için özel ekipmanlar ile müdahale edilmelidir [84,85].

Dağıtım sisteminde meydana gelen kesintilerin %80'den fazlasının arızalardan kaynaklandığı belirtilmiştir [83]. Bundan dolayı, elektrik kesintisinin ve kesinti süresinin etkisini en aza indirmek için arızayı mümkün olan en kısa sürede tanımlaması çok önemlidir. Dağıtım sisteminde meydana gelen arızalar %50'si iletim hatlarında, %10'u transformatörde, %9'u yer altı kablolarında, %7'si generatörlerde, %12'si şalt sahasında ve %12'si de röleler ve kontrol ekipmanlarında meydana gelmektedir [66], [83]. Şekil 3.1'de dağıtım sisteminde meydana gelen arıza tipleri verilmiştir. Dağıtım sisteminde meydana gelen arızalar açık devre arızası ve kısa devre arızası olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 3.1 Dağıtım sisteminde meydana gelen arıza tipleri

3.1.1 Açık devre arızası

Dağıtım sistemlerinde açık devre arızası, bir veya daha fazla iletkenin kesik veya açık olmasını ifade etmektedir. Açık devre arızaları, havai hatlarda veya yer altı kablolarında bir veya daha fazla iletkenin arızalanması, kesicinin bir veya daha fazla iletkenin arızalanması, bir iletkendeki sigortanın erimesi gibi nedenlerden meydana gelmektedir. Şekil 3.2'de açık devre arıza gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Açık devre arızası

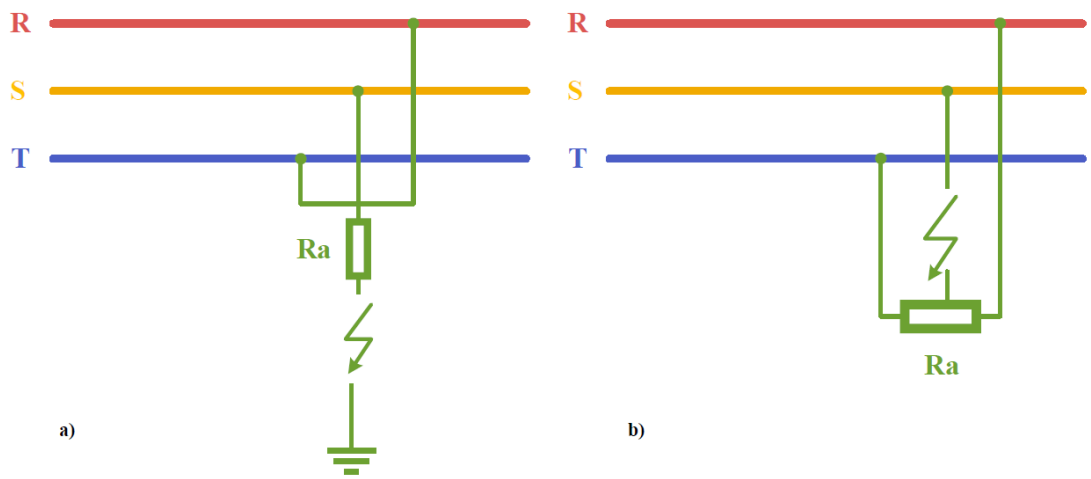
Şekil 3.2'de görüldüğü üzere bir iletkenin kopması durumunda tek iletken arızası, iki iletkenin kopması durumuna iki iletken arızası denilmektedir. Üç iletkenin koptuğu durumda üç iletken arızası diye anılmaktadır. Açık devre arızası, arızalı fazlarda gerilim artmasına neden olur [83]. Gerilim normal anma değerinin üzerinde arttığında dağıtım şebekesinde izolasyon arızası meydana gelebilir[84]. Bunun dışında açık devre arızası frekansın artmasına dağıtım sistemin dengesiz çalışmasına neden olmaktadır. Bu arıza tipinde akım düşmektedir [84].

3.1.2 Kısa devre arızası

Dağıtım sisteminde, faz iletkenleri ile toprak arasında veya faz iletkenleri ile faz iletkenleri arasında temas sonucu meydana gelen arıza tipidir. Bu arıza tipi meydana geldiğinde, dağıtım sisteminde anormal derece yüksek akımlar akmasına neden olur [84]. Bu arızalar iletim hatların bozulması, ekipmanların bozulması, ağaç düşmesi gibi etkenlerden meydana gelebilir. Anormal akımlar aktığı için dağıtım sistemindeki izolasyon bozulabilir, transformatör patlayabilir ve sistem tamamen enerjisiz kalabilir. Simetrik ve asimetrik kısa devre arızası olmak üzere iki gruba ayrılır [66,84].

3.1.2.1 Simetrik arıza

Dağıtım sisteminde meydana gelen 3 fazın birbirleriyle temas etmesi veya hem birbirleriyle birlikte toprak ile temas etmesi durumunda olur. Şekil 3.3'de bu arıza türü veilmiştir. Simetrik arızalara dengeli arızalar denilmektedir [84]. Her üç fazı aynı oranda etkilemektedir. Dağıtım sisteminde meydana gelen arızaların sadece %2-%5'i bu arızalardır [66]. Az hata oluşmasına rağmen 3 fazı etkilediği için en tehlikeli arıza türüdür.



Şekil 3.3 a) 3 faz-toprak arızası b) 3 faz-faz arızası

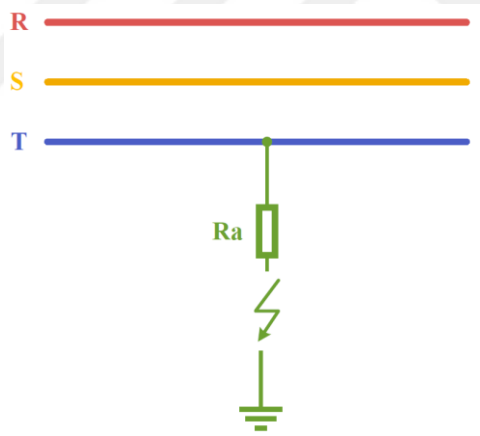
Simetrik arızalar sıfır ve negatif dizi bileşenine sahip değildir. Sadece pozitif dizi bileşenine sahiptir. Bu durumdan dolayı analizi kolay ve dengelidir. 3 fazın analiziyle kolayca tespit edilebilir [83,85]. Genellikle ağaç devrilmesi gibi durumlarda meydana gelmektedir.

3.1.2.2 Asimetrik arıza

Dağıtım sistemlerinde bir fazın toprakla veya başka bir fazla temas etmesi halinde meydana gelmektedir. Asimetrik arızalara, empedans değerlerinin her fazda farklı olması ve üç fazı aynı oranda etkilemediği için dengesiz arızalarda denilmektedir. En çok rastlanan arıza türüdür. Asimetrik hatalar, pozitif negatif ve sıfır dizi bileşenlerinin ayrı ayrı hesaplanmasını zorunlu kılar. Bundan dolayı tespit edilmesi zordur [66,82-85]. Asimetrik arızalar, tek faz-toprak arızası, İki faz-toprak arızası ve faz-faz arızası olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

Tek faz-toprak arızası

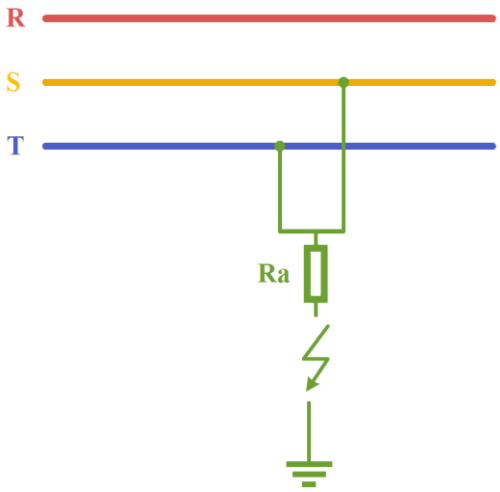
Genellikle fırtına, yıldırım gibi fiziksel dış etkenlerden meydana gelen arıza türüdür. Fazlardan herhangi birinin toprak ile temas etmesi durumudur. Dağıtım sistemlerinde %70 ile en sık meydana gelen arıza tipidir. Şekil 3.4'de tek faz-toprak arızası gösterilmiştir [66,82-85].



Şekil 3.4 Tek faz-toprak arızası

İki faz-toprak arızası

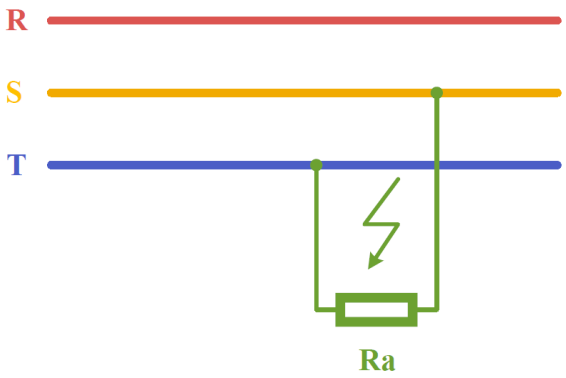
Dağıtım sistemlerinde fırtına gibi dış etkenlerden dolayı iki fazın birbirleriyle ve toprak ile temas etmesi durumunda meydana gelmektedir. Şekil 3.5'de iki faz toprak arızası gösterilmiştir. Dağıtım sistemlerinde %15 ile %20 oranında meydana gelmektedir [66,82-85].



Şekil 3.5 İki faz-toprak arızası

Faz-faz arızası

Dağıtım sistemlerinde havanın iyonlaşmasından veya rüzgâr nedeniyle bir fazın diğeriyle temas etmesi durumunda meydana gelmektedir. %5 ile %10 arasında dağıtım sisteminde oluşan arızalar bu tiptir. Şekil 3.6'da faz-faz arızası gösterilmiştir [66,82-85].



Şekil 3.6 Faz-faz arızası

3.2 Öznitelik Vektörlerinin Elde Edilmesi

Dağıtım sisteminde meydana gelen arızaları tespit etmek ve bunların normal sistem çalışmasından ayırt etmek için, dağıtım sisteminden ölçülen akım ve gerilimden yararlanılarak öznitelik vektörleri oluşturulmuştur [54,86]. Bu öznitelik vektörlerin ilk sekiz tanesi literatürde dağıtım sistemlerinde arıza türü ve yerinin tespiti için kullanılan yöntemlerdir. Ancak bu tez çalışmasında daha önce literatürde arıza türü ve yerinin

tespiti için kullanılmayan altı tane yeni öznitelik vektörü geliştirilmiştir. Özellikle bu yeni öznitelik vektörleri sayesinde tespiti zor olan HIF arızaların tespitinde büyük başarı kazandırmıştır. On dört öznitelik vektörleri farklı arıza durumlarını kapsamak için oluşturulmuştur. Bu öznitelik vektörlerinin ilk dördü önerilen algoritmanın çeşitli büyüklükteki güç sistemlerine uygulanabilirliğini sağlamak ve parametrelerin yeniden ayarlanmasını önlemek için kullanılmıştır. İlk dört öznitelik vektöründe, akım büyüklüğü, gerilim büyüklüğü, mevcut akım açısı ve mevcut gerilim açısı kullanılmıştır.

$$F_1 = I_n(\varphi_i)t \tag{3.1}$$

$$F_2 = V_n(\varphi_i)t \tag{3.2}$$

$$F_3 = \theta I_n(\varphi_i)t \tag{3.3}$$

$$F_4 = \theta V_n(\varphi_i)t \tag{3.4}$$

F_5, F_6, F_7 ve F_8 öznitelik vektörleri, akım ve akım açısındaki anlık değişimler ile gerilim ve gerilim açısındaki anlık değişimleri fark etmeye yarar.

$$F_5 = \frac{d}{dt}(I_n) \tag{3.5}$$

$$F_6 = \frac{d}{dt}(V_n) \tag{3.6}$$

$$F_7 = \frac{d}{dt}(\theta I_n) \tag{3.7}$$

$$F_8 = \frac{d}{dt}(\theta V_n) \tag{3.8}$$

F_9, F_{10}, F_{11}, F_{12}, F_{13} ve F_{14}, öznitelik vektörleri ise literatürde dağıtım şebekelerinde arıza tespitinde kullanılmayan, bu tez çalışmasında geliştirilen yeni öznitelik vektörleridir. F_9, F_{10}, F_{11}, F_{12}, F_{13} ve F_{14} öznitelik vektörerinde, ham olarak ölçülen veriler, sinyal normları aracılığıyla ayırt edici özelliklere dönüştürülebilir. Üç ana sinyal normu olan, 1, 2 ve sonsuz, normu ile uygun sinyal özellikleri sağlanır. Vektör elde etmek için özellik matrisinin her satırı için 1-norm, 2-norm ve sonsuzluk normu (sırasıyla $\ell 1$, $\ell 2$ ve $\ell\infty$-normları) hesaplanmıştır.

$$F_9 = \|V_n\|_1 = \sum_{j=1}^{360} \left| S^j \right| \tag{3.9}$$

$$F_{10} = \|V_n\|_2 = \left[\sum_{j=1}^{360}\left(S^J\right)^2\right]^{1/2} \tag{3.10}$$

$$F_{11} = \|V_n\|_\infty = \max_j \left|S^j\right| \tag{3.11}$$

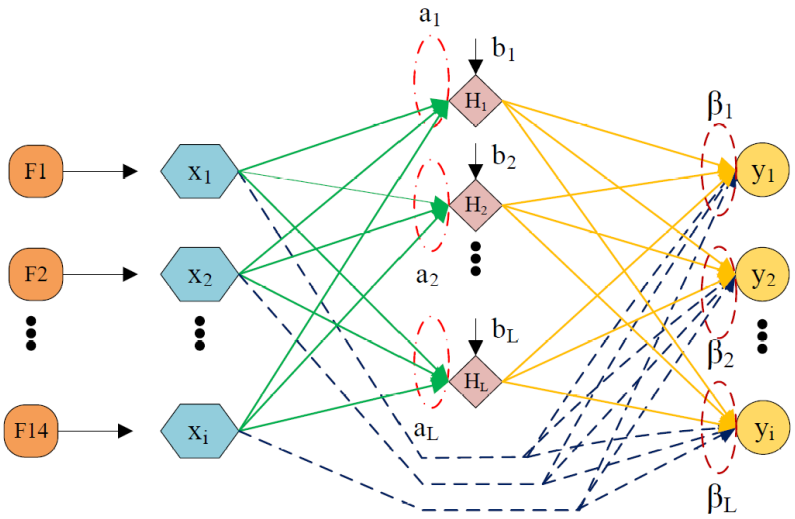
$$F_{12} = \|I_n\|_1 = \sum_{j=1}^{360}\left|S^j\right| \tag{3.12}$$

$$F_{13} = \|I_n\|_2 = \left[\sum_{j=1}^{360}\left(S^J\right)^2\right]^{1/2} \tag{3.13}$$

$$F_{14} = \|I_n\|_\infty = \max_j \left|S^j\right| \tag{3.14}$$

3.3 RVFL Ağ Modelinin Oluşturulması

RVFLN Modeli, 1992 yılında Pao ve arkadaşları tarafından tek gizli katmanlı ileri beslemeli ağ olarak geliştirilmiştir [87]. Şekil 3.7'de RVFLN temel yapısı gösterilmiştir. RVFLN modeli, geliştirilmelerinden bu yana çeşitli mühendislik uygulamalarında regresyon ve sınıflandırma amacıyla başarıyla kullanılmıştır [88-93]. Ancak dağıtım şebekelerinde arıza türü ve yerinin tespitinde daha önce kullanılmamıştır. RVFLN'lerin, giriş katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıkların rastgele atanması ve ayarlanmasına gerek olmaması en büyük avantajlarından biridir. En küçük kareler yöntemi (LS) algoritması ile çıktı ağırlıkları hesaplanır. RVFLN'ler çoğu mühendislik uygulaması için verileri gerçek zamanlı olarak işleyebilir.



Şekil 3.7 RVFLN yapısı

$x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \ldots, x_{in}]^T \in R^n$ giriş vektörü ve $y_i = [y_{i1}, y_{i2}, \ldots, y_{im}]^T \in R^m$ çıkış vektörüdür. L, RVFLN'lerin gizli düğüm sayısı ifade eder.

$$f_{L,i}(x_i) = \sum_{j=1}^{L} \beta_j g(< a_j, x_i > + b_j) \quad i = 1, 2, \ldots\ldots, M \tag{3.15}$$

Burada $f_{L,i}(x_i)$ RVFLN'nin çıktısıdır. a_j ve b_j, sırasıyla girdi ağırlığını ve gizli düğüm parametrelerini ifade eder. $a_j \in R^n, j = 1, \ldots, L$ giriş katmanı ile gizli katmanı birbirine bağlayan ve belirli bir olasılık uzayında rastgele üretilen gizli ağırlık matrisidir [90,91]. $\beta_j = \left[\beta_{j1}, \beta_{j2}, \ldots, \beta_{jm}\right]^T$, j. gizli düğümü ve değerlendirilmesi gereken çıkış düğümlerini birbirine bağlayan çıktı ağırlıklarıdır. b_j, j. gizli düğümün sapmasıdır. $< a_j, x_j >$ vektörlerin iç çarpımını ifade etmektedir. $g(.)$ doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonu ifade etmektedir.

$$\int_R g^2(x)\, dx < \infty \; veya \; \int_R [g'(x)]^2\, dx < \infty \tag{3.16}$$

RVFLN'lerin öğrenme hedefi, model çıktıları ile gerçek çıktılar arasındaki hatayı en aza indirmektir. Bundan dolayı en iyi β_j, a_j ve b_j parametrelerinin bulunması gerekir.

$$\sum_{j=1}^{L} \beta_j g(< a_j, x_i > + b_j) = y_i, \quad i = 1, 2, \ldots\ldots, M \tag{3.17}$$

$$H\beta = Y \tag{3.18}$$

Burada H gizli çıkış matrisidir. β değerlendirilmesi gereken çıktı ağırlık matrisidir. Y istenen çıktı matrisidir. Bu matrisler şu şekilde tanımlanır:

$$\boldsymbol{H}(a_1, \ldots, a_L, x_1, \ldots, x_M, b_1, \ldots, b_L) = \begin{bmatrix} H_1 \\ \vdots \\ H_M \end{bmatrix} \tag{3.19}$$

$$= \begin{bmatrix} g(< a_1, x_1 > + b_1) & \cdots & g(< a_L, x_1 > + b_L) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g(< a_1, x_m > + b_j) & \cdots & g(< a_L, x_m > + b_L) \end{bmatrix}_{\boldsymbol{MxL}} \tag{3.20}$$

$$\beta = \left[\beta_1^T, \ldots, \beta_L^T\right]_{Lxm}^T, \; Y = \left[y_1^T, \ldots, y_M^T\right]_{Mxn}^T, \tag{3.21}$$

Rastgele parametre aralıkları $\left(a_j, b_j\right)$ RVFLN'lerin performansı için gereklidir ve uygun şekilde seçilmelidir. Igelnik ve Pao, rastgele parametre aralığını belirlemek için teorik bir sonuç atamıştır. Parametrelerin bir deneme-yanılma yaklaşımıyla tahmin edilmesi gerektiğinden, [90]'deki teorik sonucun kullanılması hala zordur. Burada, deneysel sonuçlara göre parametre aralığı $[-1,1]$ ile $[-M, M]$ ($M \in \mathbb{Z}^+$) arasında ayarlanmalıdır. İşlevsel bağlantı ağlarını eğitmek için parametreler $\left(a_1, ..., a_L, b_1, ..., b_L\right)$ rastgele verildikten sonra, optimum çıkış ağırlık bağlantısını $\hat{\beta}$ hesaplanmaktadır.

$$\hat{\beta} = \arg\min_{\beta \in R^{Lxm}} \|H\beta - Y\|^2 \tag{3.22}$$

LS çözümü uygulanmaktadır. $\hat{\beta} = H^{\dagger}Y$ ve $H^{\dagger} = (H^T H)^{-1} H^T$ ifadesi H matrisinin Moore -Penrose genelleştirilmiş tersidir [87,90,94]. $\hat{\beta} = H^{\dagger}Y$ özel çözümü, $H\beta = Y$ tüm LS çözümleri arasında en küçük norma sahiptir.

3.3.1 M-tahmini tabanlı gürbüz RVFLN algoritması

Huber tarafından 1964'te önerilen M-tahmini, en sık kullanılan gürbüz tahmin yöntemidir [91,95-100]. Hedef fonksiyon olarak gözlenen ve hesaplanan değerler arasındaki farkların karelerinin toplamını kullanan LS'den farklı olarak, tahmin için, artık hata üzerinde yeni bir hedef kayıp fonksiyonu tanımlar. Önerilen M-tahmini RVFLN (M-RVFLN) algoritması aşağıda açıklanmıştır.

3.3.1.1 Tek çıkışlı M-RVFLN

m=1, β ve Y denklemi 3.18 gibi olduğunda;

$\beta = [\beta_1, ..., \beta_L]^T_{Lx1}$, $Y = [y_1, ..., y_L]^T_{Mx1}$. Bu durumda, denklem (3.18)'nin LS çözümü şu şekilde elde edilir: $\hat{\beta} = H^{\dagger}Y \ = (H^T H)^{-1} H^T$ ve karşılık gelen hedef fonksiyonu aşağıdaki gibi verilir.

$$Q = \sum_{i=1}^{M} r_i^2 = \sum_{i=1}^{M} (y_i - H_i\beta)^2 \tag{3.23}$$

M-tahminini RVFLN'lere dahil ettikten sonra, modelleme parametreleri hedef fonksiyonu şu şekilde değiştirilir:

$$Q = \sum_{i=1}^{M} \rho\,(r_i) = \sum_{i=1}^{M} \rho(y_i - H_i\beta) \quad (3.24)$$

Burada ρ bir etki fonksiyonudur. M-RVFLN'lerin optimum çıkış ağırlık fonksiyonu $\hat{\beta}$ aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

$$\hat{\beta} = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^{M} \rho(y_i - H_i\beta) = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^{M} \rho\big(r_i(\beta)\big) \quad (3.25)$$

Burada gürbüz ölçek tahmincisi $\hat{\sigma}$, $\hat{\beta}$'nın bir formu olarak ifade edilir.

$$\widehat{\beta} = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^{M} \rho\left(\frac{y_i - H_i\beta\,\psi}{\hat{\sigma}}\right) = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^{M} \rho\left(\frac{r_i(\beta)}{\hat{\sigma}}\right) \quad (3.26)$$

Burada $\partial(\sum_{i=1}^{M} \rho(\frac{r_i(\beta)}{\hat{\sigma}})) / \partial\beta = 0$ durumunda;

$$\sum_{i=1}^{M} \varphi\left(\frac{r_i(\beta)}{\hat{\sigma}}\right) H_i^T \triangleq \sum_{i=1}^{M} \rho'\left(\frac{r_i(\beta)}{\hat{\sigma}}\right) H_i^T = 0 \quad (3.27)$$

Olacaktadır. Ağırlık faktörünü aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\omega\,(r_i) \triangleq \varphi\,(r_i)/r_i \quad (3.28)$$

3.27 denklem aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\sum_{i=1}^{M} \omega\,(r_i(\beta)/\hat{\sigma})\; x\;(y_i - H_i\beta)H_i^T = 0 \quad (3.29)$$

Denklem yeniden yazılabilir.

$$H^T W H\beta = H^T W Y \quad (3.30)$$

$\hat{\beta}$ iterasyon formülü ayrıca şu şekilde türetilebilir:

$$\hat{\beta}^{(k+1)} = \left(H^T W^{(k)} H\right)^{-1} H^T W^{(k)} Y \quad (3.31)$$

Burada köşegen elemanlar, $\omega_i, i = 1, 2, ..., M$ ile ifade edilen W ağırlık matrisidir. W=diag{ ω_i } ve her ω_i denklem 3.28'deki gibi ağırlık faktörü olarak tanımlanır. Denklem (3.26)'daki gürbüz ölçek tahmincisi $\hat{\sigma}$ M-tahmini için çok önemlidir. Burada $\hat{\sigma}$ medyana göre medyan mutlak sapma (MAD) olarak belirlenir.

$$\hat{\sigma} = MAD/0{,}6745\,, MAD = median_{,}(|r_i - median(r_i)|) \quad (3.32)$$

MAD, istatistiksel dağılımın bir ölçüsüdür. Bir veri kümesindeki aykırı değerlere standart sapmadan daha dirençlidir. Standart sapmada, ortalamadan uzaklıkların karesi alınır, bu yüzden büyük sapmalar daha güçlü bir şekilde ağırlıklındırlar. Bundan dolayı aykırı değerler onu büyük ölçüde etkileyebilir. MAD'de, az sayıdaki aykırı değerin sapmaları ilgisizdir. MAD, Cauchy dağılımı gibi ortalama veya varyans içermeyen dağılımlarla daha iyi çalışır [91,94].

3.3.1.2 Çok çıkışlı M-RVFLN

m>1, ise M-RVFLN çok çıkışlı olması gerekir. Bu durumda β ve Y denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\beta = \left[\beta_{j1}, \dots, \beta_{jh}, \dots, \beta_{jm}\right] = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \cdots & \beta_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \beta_{L1} & \cdots & \beta_{Lm} \end{bmatrix}_{Lxm} \begin{matrix} j = 1, \dots, L \\ , h = 1, \dots, m \end{matrix}$$

$$Y = \left[y_{i1}, \dots, y_{ih}, \dots, y_{im}\right] = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{M1} & \cdots & b_{Mm} \end{bmatrix}_{Mxm} \begin{matrix} i = 1, \dots, M \\ , h = 1, \dots, m \end{matrix}$$

Ağırlık faktörü matrisinin boyutu $w(r_i(\beta)/\hat{\sigma})$ ve Y sabittir ve boyutları $M \times m$ 'dir.

$$\omega = [\omega_1, \dots, \omega_{ih}, \dots, \omega_{im}] = \begin{bmatrix} \omega_{11} & \cdots & \omega_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{M1} & \cdots & \omega_{Mm} \end{bmatrix}_{Mxm} \tag{3.33}$$

Bu durumda, denklem (3.29)'da tanımlanan tahmin denklemi artık denklem (3.30)'daki gibi bir matris biçiminde yazılamaz ve $\hat{\beta}$'nin iterasyon formülü aşağıdaki gibi olur:

$$\hat{\beta}^{(k+1)} = \left[\hat{\beta}_{j1}^{(k+1)}, \dots, \hat{\beta}_{jh}^{(k+1)}, \dots, \hat{\beta}_{jm}^{(k+1)}\right] = \begin{matrix} [(H^T W_{i1}^{(k)} H)^{-1} H^T W_{i1}^{(k)} y_{i1}, \dots, \\ \left(H^T W_{ih}^{(k)} H\right)^{-1} H^T W_{ih}^{(k)} y_{ih}, \dots, \\ (H^T W_{im}^{(k)} H)^{-1} H^T W_{im}^{(k)} y_{im}] \end{matrix} \tag{3.34}$$

Burada $W_{ih} = diag\{w_{ih}\}, h = 1, 2, \dots, m$

Çok çıkışlı M-RVFLNs algoritmasının uygulama adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. $\hat{\beta}^{(0)}$ değeri $\hat{\beta} = H^{\dagger}Y = (H^T H)^{-1} H^T Y$ denkleminden hesaplanır.
2. $\hat{\beta}^{(0)}$ değerine göre $r^{(0)}$ vektörü hesaplanır. Daha sonra $\hat{\sigma} = median_i(|r_i - median(r_i)|)/0{,}6745$ hesaplanır. Standartlaştırılmış artık vektör $\hat{r}^{(0)}/\hat{\sigma}^{(0)}$elde edilir.

3. Ağırlıklandırma fonksiyonunda standart artıkları değiştirerek her ağırlıklandırma faktörü hesaplanarak $w(r_i) \triangleq \varphi(r_i)/r_i$, ağırlık matrisinin $W^{(0)}$ elde edilir
4. $\hat{\beta}^{(0)}, \dots, \hat{\beta}^{(k)}, \dots, \hat{\beta}^{(k+1)}$ Yinelemeli olarak hesaplanır [91]. Parametre tahminlerinin her biri belirtilen yakınsama koşullarından ($\varepsilon = 10^{-6}$) küçükse $\frac{\left|\hat{\beta}_{jh}^{(k+1)} - \hat{\beta}_{jh}^{(k)}\right|}{\hat{\beta}_{jh}^{(k)}} < \varepsilon$, nihai regresyon katsayıları $\hat{\beta}_M = \hat{\beta}^{(0)}$ elde edilir.

3.3.1.3 Cauchy dağılım ağırlıklandırma M-RVFLN

M-RVFLN'ler, artıkları ağırlıklandırarak tahmin ediciye her bir gözlemin katkısına karar verir, bu nedenle ağırlıklandırma faktörünü belirlemek özellikle önemlidir. Modelleme hatasının bazen sıfır ortalamalı Gauss dağılımına uymadığı göz önüne alındığında, aykırı değerler uygun şekilde temsil edilmelidir. Ayrıca, pratik uygulamalarda geleneksel ağırlıklandırma yöntemlerinin aşırı uydurma sorununun üstesinden gelmek ve uygun harmonik parametrelerin seçilmesindeki zorluk sorununu önlemek için, Cauchy dağılımı ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır.

Cauchy dağılımı, kararlı olan ve analitik olarak ifade edilebilen bir olasılık yoğunluk fonksiyonuna (PDF) sahip birkaç dağılımdan biridir. Eğer D, R üzerinde sürekli bir dağılıma sahipse, rasgele değişken kümesi D, bir Cauchy dağılımına sahiptir [101].

$$p(d; b_c, a_c) = a_c/\pi\left(a_c^2 + (d - b_c^2)\right), d \in \mathbf{R} \tag{3.35}$$

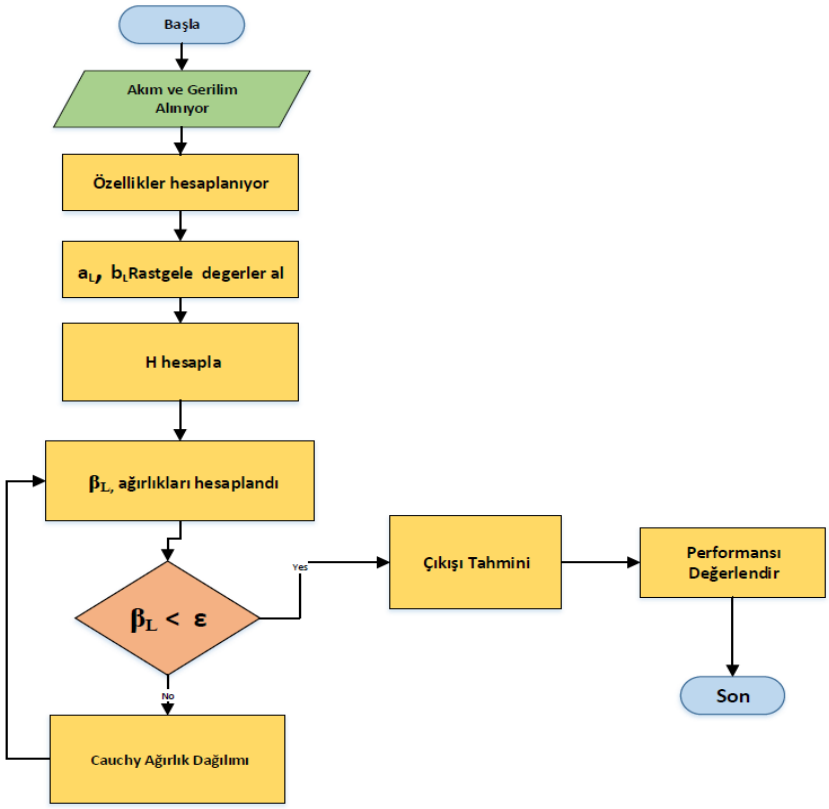
Burada $b_c \in R$ dağılımın zirvesinin konumunu tanımlayan parametredir. $a_c \in (0, \infty)$ yarı maksimumda yarı genişliği belirten ölçek parametresidir. Cauchy PDF'nin maksimum değeri $1/\pi a_c$'dir ve $d = b_c$ bulunur. Cauchy dağılımının karakteristiği a_c ve b_c parametreleri tarafından belirlenir. Burada incelenen gürbüz modelleme için ağırlıklandırmanın amacı, "aykırı değerler" ve "fazla uydurma" rollerini uzlaştırmaktır. Bu yüzden b_c modelleme hatasının medyan değerini almalıdır ($b_c = median(r_i)$).

a_c, denklem (3.35)'de gösterildiği gibi Cauchy PDF'nin şeklini belirlediğinden, değeri, modelleme hataları dağılımının istatistiksel özelliklerine göre belirlenmelidir.

Modelleme hata dağılımı darsa, a_c, değeri büyük olmalıdır; aksi halde a_c, küçük olmalıdır. Standart sapmanın, modelleme hatası dağılımının dağılım derecesini çok iyi yansıtabileceği düşünüldüğünde a_c, modelleme hatasının standart sapmasının tersinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir.

$$a_c = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^{M} \left\| r_i - \sum_{i=1}^{M} \frac{r_i}{M} \right\|^2 / M}} \tag{3.36}$$

Şekil 3.8'de Cauchy M-RVFLN algoritmasının akış şeması verilmiştir. Bu akış şeması incelendiğinde ilk önce 3 faz akım ve 3 faz gerilim verileri alınır. Daha sonra bu verilerden 14 öznitelik vektörüne göre özellikler hesaplanır. RVFLN modelinden a_L ve b_L rastgele değerler alınarak H hesaplanır. $\hat{\beta}^{(0)}$ ağırlıkları hesaplanır. $\frac{\left|\hat{\beta}_{jh}^{(k+1)} - \hat{\beta}_{jh}^{(k)}\right|}{\hat{\beta}_{jh}^{(k)}} < \varepsilon$ denklemine göre karşılaştırma yapılır. Eğer ε değerinden küçük değilse cauchy ağırlık yöntemine en uygun a_c, b_c hesaplayacak r_i parametresi hesaplanır. Yeni r_i parametresine göre $w(r_i) \triangleq \varphi(r_i)/r_i$, ağırlık matrisi hesaplanarak yeni $\hat{\beta}^{(0)}, \ldots, \hat{\beta}^{(k)}, \ldots, \hat{\beta}^{(k+1)}$ parametreleri hesaplanır. Aynı işlem ε değerinden küçük oluncaya kadar devam eder. Daha sonra arıza tipi tespit edilir.



Şekil 3.8 Cauchy M-RVFLN algoritması akış şeması

3.3.2 Düzenlenmiş RVFLN algoritması

Geleneksel RVFLN ile karşılaştırıldığında, düzenli hale getirilmiş RVFLN (R-RVFLN), modelin aşırı uyum göstermesini (over-fitting) etkili bir şekilde önlemekle kalmaz, aynı zamanda çıkış ağırlığının büyüklüğünü azaltarak model karmaşıklığını da azaltabilir. Bu nedenle, bu yaklaşımın metodolojisi ve değerlendirmesi son zamanlarda bilim adamları tarafından büyük ilgi görmüştür. Bu bölümde denklem (3.15)'deki temel RVFLN yapısı kullanılıyorken radyal bir aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır.

$$g_j = h\left(\frac{\|x-a_j\|}{b_j}\right) \quad a_j \in \boldsymbol{R}^d, b_j \in R^+ \tag{3.37}$$

Burada $\|\blacksquare\|$ l_2 normunu ifade eder. N örnek $(\boldsymbol{x}_i, y_i) \subset \boldsymbol{R}^d \times R$ için karesel hataların toplamı bir maliyet fonksiyonu (cost function) olarak kullanılır.

$$J = \sum_{i=1}^{N}\left\|\sum_{j=1}^{L}\beta_j\, h_j\left(\boldsymbol{a}_j, b_i, \boldsymbol{x}_i - y_i\right)\right\|^2 \tag{3.38}$$

Normal düzenlenmiş RVFLN, ridge regresyon yöntemi [102], [103] kullanılarak oluşturulabilir, bu amaç fonksiyonunda düzenlenmiş terimi ($l_2\, norm$) gösterir. Verilmiş N farklı örnek $(\boldsymbol{x}_i, y_i)$ için l_2 normlu düzenlenmiş RVFLN aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} &min: j = \tfrac{1}{2}\|\boldsymbol{\beta}\|_2^2 + \tfrac{C}{2}\textstyle\sum_{i=1}^{N}\varepsilon_i^2 \\ &s.t: \boldsymbol{h}(\boldsymbol{x}_i)\boldsymbol{\beta} = y_i - \varepsilon_i, \quad \forall i. \end{aligned} \tag{3.39}$$

burada C, eğitim hatası ve çıktı ağırlığı normunu dengeleyen düzenleme parametresidir; $\sum_{i=1}^{N}\varepsilon_i^2$ ve $\|\boldsymbol{\beta}\|_2^2$ sırasıyla ampirik ve yapısal kayıplardır. Düzenlenmiş en küçük kareler algoritmasına göre çözüm $\boldsymbol{\beta}$ şu şekilde ifade edilebilir.

$$\boldsymbol{\beta} = \begin{cases} \left(\boldsymbol{H}^T\boldsymbol{H} + \frac{\boldsymbol{I}}{C}\right)^{-1}\boldsymbol{H}^T\boldsymbol{Y}, & N \geq L \\ \boldsymbol{H}^T\left(\boldsymbol{H}\boldsymbol{H}^T + \frac{\boldsymbol{I}}{C}\right)^{-1}\boldsymbol{Y}, & N < L \end{cases} \tag{3.40}$$

Denklem (3.40)'da düzenlenmiş RVFLN'in çevrim dışı öğrenme formu olarak adlandırılmaktadır. [103,104] çevrimiçi öğrenme formu için aşağıda açık formülasyonları verilen özyinelemeli bir çözüme başvurulur.

$$\begin{cases} \boldsymbol{J}_k = \boldsymbol{J}_{k-1} + \boldsymbol{H}_k^T\ \boldsymbol{H}_k \\ \boldsymbol{\beta}_k = \boldsymbol{\beta}_{k-1} + \boldsymbol{J}_k^{-1}\boldsymbol{H}_k^T\ (\boldsymbol{Y}_k - \boldsymbol{H}_k\boldsymbol{\beta}_{k-1}) \end{cases} \tag{3.41}$$

Burada $\boldsymbol{H}_k$, k'inci örnek bloğu için oluşturulmuş gizli katman çıktısıdır. Modelin başlangıç değerleri açıkça şu şekilde verilmiştir.

$$\begin{cases} \boldsymbol{J}_0 = \boldsymbol{H}_0^T\boldsymbol{H}_0 + \frac{\boldsymbol{I}}{C} \\ \boldsymbol{\beta}_0 = \boldsymbol{H}_0^{-1}\boldsymbol{H}_0^T\boldsymbol{Y}_0 \end{cases} \tag{3.42}$$

Başlatma aşamasında gizli düğüm sayısından daha fazla sayıda örnek gerektiren geleneksel çevrimiçi RVFLN ile düzenlenmiş çevrimiçi RVFLN karşılaştırıldığında, düzenlenmiş çevrimiçi RVFLN modeli daha az örnek ile başlatılabilir. Ayrıca, çevrimiçi düzenlenmiş RVFLN'nin çıktı ağırlığı normu nispeten küçüktür, bu nedenle de modelin genelleme performansı daha iyidir [103]. Ancak aykırı değerlerle bozulmuş veriler geldiğinde, çevrimiçi olarak düzenlenmiş RVFLN'nin kalitesi kötüleşebilir. Ayrıca, çevrimiçi öğrenme çözümü, C düzenleme parametresini tam olarak kullanmaz, bu da model uyumsuzluğuna neden olabilir. Bu nedenle, R-RVFLN'yi geliştirmek hala zorunludur.

3.3.3 Gürbüz düzenlenmiş RVFLN algoritması

RVFLN'nin gürbüzlük sorununu ele almak için, parametrik olmayan çekirdek yoğunluğu tahmini (NKDE) yöntemi ve ağırlıklı ampirik kayıplı sırt tipi (ridge-type) düzenlenmiş RVFLN olarak geliştirilmiştir [103] . Gürbüz düzenlenmiş RVFLN (RR-RVFLN) olarak adlandırılan bu yeni RVFLN'de, ampirik kayıp ağırlıkları, NKDE yöntemiyle tahmin edilen örnek güvenilirliğine göre atanır. Düşük ve yüksek güvenilirliğe sahip örneklerin ampirik kayıp ağırlıklarının azaltılması ve büyütülmesi, aykırı değerlerin etkisini azaltabilir ve hatta ortadan kaldırabilir. Bunun nedeni, yüksek güvenilirliğe sahip örneklerin muhtemelen süreç davranışını temsil eden normal veriler olmasıdır. Düşük güvenilirliğe sahip örneklerin ise aykırı değerler olduğundan şüphelenilmesidir.

Optimizasyon açısından, gürbüz düzenlenmiş RVFLN'nin formülü, belirli bir N farklı örnek $(\boldsymbol{x}_i, y_i)$ için aşağıdaki gibi matematiksel olarak formüle edilebilir.

$$min: \frac{1}{2}\|\boldsymbol{\beta}\|_2^2 + \frac{C}{2}\sum_{i=1}^{N} p_i \|\varepsilon_i\|_2^2$$
$$s.t: \boldsymbol{h}(\boldsymbol{x}_i)\boldsymbol{\beta} = y_i - \varepsilon_i, \quad \forall i. \tag{3.43}$$

Burada p_i i'inci örneğin ampirik kayıp ağırlığıdır. Karush-Kuhn-Tucker (KKT) teoremine göre, yukarıdaki optimizasyon problemi aşağıdaki ikili optimizasyon problemine eşdeğerdir.

$$\boldsymbol{J}_{l_2}(\boldsymbol{\beta}, \varepsilon, \alpha\ ) = \frac{1}{2}\|\boldsymbol{\beta}\|_2^2 + \frac{1}{2}C\sum_{i=1}^{N} p_i \varepsilon_i^2\ - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i(\boldsymbol{h}(x_i)\boldsymbol{\beta} - y_i + \varepsilon_i) \tag{3.44}$$

Burada α_i i'inci giriş örneğine karşılık gelen Lagrange çarpanıdır. İkinci dereceden dışbükey (kuadratik) optimizasyon problemi için, $\boldsymbol{J}_{l_2}(\boldsymbol{\beta}, \varepsilon, \alpha\ )$'in β, ε ve α'ya göre kısmi türevini sıfıra eşitleyen benzersiz optimal bir çözüm vardır.

$$\frac{\partial J_{l_2}}{\partial \boldsymbol{\beta}} = 0\ \rightarrow \boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{H}^T\boldsymbol{\alpha} \tag{3.45}$$

$$\frac{\partial J_{l_2}}{\partial \boldsymbol{\varepsilon}} = 0\ \rightarrow \boldsymbol{\alpha} = CP\varepsilon \tag{3.46}$$

$$\frac{\partial J_{l_2}}{\partial \boldsymbol{\alpha}} = 0\ \rightarrow \boldsymbol{H\beta} - \boldsymbol{Y} + \boldsymbol{\varepsilon}\ = 0 \tag{3.47}$$

$\boldsymbol{P} = diag\{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ ampirik kayıp ağırlık matrisidir. Farklı büyüklükteki eğitim örnek setlerindeki verimlilik kaygılarına göre, yukarıdaki KKT koşullarına farklı çözümler elde edilebilir.

1) N<L olduğu durumda (3.47)'deki denklem yeniden yazılır.

$$\boldsymbol{PH\beta} - \boldsymbol{PY} + \boldsymbol{P\varepsilon} = \boldsymbol{0} \tag{3.48}$$

Denklem (3.45) ve denklem (3.46) 'ı denklem 3.48'de yerine yazılırsa;

$$\left(\frac{\boldsymbol{I}}{C} - \boldsymbol{PHH}^T\right)\boldsymbol{\alpha} = \boldsymbol{PY} \tag{3.49}$$

Denklem (3.49)'u denklem 3.45'de yerine yazarsak, aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$\boldsymbol{\beta} = \left(\frac{\boldsymbol{I}}{C} - \boldsymbol{PHH}^T\right)^{-1}\boldsymbol{PY} \tag{3.50}$$

2) N>L olduğu durumda denklem (3.45) ve denklem (3.46) aşağıdaki gibi yeniden ifade edilmektedir.

$$\boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{H}^T \boldsymbol{C} \boldsymbol{P} \boldsymbol{\varepsilon} \tag{3.51}$$

$$\boldsymbol{P}\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{C}(\boldsymbol{H}^T)^{\dagger}\boldsymbol{\beta} \tag{3.52}$$

Denklem (3.52)'i denklem (3.48)'de yerine yazarsak aşağıdaki denklemi elde ederiz.

$$\boldsymbol{P}\boldsymbol{H}\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{P}\boldsymbol{Y} + \frac{1}{C}(\boldsymbol{H}^T)^{\dagger}\boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{0} \tag{3.53}$$

Böylelikle;

$$\boldsymbol{H}^T\boldsymbol{P}\boldsymbol{H}\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{H}^T\boldsymbol{P}\boldsymbol{Y} + \frac{1}{C}\boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{0} \tag{3.54}$$

Denklem (3.54)'den aşağıdaki sonuca ulaşırız.

$$\boldsymbol{\beta} = \left(\frac{\boldsymbol{I}}{C} + \boldsymbol{H}^T\boldsymbol{P}\boldsymbol{H}\right)\boldsymbol{H}^T\boldsymbol{P}\boldsymbol{Y} \tag{3.55}$$

RR-RVFLN modeli çıktı ağırlıkları hesaplanması aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

$$\boldsymbol{\beta} = \begin{cases} \boldsymbol{H}^T\left(\frac{\boldsymbol{I}}{C} + \boldsymbol{P}\boldsymbol{H}\boldsymbol{H}^T\right)^{-1}\boldsymbol{P}\boldsymbol{Y}, & N < L \\ \left(\frac{\boldsymbol{I}}{C} + \boldsymbol{H}^T\boldsymbol{P}\boldsymbol{H} +\right)^{-1}\boldsymbol{H}^T\boldsymbol{P}\boldsymbol{Y}, & N \geq L \end{cases} \tag{3.56}$$

Ampirik kayıp ağırlıkları, $p_i, i = 1, \dots, N$ Morozov'un tutarsızlık ilkesi, genelleştirilmiş çapraz doğrulama ve L eğrisi gibi yollarla seçilebilen düzenlileştirme parametresi C hariç, β çözümü için önemli derecede önemli parametrelerdir [103]. Model gürbüzlüğünün iyileştirilmesi, örneklerin çözüme katkılarını temsil eden p_i 'nin hesaplanmasıyla elde edilir. Gürbüz düzenlenmiş RVFLN'deki artıkların olasılık dağılımını elde etmek için, P'yi bir kimlik matrisi olarak ayarlayabilir ve ardından orijinal modelin standart kalıntılarını hesaplayabiliriz.

$$\varepsilon_j = \sum_{i=1}^{L} \beta_i h_i\left(\boldsymbol{v}_i, b_i, \boldsymbol{x}_j\right) - y_j \quad j = 1,2, \dots, N \tag{3.57}$$

NKDE yöntemi, kalıntıların olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak elde edilebilir.

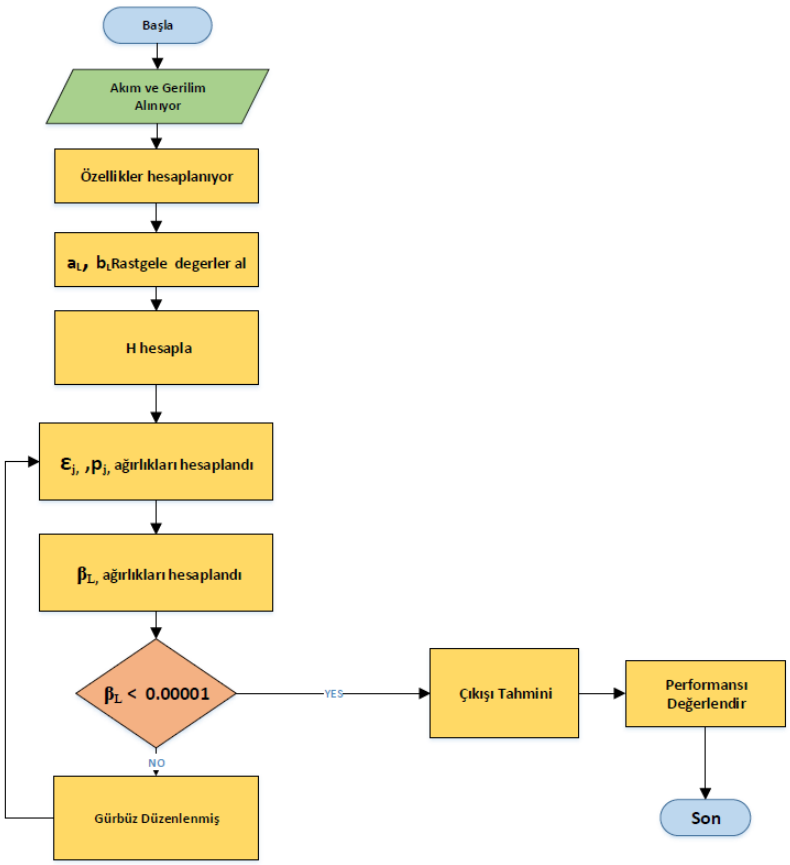
$$f(x) = \frac{1}{hN}\sum_{j=1}^{N} \phi\left(\frac{x-\varepsilon_j}{h}\right) \tag{3.58}$$

Burada $h = 1.06\,\hat{\sigma}\,N^{-15}$ tahmini pencerenin genişliğidir, $\hat{\sigma}$ kalıntıların standart sapmasıdır, ϕ Gauss çekirdek fonksiyonudur:

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2} \tag{3.59}$$

Denklem (3.58) kullanılarak, her ε_i'nin olasılığı $f(\varepsilon_i)$ elde edilebilir. $f(\varepsilon_i)$ ne kadar büyükse, güvenilirliği o kadar yüksek olur. Bu nedenle, p_i ağırlığı doğrudan $f(\varepsilon_j)$'ye göre ayarlanabilir. Çıktı ağırlığı hesaplama denklemi (3.56) ile örnek ağırlığı değerlendirme denklemi (3.58) arasındaki yinelemeli (iterative) değişimin, yüksek kaliteli bir model elde etmek için daha uygundur.

Şekil 3.9'de gürbüz düzenlenmiş RVFLN algoritmasının akış şeması verilmiştir. Bu akış şeması incelendiğinde ilk önce 3 faz akım ve 3 faz gerilim verileri alınır. Daha sonra bu verilerden 14 öznitelik vektörüne göre özellikler hesaplanır. $\{(\boldsymbol{x}_i, y_i)|i = 1, \ldots, N\} \subset \boldsymbol{R}^d \times R$, gizli katman sayısı L ve düzenleme parametresi C belirlenir. Gizli düğüm parametreleri $(\boldsymbol{a}_L, b_L)$ rastgele atanır. $\boldsymbol{H}$ Gizli katman çıktısını hesaplanır. Baştaki (ilk) $\boldsymbol{P}$'nin başlangıç ampirik kayıp ağırlık matrisi oluşturulur ve (3.57)'yi kullanarak artık hata ε hesaplanır. Ardından, denklem (3.58) ve denklem (3.59) ile $\boldsymbol{P}$ oluşturulur. $\boldsymbol{\beta}$ çıkış ağırlığı denklem (3.55)'e göre hesaplanır. $\boldsymbol{\beta}$ 10^{-6} dan küçük oluncaya kadar bu işleme devam edilir.



Şekil 3.9 Gürbüz düzenlenmiş RVFLN algoritmasının akış şeması

3.3.4 Online (çevrimiçi) gürbüz düzenlenmiş RVFLN algoritması

RR-RVFLN, tahmin hatasını azaltmada ve aykırı değerlerden kaçınmada RVFLN'den daha üstündür. Ancak, RR-RVFLN toplu öğrenme yönteminde, gerçek bir endüstriyel kontrol sisteminde uygulanmasını engelleyecek büyük zaman tüketimi ve hesaplama maliyeti gibi sınırlamalar vardır. Bu çalışmada, çevrimiçi gürbüz düzenlenmiş RVFLN (ORR-RVFLN) adı verilen özyinelemeli formül geliştirilmiştir. RR-RVFLN yöntemine benzer şekilde, özyinelemeli formül türetmek için farklı boyutlardaki çevrimiçi örnekler dikkate alınır.

1) N<L olduğu durumda başlangıç modeli oluşturmak için ilk olarak denklem (3.56) ve küçük bir veri yığını kullanılır. $\boldsymbol{H}_0$ ve $\boldsymbol{\beta}_0$'ı sırasıyla ilk gizli katman çıktısı ve çıktı ağırlığı olarak belirtilir ve ilk $\boldsymbol{P}_0$ bir birim matrisi olarak ayarlanır. k'ıncı örnek bloğuna ulaşıldığı zaman;

$$\boldsymbol{\beta}_k = \boldsymbol{H}_k^T \left(\frac{\boldsymbol{I}}{C} + \boldsymbol{P}_k \boldsymbol{H}_k \boldsymbol{H}_k^T\right)^{-1} \boldsymbol{P}_k \boldsymbol{Y}_k \tag{3.60}$$

elde edilmektedir. Bu denklemden;

$$\boldsymbol{H}_k = \begin{bmatrix} \boldsymbol{H}_{k-1} \\ \delta \boldsymbol{H}_k \end{bmatrix}, \boldsymbol{P}_k = \begin{pmatrix} \boldsymbol{P}_{k-1} & 0 \\ 0 & \delta \boldsymbol{P}_k \end{pmatrix} \tag{3.61}$$

elde edilir. Burada, $\delta \boldsymbol{H}_k$ ve $\delta \boldsymbol{P}_k$, sırasıyla yeni örneklerin gizli katman çıktısını ve ampirik kayıp ağırlığını temsil eder. $\boldsymbol{P}_k$, yeni ampirik kayıp ağırlığını gösterir.

$$\boldsymbol{K}_k^{-1} = \left(\frac{\boldsymbol{I}}{C} + \boldsymbol{P}_k \boldsymbol{H}_k \boldsymbol{H}_k^T\right)^{-1} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{P}_{k-1}\boldsymbol{H}_{k-1}\boldsymbol{H}_{k-1}^T + \frac{\boldsymbol{I}}{C} & \boldsymbol{P}_{k-1}\boldsymbol{H}_{k-1}\delta \boldsymbol{H}_k^T \\ \delta \boldsymbol{P}_k \delta \boldsymbol{H}_k \boldsymbol{H}_{k-1}^T & \delta \boldsymbol{P}_k \delta \boldsymbol{H}_k \delta \boldsymbol{H}_k^T + \frac{\boldsymbol{I}}{C} \end{pmatrix}^{-1} \tag{3.62}$$

Düzenleme parametresi C nedeniyle, $\boldsymbol{K}_k$ her zaman tersine çevrilebilir. Bu nedenle, $\boldsymbol{K}_k$ şu şekilde elde edilebilir;

$$\boldsymbol{K}_k^{-1} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \tag{3.63}$$

Denklem (3.62) ve denklem (3.63) birleştirirsek;

$$A = \boldsymbol{K}_{k-1}^{-1} + \boldsymbol{K}_{k-1}^{-1}\boldsymbol{P}_{k-1}\boldsymbol{H}_{k-1}\delta\boldsymbol{H}_k^T\boldsymbol{S}_k^{-1}\delta\boldsymbol{P}_k\delta\boldsymbol{H}_k\boldsymbol{H}_{k-1}^T\,\boldsymbol{K}_{k-1}^{-1}$$
$$B = -\boldsymbol{K}_{k-1}^{-1}\,\boldsymbol{P}_{k-1}\boldsymbol{H}_{k-1}\delta\boldsymbol{H}_k^T\boldsymbol{S}_k^{-1} \quad (3.64)$$
$$C = -\boldsymbol{S}_k^{-1}\delta\boldsymbol{P}_k\delta\boldsymbol{H}_k\,\boldsymbol{H}_{k-1}^T\boldsymbol{K}_{k-1}^{-1}$$
$$D = -\boldsymbol{S}_k^{-1}$$

elde edilir. Bu denklemlerden,

$$\boldsymbol{S}_k = \delta\boldsymbol{P}_k\delta\boldsymbol{H}_k\delta\boldsymbol{H}_k^T + \frac{\boldsymbol{I}}{C} - \delta\boldsymbol{P}_k\delta\boldsymbol{H}_k\delta\boldsymbol{H}_{k-1}^T\boldsymbol{K}_{k-1}^{-1}\boldsymbol{P}_{k-1}\boldsymbol{H}_{k-1}\delta\boldsymbol{H}_k^T \quad (3.65)$$

yazılabilir. Denklem (3.60)'dan denklem (3.65)'e kadar çıktı ağırlıkları aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\boldsymbol{\beta}_k = \boldsymbol{H}_k^T\boldsymbol{K}_k^{-1}\boldsymbol{P}_k\boldsymbol{Y}_k \quad (3.66)$$

Burada $\boldsymbol{Y}_k = [\boldsymbol{Y}_{k-1}, \delta\boldsymbol{Y}_k]$, $N < L$ durumunda, k'ıncı veri bloğuna ulaşıldığı zaman (3.61) ila (3.66) güncelleme algoritmasını ifade eder. Bu durumda, gürbüzlük ve genellemenin her ikisinin de model performansını iyileştirdiği düşünülmektedir, fakat $\boldsymbol{H}_k$ önceki örnekleri içermektedir. Bu nedenle, burada örneklerin birikmesiyle öğrenme süresi ve hesaplama maliyeti artacak olması problem oluşturur. Bu sebeple, örneklerin boyutu N $(N \geq L)$ olarak biriktiğinde, yukarıdaki çevrimiçi öğrenme formu yerine aşağıdaki özyinelemeli algoritma kullanılır.

2) N>L olduğu durumda

k'ıncı veri bloğuna ulaşıldığı zaman, denklem (3.57)'e göre şunları elde edebiliriz.

$$\boldsymbol{\beta}_k = \left(\boldsymbol{H}_k^T\boldsymbol{P}_k\boldsymbol{H}_k + \frac{\boldsymbol{I}}{C}\right)^{-\mathbf{1}}\boldsymbol{H}_k^T\boldsymbol{P}_k\boldsymbol{Y}_k \quad (3.67)$$

Burada $\boldsymbol{K}_k^{-1} = \left(\boldsymbol{H}_k^T\boldsymbol{P}_k\boldsymbol{H}_k + \frac{\boldsymbol{I}}{C}\right)^{-1}$'i ayarlarız. Yeni veri bloğu geldiğinde yeni $\boldsymbol{P}_k$ ve $\boldsymbol{H}_k$ (3.61) ile aynıdır. Bu nedenle;

$$\begin{aligned}\boldsymbol{K}_k^{-1} &= \left(\boldsymbol{H}_k^T\boldsymbol{P}_k\boldsymbol{H}_k + \frac{\boldsymbol{I}}{C}\right)^{-1} \\ &= \left([\boldsymbol{H}_{k-1}^T \quad \delta\boldsymbol{H}_k^T]\begin{pmatrix}\boldsymbol{P}_{k-1} & 0\\ 0 & \delta\boldsymbol{P}_k\end{pmatrix}\begin{bmatrix}\boldsymbol{H}_{k-1}\\ \delta\boldsymbol{H}_k\end{bmatrix} + \frac{\boldsymbol{I}}{C}\right)^{-1} \\ &= \left(\boldsymbol{H}_{k-1}^T\boldsymbol{P}_{k-1}\boldsymbol{H}_{k-1} + \delta\boldsymbol{H}_k^T\delta\boldsymbol{P}_k\delta\boldsymbol{H}_k + \frac{\boldsymbol{I}}{C}\right)^{-1} \\ &= (\boldsymbol{K}_{k-1} + \delta\boldsymbol{H}_k^T\delta\boldsymbol{P}_k\delta\boldsymbol{H}_k)^{-1}\end{aligned} \tag{3.68}$$

elde edilmektedir. Sherman-Morrison-Woodbury formülüne göre;

$$(\boldsymbol{A} + \boldsymbol{BCD})^{-1} = \boldsymbol{A}^{-1} - \boldsymbol{A}^{-1}\boldsymbol{B}(\boldsymbol{C}^{-1} + \boldsymbol{DA}^{-1}\boldsymbol{B})^{-1}\boldsymbol{DA}^{-1} \tag{3.69}$$

elde edilmektedir. $\boldsymbol{K}_k^{-1}$ aşağıda verilen şekilde ifade edilebilir;

$$\boldsymbol{K}_k^{-1} = (\boldsymbol{I} - \boldsymbol{Q}_k\delta\boldsymbol{H}_k)\boldsymbol{K}_{k-1}^{-1} \tag{3.70}$$

Bu denklemlerden aşağıdaki denklemler elde edilmektedir.

$$\boldsymbol{Q}_k = \boldsymbol{K}_{k-1}^{-1}\delta\boldsymbol{H}_k^T(\delta\boldsymbol{P}_k^{-1} + \delta\boldsymbol{H}_k\boldsymbol{K}_{k-1}^{-1}\delta\boldsymbol{H}_k^T)^{-1} \tag{3.71}$$

$$\begin{aligned}\begin{bmatrix}\boldsymbol{H}_{k-1}\\ \delta\boldsymbol{H}_k\end{bmatrix}^T &= \begin{pmatrix}\boldsymbol{P}_{k-1} & 0\\ 0 & \delta\boldsymbol{P}_k\end{pmatrix}\begin{bmatrix}\boldsymbol{Y}_{k-1}\\ \delta\boldsymbol{Y}_k\end{bmatrix} \\ &= \boldsymbol{H}_{k-1}^T\boldsymbol{P}_{k-1}\boldsymbol{Y}_{k-1} + \ \delta\boldsymbol{H}_k\ \delta\boldsymbol{P}_k\ \delta\boldsymbol{Y}_k\end{aligned} \tag{3.72}$$

Bu sayede,

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\beta}_k^{-1} &= \boldsymbol{K}_k^{-1}\boldsymbol{H}_k^T\boldsymbol{P}_k\boldsymbol{Y}_k \\ &= \boldsymbol{K}_k^{-1}(\boldsymbol{H}_{k-1}^T\boldsymbol{P}_{k-1}\boldsymbol{Y}_{k-1} + \delta\boldsymbol{H}_k^T\ \delta\boldsymbol{P}_k\ \delta\boldsymbol{Y}_k) \\ &= (\boldsymbol{I} - \boldsymbol{Q}_k\delta\boldsymbol{H}_k)\boldsymbol{K}_{k-1}^{-1}\boldsymbol{H}_{k-1}^T\boldsymbol{P}_{k-1}\boldsymbol{Y}_{k-1} \\ &\quad +(\boldsymbol{I} - \boldsymbol{Q}_k\delta\boldsymbol{H}_k)\boldsymbol{K}_{k-1}^{-1}\delta\boldsymbol{H}_k^T\ \delta\boldsymbol{P}_k\ \delta\boldsymbol{Y}_k \\ &= \boldsymbol{\beta}_{k-1}\boldsymbol{Q}_k\delta\boldsymbol{H}_k\boldsymbol{\beta}_{k-1} + \boldsymbol{Q}_k\delta\boldsymbol{P}_k^{-1}\delta\boldsymbol{P}_k\ \delta\boldsymbol{Y}_k \\ &= \boldsymbol{\beta}_{k-1} + \boldsymbol{Q}_k(\delta\boldsymbol{Y}_k - \delta\boldsymbol{H}_k\boldsymbol{\beta}_{k-1})\end{aligned} \tag{3.73}$$

elde edilir. Yukarıda verilen denklemler genelleştirilerek aşağıdaki şekilde çıktı ağırlıkları elde edilmektedir.

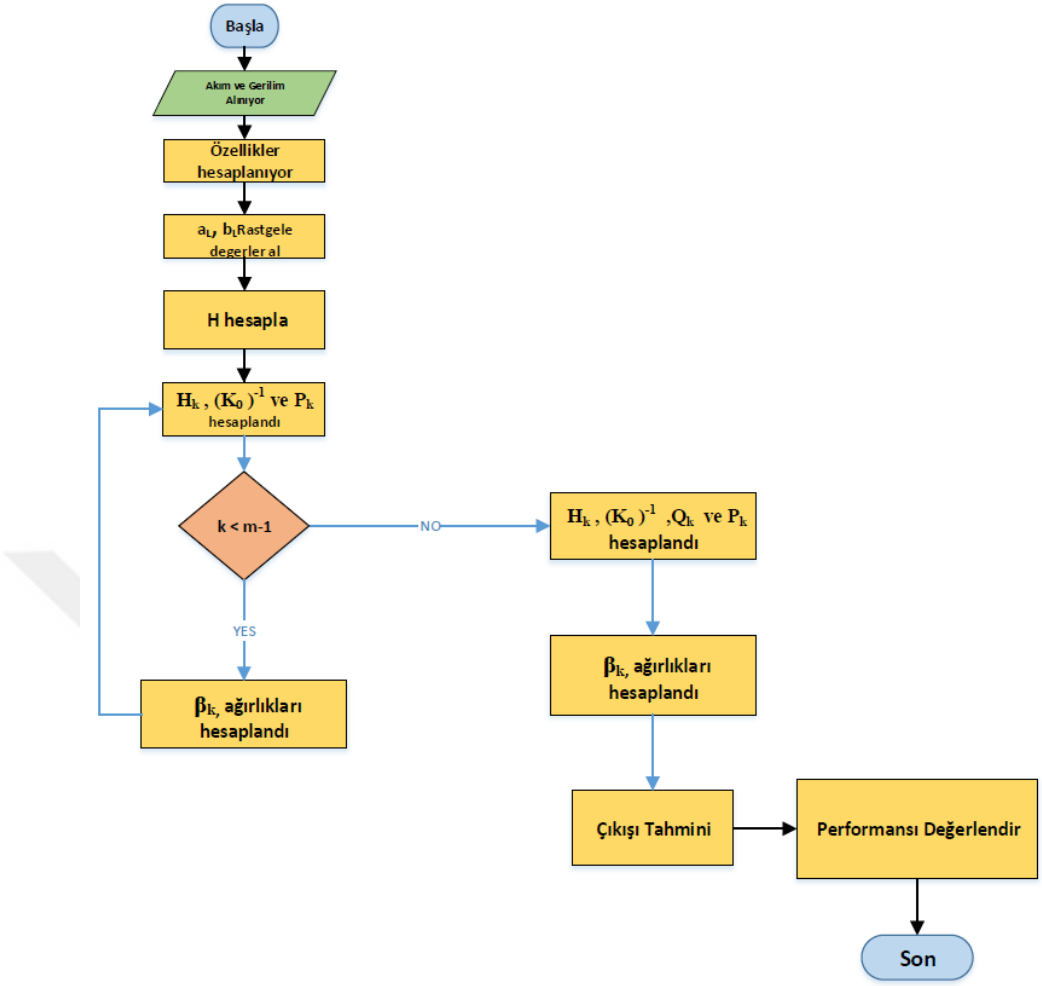
$$\begin{aligned}\boldsymbol{\beta}_k &= \boldsymbol{\beta}_{k-1} + \boldsymbol{Q}_k(\delta\boldsymbol{Y}_k - \delta\boldsymbol{H}_k\boldsymbol{\beta}_{k-1}) \\ \boldsymbol{Q}_k &= \boldsymbol{K}_{k-1}^{-1}\delta\boldsymbol{H}_k^T(\delta\boldsymbol{P}_k^{-1} + \delta\boldsymbol{H}_k\boldsymbol{K}_{k-1}^{-1}\delta\boldsymbol{H}_k^T)^{-1} \\ \boldsymbol{K}_{k-1}^{-1} &= ((\boldsymbol{I} - \boldsymbol{Q}_k\delta\boldsymbol{H}_k)\boldsymbol{K}_{k-1}^{-1}\end{aligned} \tag{3.74}$$

Sistem yeni çalışmaya başladığında, örnekler nispeten seyrek, yani $N < L$'dir . Sonuç olarak, ilk özyinelemeli form bu durumda kullanılabilir. Bununla beraber, örnekler zamanla birikecektir. Bellek alanı ve hesaplama yükü sürekli olarak artacak ve sistemi tahrip edebilecektir. Bu nedenle, $N > L$ olduğu zaman, önceki örnekleri olmayan ikinci özyinelemeli biçim benimsenir. $N < L$ olduğunda, ilk özyinelemeli form, C düzenleme parametresini tam olarak kullanır, öyle ki, ilk öğrenme aşamasının çözümü, düzenlileştirme niteliğindedir. $N > L$ olduğu zaman, ilk aşama çözümleri ikinci öğrenme aşamasının baştaki çözümü olarak kullanılacaktır. Sonuç olarak, genel özyinelemeli sürecin düzenlileştirme özelliğini kullandığını söyleyebiliriz.

Şekil 3.10'da online gürbüz düzenlenmiş RVFLN algoritmasının akış şeması verilmiştir. Bu akış şeması incelendiğinde ilk önce 3 faz akım ve 3 faz gerilim verileri alınır. Daha sonra bu verilerden 14 öznitelik vektörüne göre özellikler hesaplanır. $\{(\boldsymbol{x}_i, y_i)|i = 1, \ldots, N\} \subset \boldsymbol{R}^d \times R$, gizli katman sayısı L ve düzenleme parametresi C belirlenir. $\delta N_0 (\delta N_0 < N)$ boyutunda küçük bir veri parçası geldiğinde, $\boldsymbol{H}_0$ değeri hesaplanır. Başlangıç $\boldsymbol{P}$ bir birim matris olsun $\boldsymbol{K}_0^{-1}$ $\boldsymbol{K}_0^{-1} = \left(\frac{\boldsymbol{I}}{C} + \boldsymbol{P}_0 \boldsymbol{H}_0 \boldsymbol{H}_0^T\right)^{-1}$ ile hesaplanır, burada $\boldsymbol{I}$ birim matristir. m , $N \geq L$ oluştuğu zamanki adımı göstersin, (N kümülatif örnek sayısını temsil eder),

$$\sum_{k=0}^{m-1} \delta N_k \leq L \leq \sum_{k=0}^{m} \delta N_k$$

$k = 1$ ile $m - 1$ için yapılır. k'ıncı veri bloğu geldiğinde $\boldsymbol{H}_k$ denklem (3.61)'a göre hesaplanır. $\boldsymbol{K}_0^{-1}$ denklem (3.63) ile denklem (3.65) arasında hesaplanır. $\boldsymbol{P}_k$'ı denklem (3.57) ile denklem (3.59) ve denklem (3.61) arasında hesaplanır. Çıkış ağırlığı $\boldsymbol{\beta}$ denklem (3.66) ile güncellenir. Ancak $k = m$ ile M olduğu durumda, yani veri kümesi büyüdüğünde algoritmanın ikinci aşaması devreye girer. k'ıncı veri bloğu geldiğinde $\boldsymbol{H}_k$ denklem (3.61)'e göre hesaplanır. $\boldsymbol{K}_0^{-1}$ ve $\boldsymbol{Q}_k$ denklem (3.70) ve denklem (3.71) ile hesaplanır. $\boldsymbol{P}_k$ denklem (3.57) ile denklem (3.59) ve denklem (3.61) arasında hesaplanır. Çıkış ağırlığını $\boldsymbol{\beta}$ denklem (3.74) ile güncellenir.



Şekil 3.10 Online gürbüz düzenlenmiş RVFLN algoritmasının akış şeması

3.4 Verilere Aykırı Değerler Eklenmesi

Bu tezde, IEEE 33-bara ve IEEE 39-bara'dan alınan veri setlerine, farklı oranlarda aykırı değerler eklenerek önerilen yöntemin aykırı değerlere ve gürültüye karşı tepkisine bakılır. İlk olarak IEEE 33-bara ve IEEE 39'dan elde ettiğimiz veri setlerinden %0, %5, %10, %15, . . . , %50 oranında rastgele örnekler alınır. Daha sonra hedef çıktı ön işlenmesiyle aykırı değerler oluşturulur. $Y = [y_1, \dots, y_i]$ olarak seçilen bu normal numunelere denklem (3.75)'de gösterilen şekilde aykırı değerler eklenir [91].

$$y_{i,çıktı} = y_i + sing\ x\ [rand\ (0,1)(max(y_i) - min(y_i))] \tag{3.75}$$

Burada, rand (0,1)'in anlamı, (0, 1) içinde rastgele bir sayıdır. Aynı zamanda max (y_i) ve min (y_i) normal çalışma koşulunda sırasıyla maksimum ve minimum y_i değerini belirtmektedir. Pratik çalışmalarda, aykırı değerleri daha dengesiz hale getirmek için, seçilen örnek noktalarında pozitif sapma aykırı değerlerin ve negatif sapma aykırı değerlerin oranı 2'ye 1 olarak ayarlanmaktadır. Ayrıca, pozitif sapma aykırı değerleri eklerken işaret = 1, negatif sapma aykırı değerler için işaret = -1 olarak belirlenmektedir. Eğitim veri kümesinden farklı olarak, test veri kümesi herhangi bir aykırı değer eklemez. IEEE 33-bara ve IEEE 39-bara'dan elde ettiğimiz veri setleri, farklı aykırı değerler nedeniyle önerilen yöntemin aykırı değer doğruluğunu test etmek için kullanılır. Önce normal eğitim veri setinden örneklerin %20'sini rastgele seçilir. Ardından, seçilen örneklerin hedef çıktısını denklem (3.76)'deki gibi ön işleme tabi tutulur [91].

$$y_{i,çıktı} = y_i + \alpha \; x \; sing \; x \left[rand\ (0,1)\big(max(y_i) - min(y_i)\big)\right] \tag{3.76}$$

α = 0, 0,5, 1, 1,5, . . . , 5 aykırı değerlerin genliğini belirlemek için kullanılmaktadır. Benzer şekilde, seçilen örnek noktalarında eklenen pozitif sapma aykırı değerleri ve negatif sapma aykırı değerleri kullanılmaktadır. Aykırı değerleri daha dengesiz hale getirmek için pozitif sapma aykırı değerlerin ve negatif sapma aykırı değerlerin oranı 2'ye 1 ayarlanmıştır [91]. Ayrıca, test veri setine herhangi bir aykırı değer eklenmemiştir.

3.5 Gerçek Zamanlı Dijital Simülatör (RTDS)

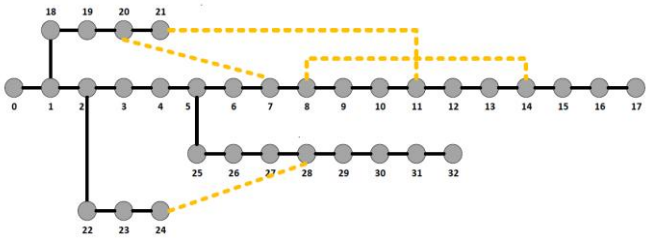
Modern güç ve enerji sistemleri, dağıtım, iletim, üretim, depolama, elektrikli araçların dağıtım şebekesine geniş entegrasyonu, yenilenebilir enerji sistemlerinin ara bağlantısı ve tüketiciler ile karakterize edilir. Bu durum çok karmaşık yapıya neden olur. Bu karmaşık ortamda güç ekipmanını ve kontrolleri verimli bir şekilde doğrulamak, daha temiz ve sürdürülebilir bir enerji sistemine geçişi desteklemek için gelişmiş test ve doğrulama yöntemlerine ihtiyaç vardır [105]. Daha önceleri modellemeler geleneksel fazör tabanlı yaklaşımlarından yararlanılarak yapıyordu. Ancak fazör tabanlı modelleme araçları, geçici koşullar sırasında düşük seviyeli dönüştürücü kontrollerini temsil etme veya hızlı ağ dinamiklerini yakalama yeteneklerinden yoksun oldukları için iyi sonuçlar elde edilemiyordu. Modern güç sistemleri için, EMT simülasyon tabanlı simülatörler, geniş bir frekans aralığında sonuç sağlama yetenekleri nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Bu tezde orijinal olarak 1980'lerde geliştirilen gerçek

zamanlı bir simülatör olan Gerçek Zamanlı Dijital Simülasyon Yazılımı (RTDS) kullandık [106,107].

RTDS, güç sistemi ekipmanlarını gerçek sistemlere bağlanmadan önce yeni fikirleri uygulamak ve mevcut fikirleri test etmek için kullanılır. Gerçek Zamanlı Simülasyon Yazılım Paketi (RSCAD) RTDS'de kullanılan simülasyon ara yüzüdür ve güç sistemlerinin simülasyonu için tasarlanmıştır. RSCAD güç sistemini simüle etmek için kitaplığında çok sayıda güç sistemi bileşeni içerir. Böylece güç sistemlerini ve mikro şebekeleri gerçek zamanlı olarak oluşturmak, kontrol etmek ve analiz etmek mümkündür [108,109]. Tez çalışmasında kısa devre arızalarını oluşturabilmek ve verileri gerçek zamanlı olarak elde edebilmek için IEEE 33-baralı ve IEEE 39-baralı güç dağıtım sistemleri RSCAD simülasyon yazılımında modellenmiştir.

3.6 IEEE 33-Baralı Sistem

Dağınık güç üretim sistemleri, yenilenebilir enerji sistemleri, dağınık depolama ve elektrikli ekipman gibi enerji kaynaklarının güç sistemlerine dahil edilmesinin bir sonucu olarak, dağıtım sistemleri daha karmaşık hale gelmiştir. Bu nedenle, dağıtım sistemi çalışmaları için genişletilmiş bir test ölçeği gereklidir. Baran Wu [110] tarafından geliştirilen IEEE 33-bus sistemi, gerçek zamanlı akıllı dağıtım sistemlerinin neredeyse tüm özelliklerini kapsayan küçük ama kapsamlı bir yapıdır. IEEE 33-baralı dağıtım test sistemi Şekil 3.11'de gösterilmiştir. IEEE 33-baralı radyal dağıtım sistemi otuz üç bara ve otuz iki hattan oluşur. Tüm baralar 12,66 kV gerilim seviyesinde çalışmaktadır. Tüm baralar için maksimum ve minimum gerilim limitleri ±%5 kabul edilir. Şebeke, farklı güç faktörlerine sahip otuz iki baraya bağlı toplam 3,715 MW aktif ve 2,3 MVAR reaktif güce sahiptir [111-114]. IEEE 33-bara sistemi, modern güç dağıtım ağları için gelişmiş bir kriter sunar ve uygun reaktif güç kompanzasyon üniteleri, tek fazlı üretim entegrasyonu, depolama üniteleri, dengeli ve dengesiz üç fazlı yükleme varyasyonları ile araştırma çalışmaları ihtiyaçları için uygundur.



Şekil 3.11 IEEE 33-baralı dağıtım sistemi

Tablo 3.1'de IEEE 33-baralı dağıtım sisteminde hangi baranın ne kadarlık bir yük ile yüklendiği gösterilmiştir [112].

Tablo 3.1 IEEE 33-baralı sistemin yük parametreleri [112]

Bara No	**P (kW)**	**Q (kVAR)**
2	100	60
3	90	40
4	120	80
5	60	30
6	60	20
7	200	100
8	200	100
9	60	20
10	60	20
11	45	30
12	60	35
13	60	35
14	120	80
15	60	10
16	60	20
17	60	20
18	90	40
19	90	40
20	90	40
21	90	40
22	90	40
23	90	50
24	420	200
25	420	200
26	60	25
27	60	25
28	60	20
29	120	70
30	200	600
31	150	70
32	210	100
33	60	40

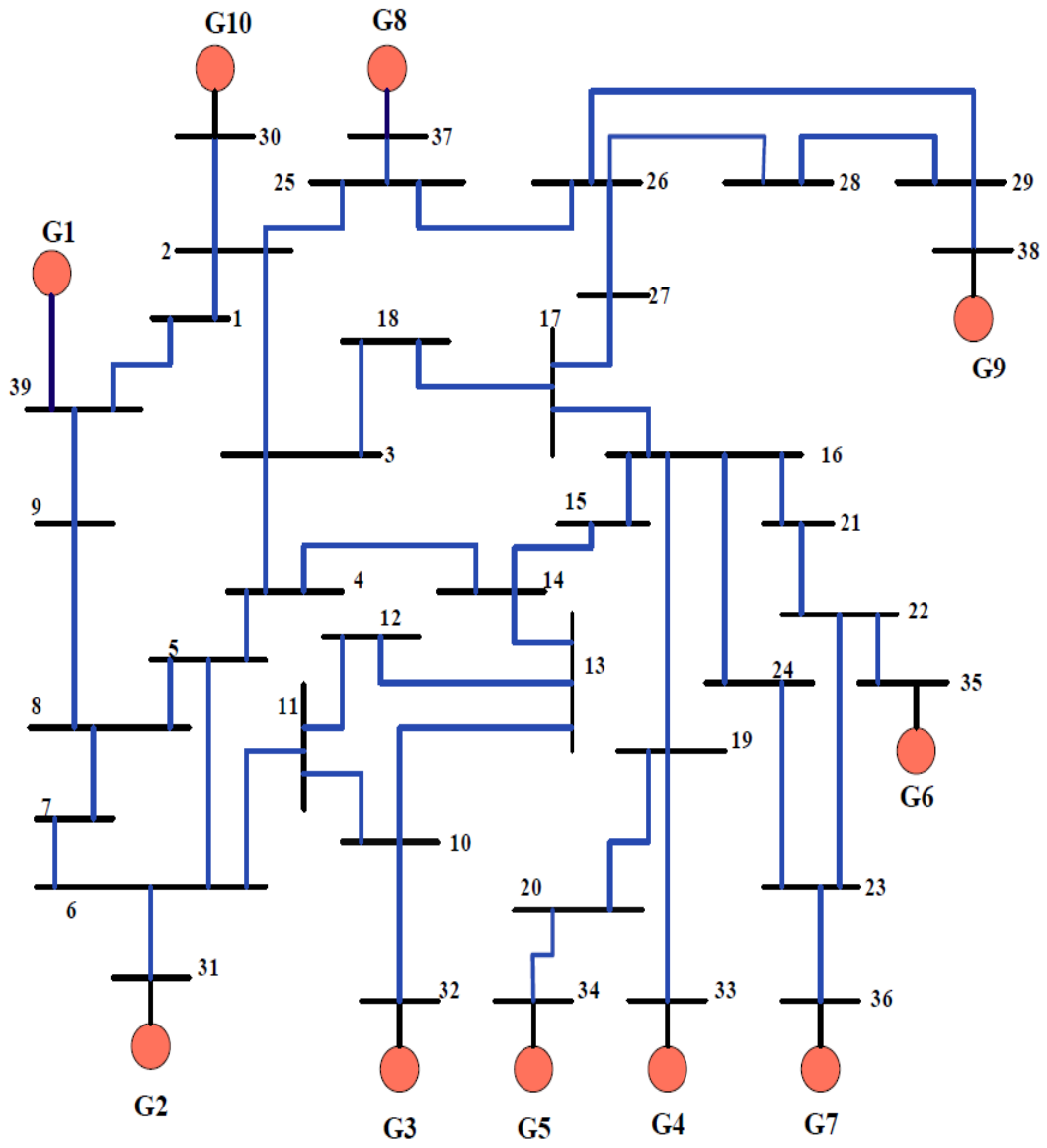
Tablo 3.2'de IEEE 33-baralı dağıtım sistemindeki iletim hattı parametreleri gösterilmiştir [112].

Tablo 3.2 IEEE 33-baralı sistemin iletim hattı parametreleri [112]

		km	**R (ohm/km)**	**X (ohm/km)**
1	2	1	0,0922	0,047
2	3	1	0,483	0,2511
3	4	1	0,366	0,1864
4	5	1	0,3811	0,1941
5	6	1	0,819	0,707
6	7	1	0.1872	0,6188
7	8	1	1,7114	1,2351
8	9	1	1,03	0,74
9	10	1	1,044	0,74
10	11	1	0,1966	0,065
11	12	1	0,3744	0,1238
12	13	1	1,468	1,155
13	14	1	0,5416	0,7129
14	15	1	0,591	0,526
15	16	1	0,7463	0,545
16	17	1	1,289	1,721
17	18	1	0,732	0,547
2	19	1	0,164	0,1565
19	20	1	1,5042	1,3554
20	21	1	0,4095	0,4784
21	22	1	0,7089	0,9373
3	23	1	0,4512	0.3083
23	24	1	0,898	0,7091
24	25	1	0,896	0,7011
6	26	1	0,203	0,1034
26	27	1	0,2842	0,1447
27	28	1	1,059	0,9337
28	29	1	0,8042	0,7006
29	30	1	0,5075	0,2585
30	31	1	0,9744	0,963
31	32	1	0,3105	0,3619
32	33	1	0,341	0,5302

3.7 IEEE 39-Baralı Sistem

IEEE 39-baralı dağıtım sistemi, Amerika Birleşik Devletleri'nin New England bölgesindeki bir dağıtım sistemidir. Sistemde 10 generatör, 39 bara, 12 transformatör, 34 adet iletim hattı ve 19 adet yük noktası bulunmaktadır. Temel yapılandırma için toplam güç 6145,97 MW aktif ve 1363,41 MVAR reaktif güçten oluşmaktadır [115-119]. IEEE 39-baralı dağıtım sisteminin topolojisi şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12 IEEE 39-baralı sistem

IEEE 39-baralı dağıtım sisteminin genaratörlerin orijinal per-unit değerleri Tablo 3.3'de verilmiştir [120].

Tablo 3.3 IEEE 39-baralı sistemin generatör parametreleri[120]

Generatör No	Bara No	Anma Gücü	H	x'd	x'q	xd	xq	T'do	T'qo	xl
1	39	10000	5	0,6	0,8	2	1,9	7	0,7	0,3
2	31	1000	3,03	0,7	1,7	2,95	2,8	6,6	1,5	0,35
3	32	1000	3,58	0,53	0,88	2,5	2,4	5,7	1,5	0,3
4	33	1000	2,86	0,44	2	2,62	2,6	5,7	1,5	0,3
5	34	600	4,33	0,79	1	4,02	3,7	5,4	0,4	0,32
6	35	1000	3,48	0,5	0,81	2,54	2,4	7,3	0,4	0,22
7	36	1000	2,64	0,49	1,86	2,95	2,9	5,7	1,5	0,32
8	37	1000	2,43	0,57	0,91	2,9	2,8	6,7	0,4	0,28
9	38	1000	3,45	0,57	0,59	2,11	2,1	4,8	2	0,3
10	30	1000	4,2	0,31	0,08	1	0,7	10	0	0,13

Tablo 3.4'de IEEE 39-baralı dağıtım sisteminin transformatör parametreleri verilmiştir [120].

Tablo 3.4 IEEE 39-baralı sistemin transformatör parametreleri [120]

		S(MVA)	Primer Gerilim (kV)	Sekonder Gerilim (kV)	R	X
11	12	100	500	25	0,0016	0,0435
13	12	100	500	25	0,0016	0,0435
6	31	100	500	20	0	0,025
10	32	100	500	20	0	0,02
19	33	100	500	20	0,0007	0,0142
20	34	100	500	20	0,0009	0,018
22	35	100	500	20	0	0,0143
23	36	100	500	20	0,0005	0,0272
25	37	100	500	20	0,0006	0,0232
2	30	100	500	20	0	0,0181
29	38	100	500	20	0,0008	0,0156
19	20	100	500	500	0,0007	0,0138

Tablo 3.5'de IEEE 39-baralı dağıtım sisteminin iletim hatları parametreleri verilmiştir. Bu parametre değerleri birim başına gerilim temel gerilim değeri 500 kV ve temel güç değeri 100 MW seçilmiştir [120].

Tablo 3.5 IEEE 39-baralı sistemin iletim hatları parametreleri [120]

		km	R1 (ohm/km)	X1 (ohm/km)	B1(uS/km)	R0 (ohm/km)	X0 (ohm/km)	B0(uS/km)
1	2	275,50	0,032	0,373	1,015	0,318	1,119	0,609
1	39	167,60	0,015	0,373	1,79	0,149	1,119	1,074
2	3	101,2	0,032	0,373	1,017	0,321	1,119	0,61
2	25	57,6	0,304	0,373	1,013	3,036	1,119	0,608
3	4	142,8	0,023	0,373	0,62	0,228	1,119	0,372
3	18	89,10	0,031	0,373	0,959	0,308	1,119	0,576
4	5	85,80	0,023	0,373	0,626	0,233	1,119	0,375
4	14	86,50	0,023	0,373	0,639	0,231	1,119	0,384
5	6	17,40	0,029	0,373	0,996	0,287	1,119	0,598
5	8	75,10	0,027	0,373	0,786	0,266	1,119	0,472
6	7	61,70	0,024	0,373	0,733	0,243	1,119	0,44
6	11	55,00	0,032	0,373	1,011	0,318	1,119	0,607
7	8	30,80	0,032	0,373	1,012	0,324	1,119	0,607
8	9	243,30	0,024	0,373	0,625	0,236	1,119	0,375
9	39	167,60	0,015	0,373	2,865	0,149	1,119	1,719
10	11	28,80	0,035	0,373	1,012	0,347	1,119	0,607
10	13	28,80	0,035	0,373	1,012	0,347	1,119	0,607
13	14	67,70	0,033	0,373	1,018	0,332	1,119	0,611
14	15	145,40	0,031	0,373	1,007	0,309	1,119	0,604
15	16	63,00	0,036	0,373	1,086	0,357	1,119	0,651
16	17	59,70	0,029	0,373	0,9	0,293	1,119	0,54
16	19	130,70	0,031	0,373	0,93	0,306	1,119	0,558
16	21	90,50	0,022	0,373	1,126	0,221	1,119	0,676
16	24	39,50	0,019	0,373	0,688	0,19	1,119	0,413
17	18	55,00	0,032	0,373	0,96	0,318	1,119	0,576
17	27	116,00	0,028	0,373	1,109	0,28	1,119	0,666
21	22	93,80	0,021	0,373	1,093	0,213	1,119	0,656

Tablo 3.5 (Devam)

		km	R1 (ohm/km)	X1 (ohm/km)	B1(uS/km)	R0 (ohm/km)	X0 (ohm/km)	B0(uS/km)
22	23	64,30	0,023	0,373	1,148	0,233	1,119	0,689
23	24	234,60	0,023	0,373	0,616	0,234	1,119	0,369
25	26	216,50	0,037	0,373	0,948	0,37	1,119	0,569
26	27	98,50	0,036	0,373	0,973	0,355	1,119	0,584
26	28	317,70	0,034	0,373	0,982	0,338	1,119	0,589
26	29	418,90	0,034	0,373	0,983	0,34	1,119	0,59
28	29	101,20	0,035	0,373	0,984	0,346	1,119	0,6

IEEE 39-baralı dağıtım sisteminin hangi baranın ne kadarlık güç ile yüklenmiş olduğu Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6 IEEE 39-baralı sistemin yük parametreleri [120]

Bara no	P (MW)	Q (MVAR)
1	97,6	44,2
3	322	2,4
4	500	184
7	233,8	84
8	522	176
12	8,50	88
15	320	153
16	329	32,3
18	158	30
20	680	103
21	274	115
23	247,5	84,6
24	308,6	-92,2
25	224	47,2
26	139	17
27	281	75,5
28	206,00	27,60
29	283,50	29,90
31	9,20	4,60
39	1104	250

3.8 Karşılaştırılan Yöntemlerin Özellikleri

Bu tez çalışmasında RSCAD simülasyon programında oluşturulan IEEE 33-baralı ve IEEE 39-baralı sistemlerde yapılan faklı yer ve türdeki kısa devrelerden veriler elde edilerek yöntemlerin başarımları tespit edilmiştir. Bu simülasyonlardan elde edilen veriler Matlab simülasyon programında etiketlenerek veri dosyası hazırlanmıştır. Daha sonra veri dosyasında bölüm 3.5'te anlatılan şekilde aykırı değer ve gürültüler eklenmiştir. Bu veri dosyaları arıza tipi ve yeri tespiti için Matlab programı kullanılmıştır. Matlab programında aşağıda anlatılan yöntemlerin modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra veri dosyası ve etiket dosyası belirlenerek arıza tipi ve arıza yeri tespiti yapılmıştır. Bu tez çalışmasında karşılaştırılması yapılan CNN, LSTM, SVM, ELM klasik makine öğrenme yöntemleri model özellikleri aşağıda verilmiştir.

- CNN Modeli 6 adet evrişim, 4 adet subsampling ve 1 adet FC ve 1 adet softmax katmanlarından oluşmaktadır. Modelde yer alan evrişim katmanlarında ilgili sinyallere sırasıyla 32 adet 5 boyutlu, 64 adet 3 boyutlu, 128 adet 5 boyutlu, 256 adet 3 boyutlu, 256 adet 7 boyutlu ve 32 adet 3 boyutlu filtreler uygulanmaktadır. Her bir alt örneklem katmanında stride değeri 2 olarak alınmakta ve elde edilen çıktı sinyali bu sebeple yarıya düşürülmektedir. Modelde ReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır. Son aşamada ise sırasıyla tek boyutlu 512 uzunluklu bir vektör elde edebilmek için dense katmanına girdi olarak verilmiş ve sonrasında sınıflandırmak amacıyla sınıf sayısı kadar (sınıf sayısı 4) nörondan oluşan softmax katmanları uygulanmaktadır.
- LSTM modeli 32 bellek birimi içerir. Modelde ReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır. Son aşamada ise sırasıyla tek boyutlu 512 uzunluklu bir vektör elde edebilmek için dense katmanına girdi olarak verilmiş ve sonrasında sınıflandırmak amacıyla sınıf sayısı kadar (sınıf sayısı 4) nörondan oluşan softmax katmanları uygulanmaktadır.
- ELM ve RVFLN için 65 gizli birim katmanı bulunmaktadır, aktivasyon fonksiyonu sigmoid kullanılmış; yarıçap temel işlev genişliği=1 olarak alınmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde IEEE 33-baralı ve IEEE 39-baralı sistemlerinden gerçek zamanlı simülasyon ile 12672 adet farklı yer ve türde oluşturulan kısa devreler sonucu toplanan verilerin Matlab programı kullanılarak oluşturulan yöntemlere uygulanması ile elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

4.1 IEEE 33-baralı Simülasyon Sonuçları

Şekil 4.1'den görüldüğü üzere IEEE 33-baralı güç dağıtım sistemi RSCAD simülasyon yazılımında modellenmiştir. Şekil 4.1'de RSCAD simülatörde oluşturulan IEEE 33-baralı sistem paylaşılmıştır. Şekil 4.1 dikkatli incelendiğinde IEEE 33-baralı sistemde tek genaratör kullanırlarken bu tez çalışmasında farklı baralara aynı özelliklerde 9 tane genaratör eklenmiştir. Daha sonra 8 farklı baradan (n=7, 8, 11,14, 20, 21, 24, 28) 3 faz akım ve 3 faz gerilim değerleri ölçülmüştür. Tablo 4.1'de RSCAD simülasyon parametreleri verilmiştir. Bu modelde verilen parametreler 9 (Arıza başlangıç açısı) x 11(farklı arıza türü) x 4 (arıza empedansı) x 32 (iletim hattı) =12672 adet kısa devre arızası RSCAD oluşturulmuştur.

Tablo 4.1 IEEE 33-baralı sistemin RSCAD simülasyon parametreleri

Simülasyon Parametresi	
Sistem Frekansı (Hz)	50 ± %5
Sistem Gerilimi (kV)	12
Arıza Başlangıç Açıları (derece)	0°, 45°, 60°, 90°,135°, 170°, 225°, 260°, 320°
Arıza Empedansı (ohm)	0, 30,50, 100

Bu tez çalışmasında, literatürde var olmayan F9 ile F14 özellikleri önerilmiştir. RSCAD'de Tablo 4.1 verilen parametreler ile oluşturulan modelden elde edilen akım ve gerilim verilerden Cauchy-M-RVFLN ağını eğitmeden önce yeni önerilen özelliklerin etkisi araştırılmıştır.

Tablo 4.2'de verildiği üzere literatürde var olan F1 ile F8 yapılan arıza tespit başarım oranı ile bu tez çalışmasında önerilen F9 ile F14 arasında 6 yeni öznitelik vektörü eklenince Cauchy-M-RVFLN yöntemiyle yapılan arıza tipi tespit başarım oranı

verilmiştir. Oluşturulan yeni özellik matrisine göre arıza tipi tespit başarım oranı %2 ile %11 oranında artmıştır.

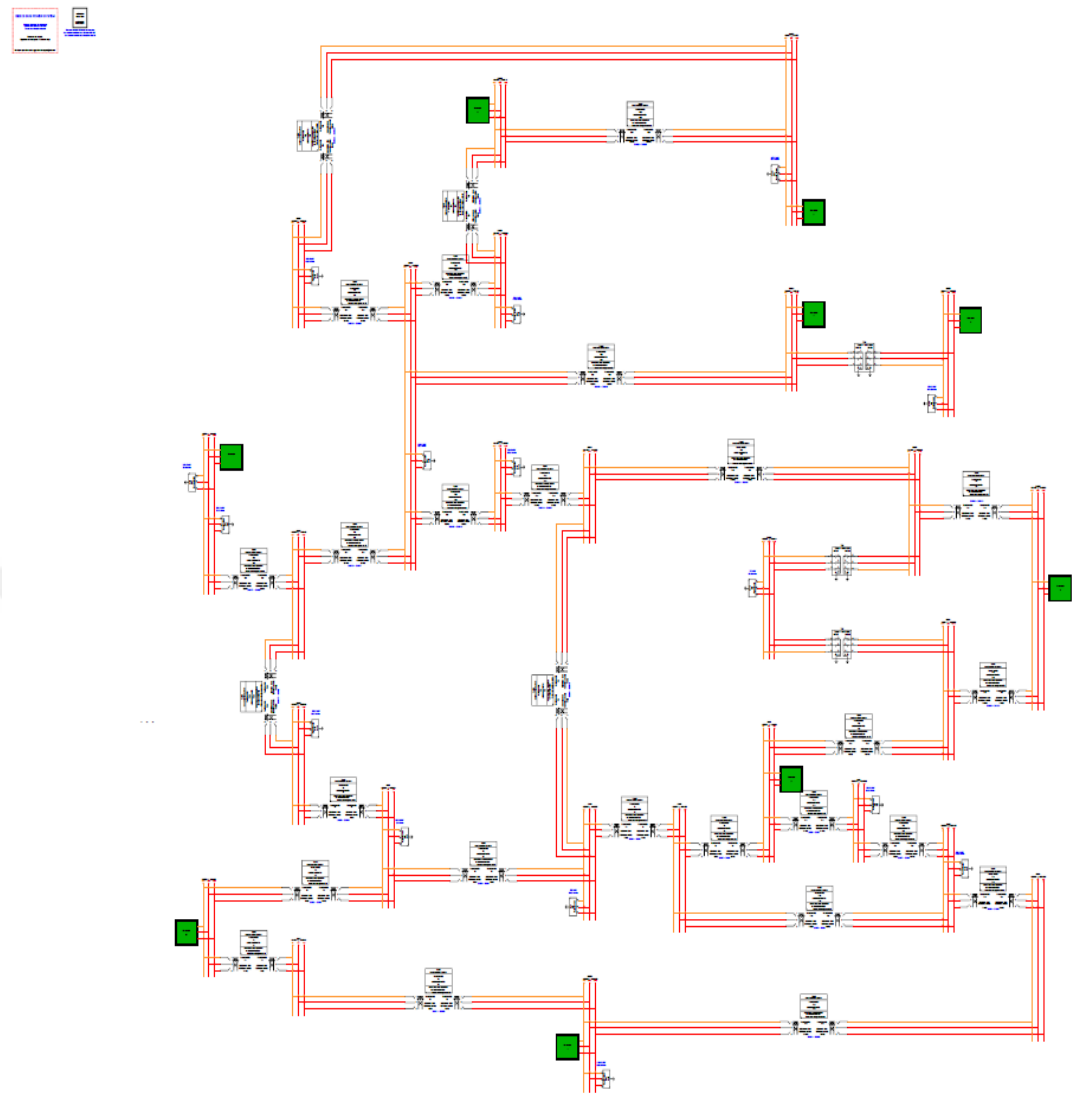
Tablo 4.2 Özelliklerin arıza türü tespitindeki başarım oranlarının farklı arıza türleri için karşılaştırılması (%)

	F1 ile F8 ÖZELLİKLERİ				**F1 ile F14 ÖZELLİKLERİ**			
	Tek-faz toprak arızası	İki-faz toprak arızası	Faz-faz arızası	Üç faz arızası	Tek-faz toprak arızası	İki-faz toprak arızası	Faz-faz arızası	Üç faz arızası
0 ohm	100	98	98	100	100	100	100	100
30 ohm	98	91	88	93	100	100	100	100
50 ohm	95	89	85	92	100	96	95	98
100 ohm	91	87	82	89	100	94	93	97

IEEE 33-baralı sistemde önerilen Cauchy-M-RVFLN yöntemiyle yapılan arıza sınıflandırma doğruluk sonuçları tablo 4.3 verilmiştir. Tablo 4.3'de görüldüğü üzere farklı hata empedansları için farklı tipte arızaların sınıflandırma doğruluğunda, gürültüsüz ve gürültülü veriler için çok yakın sonuçlar bulunmuştur. Gürültülü durumda kullanılan yöntemin doğruluğunda yaklaşık olarak %2 oranında azalma olmuştur. Ancak kullanılan yöntemin eklenen gürültülere göre doğruluk oranı çok yüksektir. Buda yöntemin gürültüye rağmen doğru sonuçlar verdiğini göstermiş ve doğruluğunu ispatlamıştır. En düşük doğruluğun %80 ile faz-faz kısa devresinde 100 ohm arıza empedansı için gürültülü verilerde elde edildiği görülmektedir. Gürültüsüz verilerde başarımın %93'ün üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.3 Cauchy M-RVFLN başarım oranları (%)

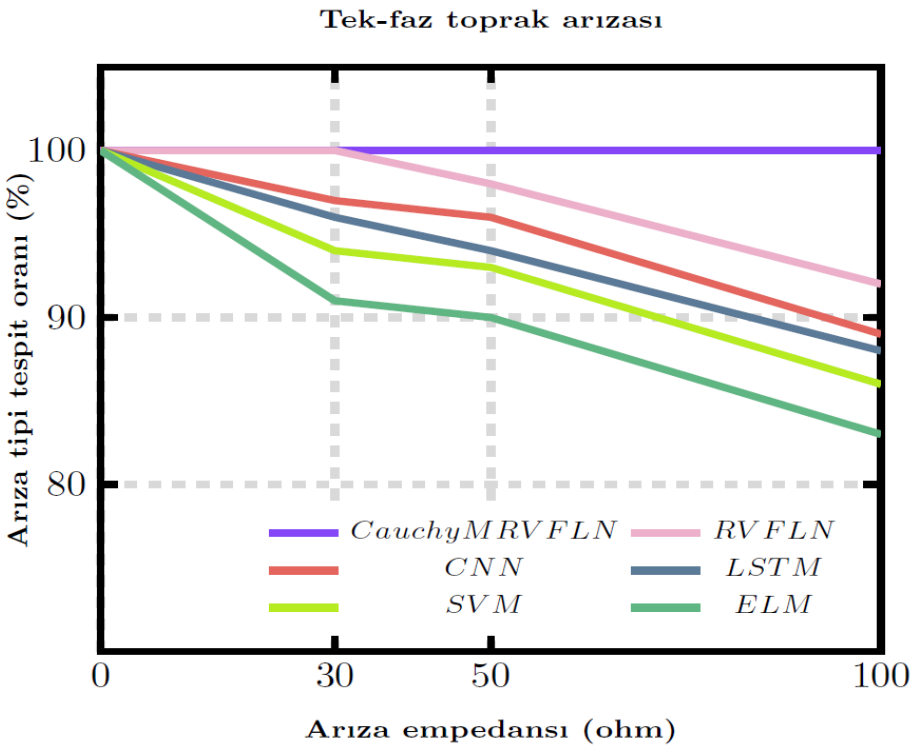
	Tek faz-toprak arızası		**İki faz-toprak arızası**		**Faz-faz arızası**		**Üç faz arızası**	
	Gürültü Eklenmemiş	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**
0 ohm	100	100	100	95	100	94	100	98
30 ohm	100	95	100	88	100	85	100	96
50 ohm	100	94	100	86	95	82	100	92
100 ohm	100	92	94	85	93	80	96	90



Şekil 4.1 IEEE 33-baralı sistemin RSCAD modeli

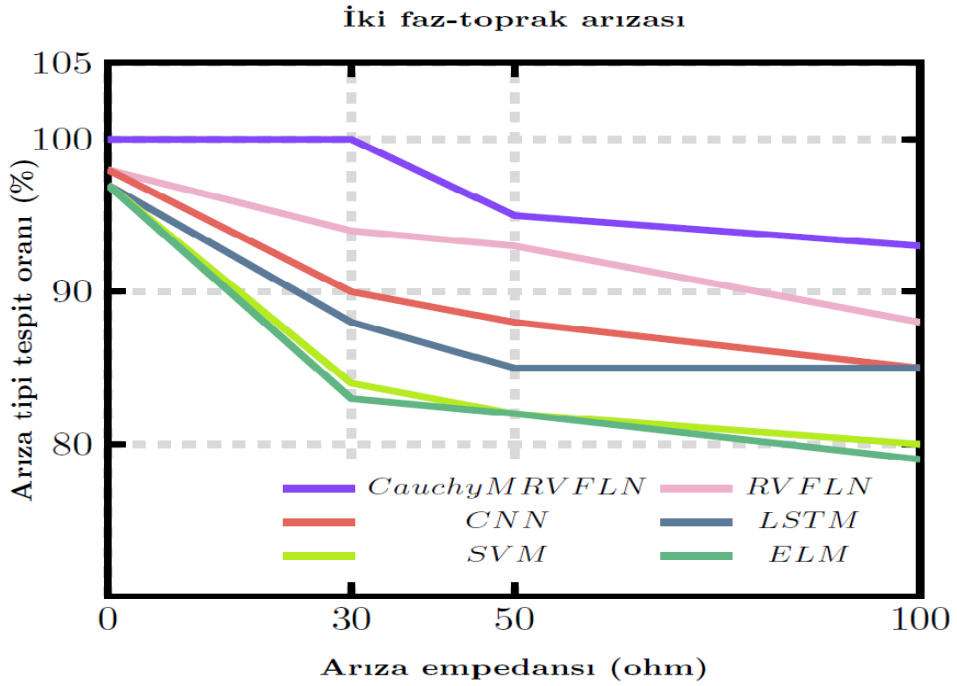
4.1.1 Gürültü ve aykırı değerler eklenmemiş veriler ile arıza tespiti

Bu tez çalışmasında hazırlanan simülasyon modeli yardımıyla RTDS'den elde edilen sonuçlar ile veri setleri oluşturulmuştur. Bu veri setine göre dağıtım şebekesinde arızayı bulmak için kullanılan geleneksel makine öğrenme metotları olan CNN, LSTM, SVM, ELM, ile bu tez çalışmasında önerilen RVFLNs ve Cauchy-M-RVFLN yöntemlerinin arızayı tespit etme doğruluğu karşılaştırılmıştır.



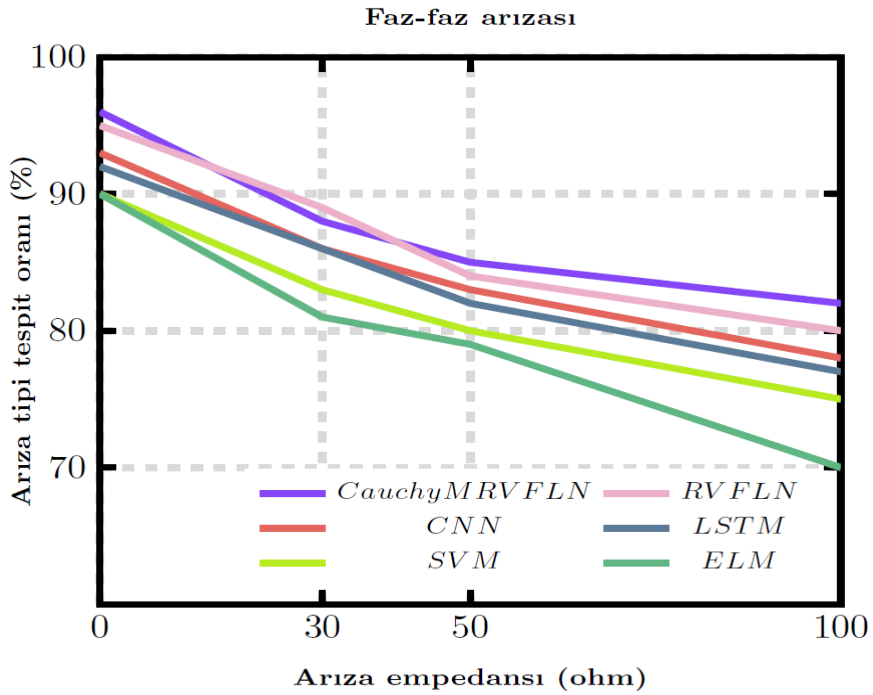
Şekil 4.2 Tek faz-toprak arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları

Şekil 4.2'de görüldüğü üzere tek faz-toprak gürültü eklenmemiş verilerinde en yüksek doğruluk oranına Cauchy-M-RVFLN yöntemiyle ulaşılmıştır. Cauchy-M-RVFLN yöntemi 0 ohm arıza empedansında %100 doğrulukta arıza tespiti yaparken, 100 ohm arıza empedansında için %100 oranında arıza tespiti yapmıştır. RVFLN yöntemi 0 ohm arıza empedansında %100 doğrulukta arıza tespiti yaparken 100 ohm arıza empedansında %92 oranında arıza tespiti yapmıştır. CNN yöntemiyle 0 ohm arıza empedansında en iyi ikinci doğruluk olan %100 doğrulukta arıza tespiti yaparken, 100 ohm arıza empedansında %89 oranında doğrulukla RVFLN yönteminin doğruluğundan daha az doğrulukla hata tespiti yapılmıştır. LSTM, SVM ve ELM yöntemleri doğruluk açısından sırasıyla 4., 5. ve 6. sırada sınıflandırma yapmışlardır.



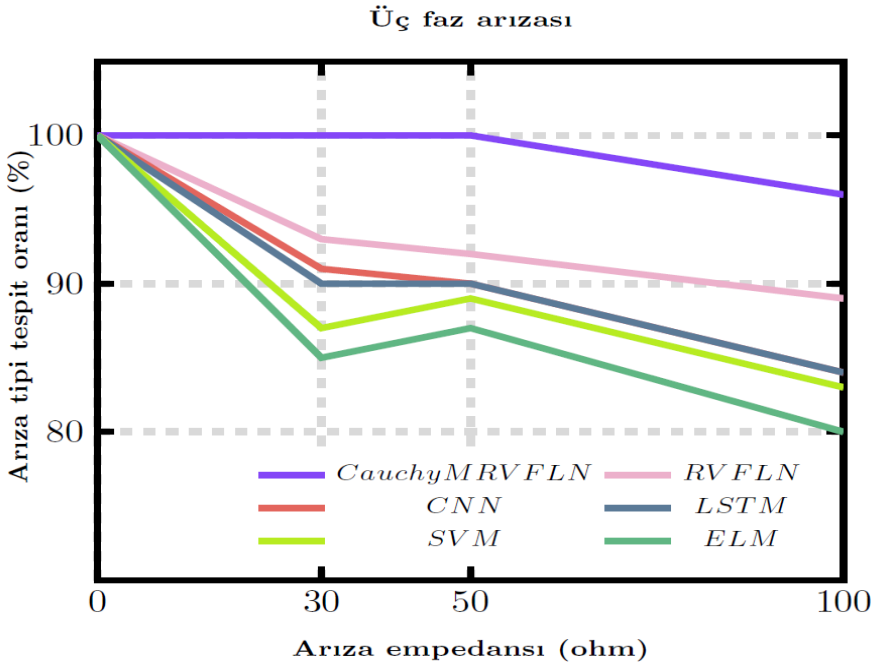
Şekil 4.3 İki faz-toprak arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları

Şekil 4.3'de verilen iki faz-toprak arızası gürültü eklenmemiş verilerde en yüksek doğruluk oranına Cauchy-M-RVFLN yöntemiyle ulaşılmıştır. Cauchy-M-RVFLN yöntemi 0 ohm arıza empedansında %100 doğrulukta arıza tespiti yaparken, 100 ohm arıza empedansı için %93 oranında arıza tespiti yapmıştır. RVFLN yöntemi 0 ohm arıza empedansında %98 doğrulukta arıza tespiti yaparken 100 ohm arıza empedansında %88 oranında arıza tespiti yapmıştır. CNN yöntemiyle 0 ohm arıza empedansında en iyi ikinci doğruluk olan %98 doğrulukta arıza tespiti yaparken, 100 ohm arıza empedansında %85 oranında doğrulukla RVFLN yönteminin doğruluğundan daha az doğrulukla hata tespiti yapılmıştır. LSTM, SVM ve ELM yöntemleri doğruluk açısından sırasıyla 4., 5. ve 6. sırada sınıflandırma yapmışlardır.



Şekil 4.4 Faz-faz arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları

Şekil 4.4'den görüldüğü üzere faz-faz arızası gürültü eklenmemiş verilerde en yüksek doğruluk oranına Cauchy-M-RVFLN yöntemiyle ulaşılmıştır. Cauchy-M-RVFLN yöntemiyle 0 ohm arıza empedansında %96 doğrulukta arıza tespiti yaparken 100 ohm arıza empedansında 82% oranında arıza tespiti yapılmıştır. Cauchy-M-RVFLN yöntemi kendisine en yakın doğrulukta sınıflandırma yapan RVFLN yöntemine göre %2 daha fazla oranda doğrulukla sınıflandırma yapmıştır. CNN, LSTM, SVM ve ELM yöntemleri empedans değeri arttıkça doğruluk oranı büyük oranda düşüler göstermiştir.

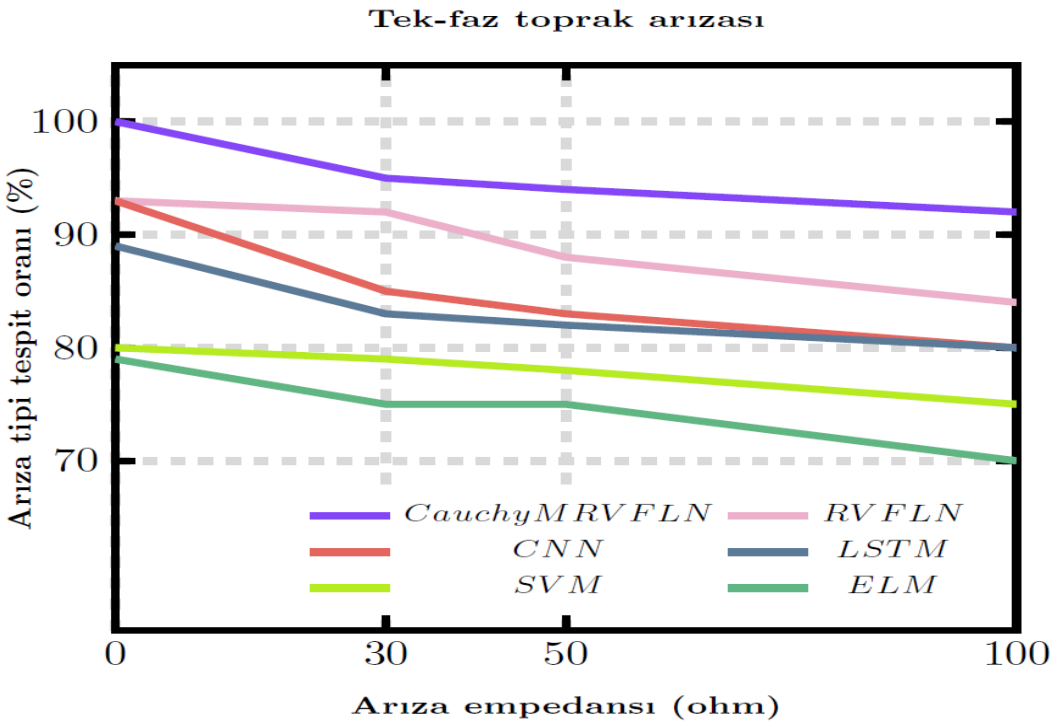


Şekil 4.5 Üç faz arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları

Şekil 4.5'te verildiği üzere üç faz arızası gürültü eklenmemiş verilerinde en yüksek doğruluk oranına Cauchy-M-RVFLN yöntemiyle ulaşılmıştır. Cauchy-M-RVFLN yöntemiyle 0 ohm arıza empedansında %100 doğrulukta arıza tespiti yaparken 100 ohm arıza empedansında %96 oranında arıza tespiti yapılmıştır. RVFLN yöntemiyle 0 ohm arıza empedansında %100 doğrulukta arıza tespiti yaparken 100 ohm arıza empedansında %89 oranında arıza tespiti yapılmıştır. CNN ve LSTM yöntemiyle 0 ohm arıza empedansında %100 doğrulukta arıza tespiti yaparken 100 ohm arıza empedansında %84 oranında arıza tespiti yapılmıştır. SVM ve ELM yöntemleri yüzde %84'ün altında değerlerde doğruluk oranı göstermişlerdir.

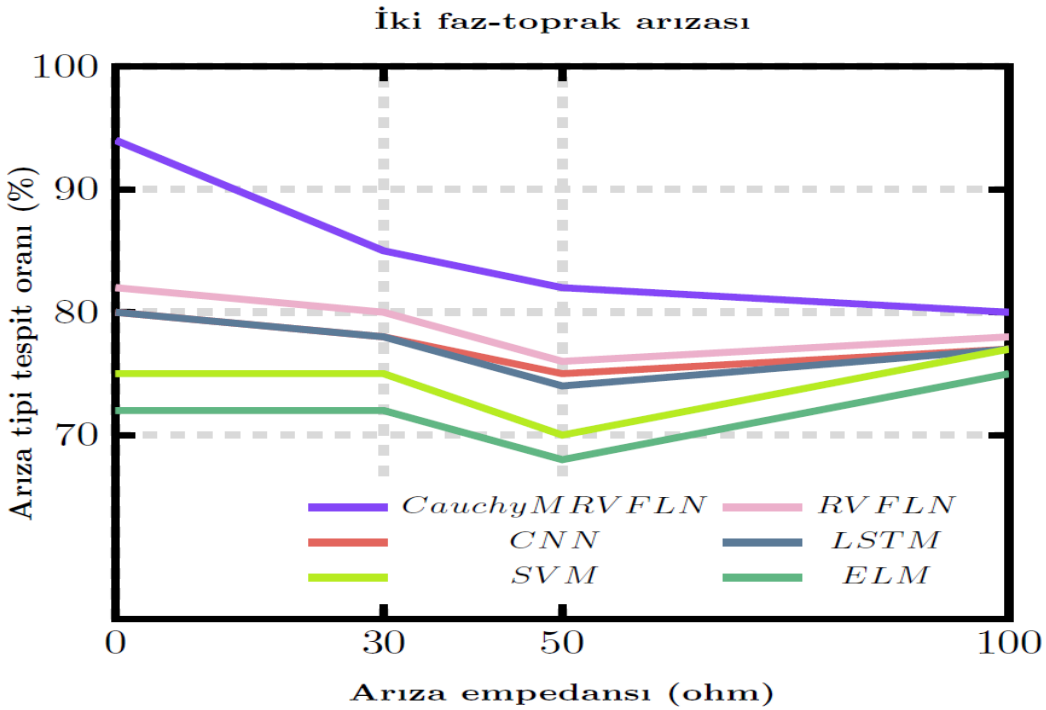
4.1.2 Gürültü ve aykırı değerler eklenmiş veriler ile arıza tespiti

Bu çalışmada daha önce RTDS'de hazırladığımız verilere, denklem (3.75) ve denklem (3.76)'da anlatıldığı gibi aykırı değerler eklenerek yeni veri setleri oluşturulmuştur. Bu yeni veri setine göre dağıtım şebekesinde arızayı bulmak için kullanılan geleneksel makine öğrenme metotları olan CNN, LSTM, SVM, ELM, ile RVFLNs ve Cauchy-M-RVFLN yöntemlerinin arızayı tespit etme doğruluğu karşılaştırılmıştır.



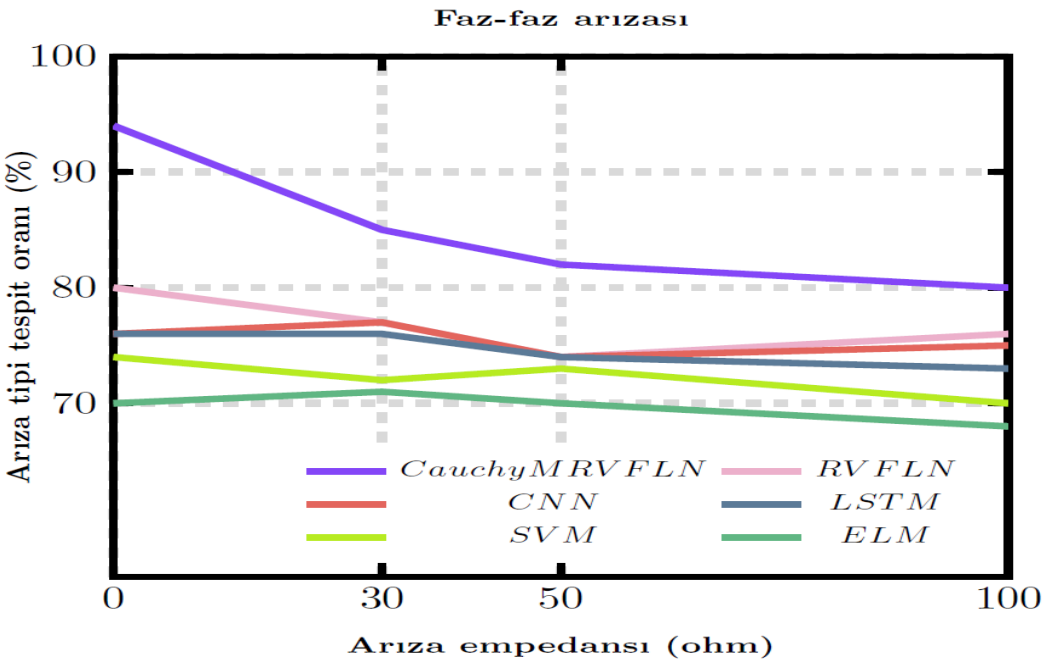
Şekil 4.6 Gürültü eklenmiş verilerde tek faz-toprak arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları

Şekil 4.6'da görüldüğü üzere tek faz-toprak gürültü eklenmiş verilerinde en yüksek doğruluk oranına Cauchy-M-RVFLN yöntemiyle ulaşılmıştır. Arıza sırasında arıza empedansında arttıkça doğruluk oranında düşüş görülmüştür ancak bu yöntemin doğruluğu yüksektir. Cauchy-M-RVFLN yöntemi 0 ohm arıza empedansında %100 doğrulukta arıza tespiti yaparken, 100 ohm arıza empedansında için %92 oranında arıza tespiti yapmıştır. RVFLN yöntemi 0 ohm arıza empedansında %93 doğrulukta arıza tespiti yaparken 100 ohm arıza empedansında %84 oranında arıza tespiti yapmıştır. CNN yöntemiyle 0 ohm arıza empedansında en iyi ikinci doğruluk olan %93 doğrulukta arıza tespiti yaparken, 100 ohm arıza empedansında %80 oranında doğrulukla RVFLN yönteminin doğruluğundan daha az doğrulukla arıza tespiti yapılmıştır. LSTM, SVM ve ELM yöntemleri doğruluk açısından sırasıyla 4., 5. ve 6. sırada sınıflandırma yapmışlardır.



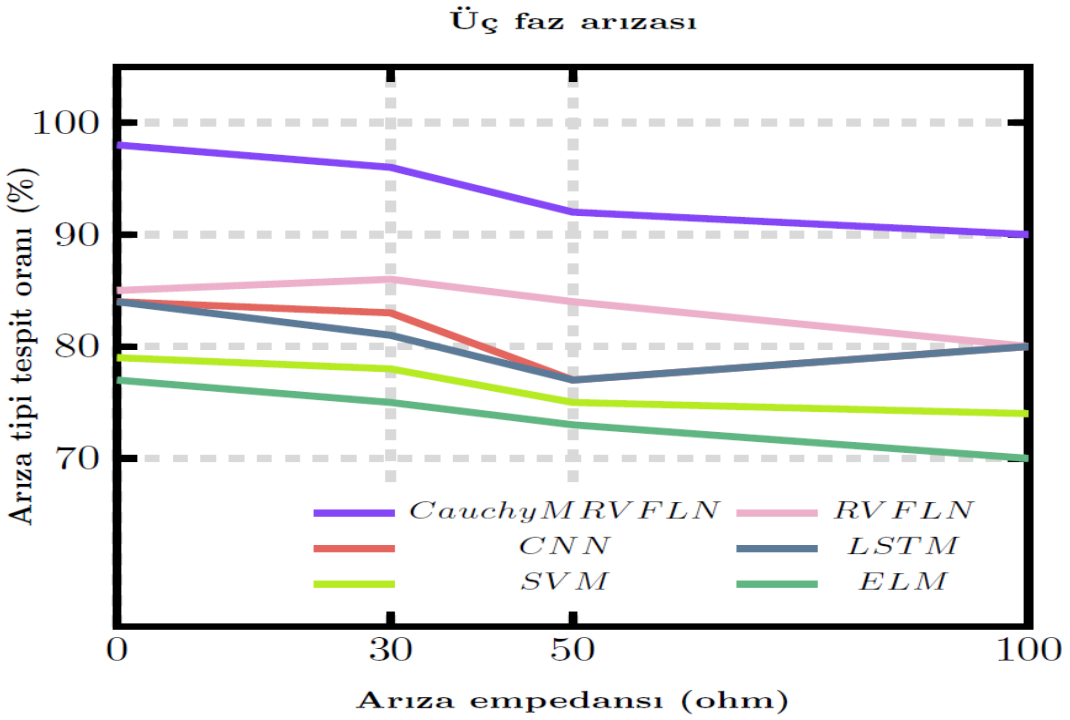
Şekil 4.7 Gürültü eklenmiş verilerde iki faz-toprak arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları

Şekil 4.7'den verildiği üzere iki faz-toprak arızası gürültü eklenmiş verilerde en yüksek doğruluk oranına Cauchy-M-RVFLN yöntemiyle ulaşılmıştır. 0 ohm arıza empedansında Cauchy-M-RVFLN yöntemi %94 doğrulukta arıza tespiti yaparken bu yönteme en yakın doğruluktaki RVFLN yöntemi %82 doğrulukla tespit yapabilmektedir. 100 ohm arıza empedansında Cauchy-M-RVFLN yöntemi %80 oranında arıza tespiti yaparken ona en yakın yöntem olan RVFLN yönteminde %78 oranında doğrulukla arıza tespiti yapmıştır. Bu arıza türünde arıza sınıflandırma doğruluğunda bu iki yöntemden sonra diğer yöntemler sırasıyla CNN, LSTM, SVM ve ELM olarak gelmektedir.



Şekil 4.8 Gürültü eklenmiş verilerde faz-faz arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları

Şekil 4.8'den görüldüğü üzere, iki faz arızası gürültü eklenmiş verilerde en yüksek doğruluk oranına Cauchy-M-RVFLN yöntemiyle ulaşılmıştır. Cauchy-M-RVFLN yöntemiyle 0 ohm arıza empedansında %94 doğrulukta arıza tespiti yaparken 100 ohm arıza empedansında %80 oranında arıza tespiti yapılmıştır. Cauchy-M-RVFLN yöntemi kendisine en yakın doğrulukta sınıflandırma yapan RVFLN yöntemine göre %14 daha fazla oranda doğrulukla sınıflandırma yapmıştır. CNN, LSTM, SVM ve ELM yöntemleri %80'nin altında değerlerde doğruluk oranı göstermişlerdir.



Şekil 4.9 Gürültü eklenmiş verilerde üç faz arızasında çeşitli yöntemlerin arızayı tespit başarım oranları

Şekil 4.9'da verildiği üzere üç faz arızası gürültü eklenmiş verilerinde en yüksek doğruluk oranına Cauchy-M-RVFLN yöntemiyle ulaşılmıştır. Cauchy M-RVFLN yöntemiyle 0 ohm arıza empedansında %98 doğrulukta arıza tespiti yaparken 100 ohm arıza empedansında %90 oranında arıza tespiti yapılmıştır. RVFLN yöntemiyle 0 ohm arıza empedansında %85 doğrulukta arıza tespiti yaparken 100 ohm arıza empedansında %80 oranında arıza tespiti yapılmıştır. CNN ve LSTM yöntemiyle 0 ohm arıza empedansında %84 doğrulukta arıza tespiti yaparken 100 ohm arıza empedansında %80 oranında arıza tespiti yapılmıştır. SVM ve ELM yöntemleri yüzde 80 altında değerlerde doğruluk oranı göstermişlerdir.

Tüm arıza türlerinde ve tüm arıza empedansında değerlerinde, Cauchy-M-RVFLN yöntemi karşılaştırılan diğer yöntemlerden daha yüksek doğrulukla sınıflandırma yapmıştır. Arızada arıza empedansı arttıkça doğruluk oranında düşüş görülmüştür ancak bu yöntemin doğruluğu yine de yüksektir. Bu yöntem kendisine en yakın doğrulukta sınıflandırma yapan RVFLN yönteminden yaklaşık %10'nun üzerinde doğruluk oranıyla sınıflandırma performansı göstermiştir. Aynı zamanda tüm arıza türleri ve arıza empedanslarında gürültü eklenmiş verilerde %89,94 ortalama ile arızayı doğru tespit etmiştir.

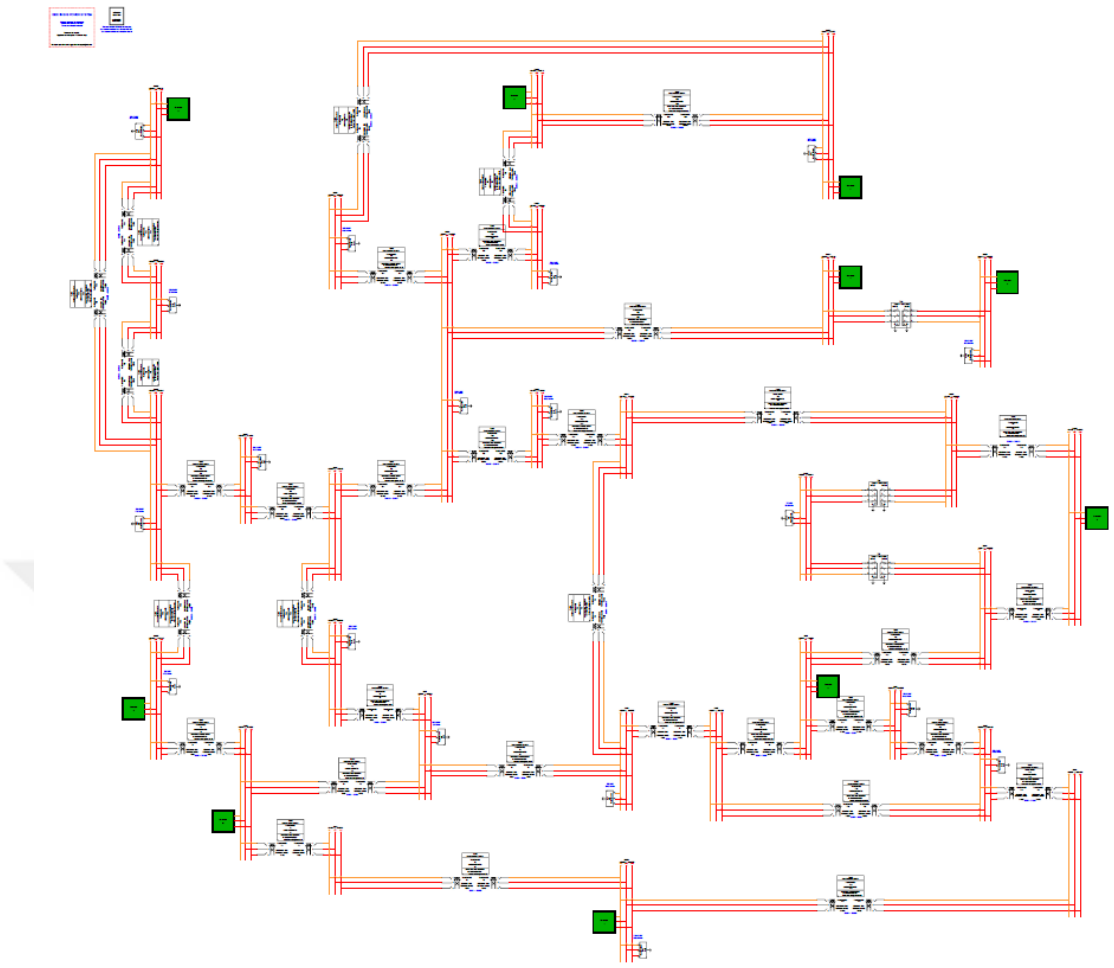
Tablo 4.4'den verildiği üzere gürültü eklenen veriler CNN, LSTM, SVM, RVFLNs ve Cauchy-M-RVFLN hatayı tespit etme eğitim ve test zamanı hızları karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin eğitim hızı RVFLN göre düşük olmasına karşın doğruluk oranı yüksektir.

Tablo 4.4 Yöntemlerin eğitim ve test sürelerinin karşılaştırılması

	Eğitim zamanı (s)	**Test zamanı (s)**
Cauchy M-RVFLN	0.0470	0.0050
RVFLN	0.00221	0.0050
CNN	0.247	0.576
LSTM	0.645	0.743
SVM	0.898	0.974
ELM	0.453	0.664

4.2 IEEE 39-baralı Simülasyon Sonuçları

IEEE 39-baralı güç dağıtım sistemi RSCAD simülasyon yazılımında modellenmiştir. IEEE 33-baralı sistem iletim hatları arasındaki mesafe 1km olduğundan dolayı arıza yerinin tespiti için IEEE 39-baralı sistem tercih edilmiştir. Şekil 4.10'da sistemin RSCAD modeli verilmiştir. 33 baralı sistemde olduğu gibi 39 baralı sistemde de sadece 8 farklı baradan veri alınarak arıza tespiti yapılabilmektedir. Bu amaçla, 8 farklı baranın (n=3, 8, 11, 16, 20, 23, 29, 37) her fazından akım ve gerilim değerleri ölçülerek veriler hazırlanmıştır. Bu modelde verilen parametreler ışığında farklı arıza empedansları için veriler elde edilmiştir. Kısa devrelerin baraya olan uzaklıkları, en küçüğü 0-50 m arasında, en büyüğü ise 400 m'den daha uzak olan mesafelerde olan yedi ayrı kategoriye ayrılmıştır (0-50m, 50-100m, 100-150m, 150-200m, 250-300m, 350-400m ve >400m). Uzaklık için belirlenen her kategoride farklı arıza empedansları için yüz adet kısa devre simülasyonu yapılarak veriler alınmıştır. Alınan veriler kullanılarak her mesafe kategorisi için dört farklı arıza empedansında gürültü eklenmiş ve eklenmemiş durumlar için arıza yerinin tespiti yapılmıştır. Elde edilen verilerde arıza yerinin tespiti ORR-RVFLN yöntemiyle yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar sonucu oluşturulan tablolarda, her mesafe kategorisinde hatalı yapılan arıza yeri tespit sayısı ilgili satır ve sütuna yazılmıştır. Ayrıca her mesafe kategorisi ve her arıza empedansında, gürültülü ve gürültüsüz durumlarda yapılan tahminin, arızanın gerçek yerine olan hata mesafelerinin ortalama değerleri de grafikler ile gösterilmiştir.



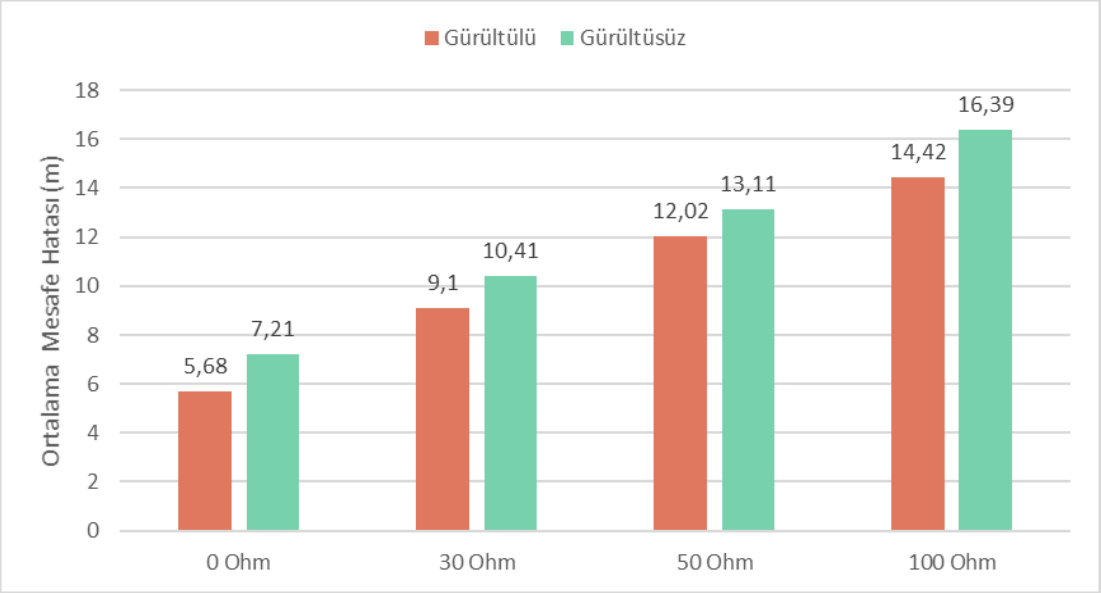
Şekil 4.10 IEEE 39-baralı sistemin RSCAD modeli

Tablo 4.5'de tek-faz toprak arızası için farklı mesafe kategorilerinde oluşan her yüz kısa devrede ORR-RVFLN yöntemiyle hatalı tespit edilen arıza yeri sayılarının dağılımı gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde 0-50 m kategorisinde, 0 ohm arıza empedansında farklı baralarda oluşturulan toplam 100 arızanın 61 tanesinde arıza yerini hatalı tespit edildiği görülmektedir. Bunun anlamı, örneğin 42 m'de oluşturulan arızanın yöntem tarafından 42,5 m'de tespit edilerek hatalı sonuç olarak sınıflandırılmasıdır. Ayrıca 0 ohm arıza empedansına sahip gürültülü veride, 400 m'den büyük mesafede oluşturulan 100 kısa devrenin arıza yerinin tamamı doğru olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında arızanın baraya olan mesafesi büyüdükçe arıza yerinin tahmin doğruluğu belirgin bir biçimde artmaktadır. En çok arıza yeri tespit hatasının baraya 50 m'ye kadar olan mesafelerde görülen arızalarda olduğu görülmektedir.

Tablo 4.5 Tek faz-toprak arızasında farklı mesafe kategorilerinde oluşan her yüz kısa devrede hatalı tespit edilen arıza yerinin sayılarının dağılımı

	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş
Uzaklık	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 0hm	
0-50m	61	59	63	60	66	62	69	65
50-100m	11	19	22	29	32	38	42	49
100-150m	3	8	15	19	25	28	30	35
150-200m	1	6	9	13	15	18	19	27
250-300m	1	4	7	9	11	13	15	19
350-400m	1	2	5	8	9	12	13	16
>400m	0	1	4	5	7	9	10	14

Şekil 4.11'de tek faz-toprak arızasında ORR-RVFLN yöntemiyle yapılan ortalama mesafe hatası verilmiştir. Şekil 4.11 incelendiğinde Her arıza empedansı için gürültü eklenmiş ve eklenmemiş verilerde meydana getirilen 700 arıza için yanlış tahmin edilen mesafelerin ortalaması verilmiştir. Gürültü verilerde ortalama mesafe hatası daha azdır. 0 ohm arıza empedansında gürültü eklenmiş 700 veride ortalama mesafe hatası 5,68 m, 100 ohm arıza empedansında gürültü eklenmiş ortalama mesafe hatası 14,42 m'dir Şekil 4.11 incelendiğinde arıza empedansı arttıkça yanlış tahmin edilen uzaklık hatası da artmaktadır. Gürültü eklenmemiş verilerde ortalam arıza uzaklık hatası daha fazladır.



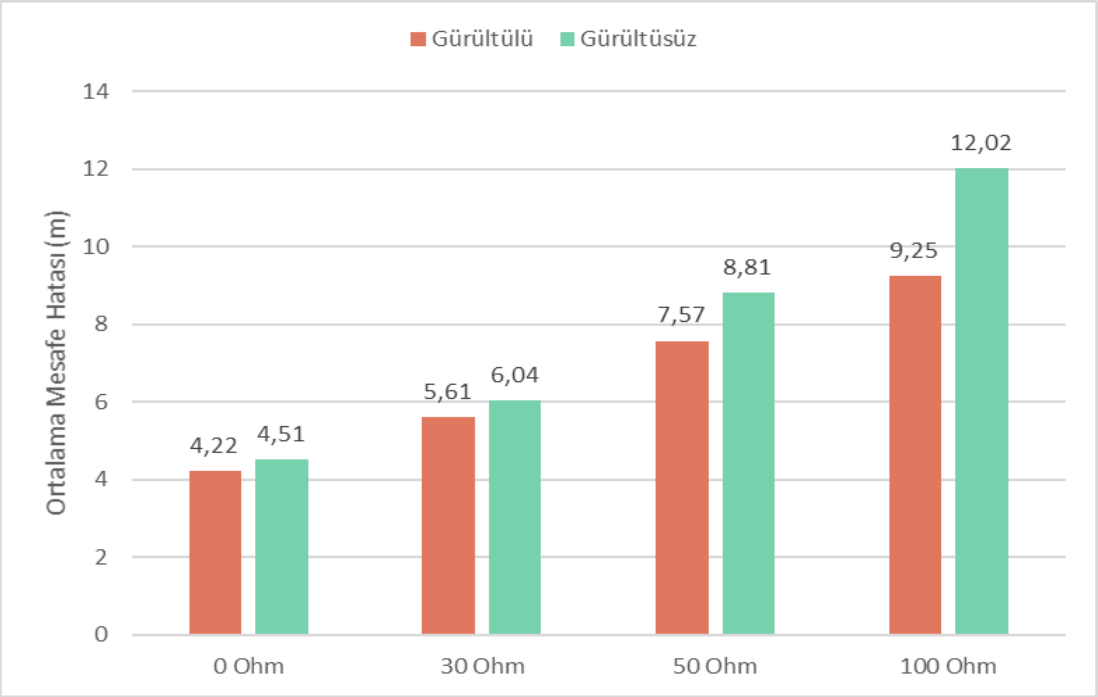
Şekil 4.11 Tek faz-toprak arızasında yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı hata empedansları için değişimi

Tablo 4.6'da iki faz-toprak arızası için farklı mesafe kategorilerinde oluşan her yüz kısa devrede ORR-RVFLN yöntemiyle hatalı tespit edilen arıza yeri sayılarının dağılımı gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde 0-50 m kategorisinde, 0 ohm arıza empedansında farklı baralarda oluşturulan toplam 100 arızanın 51 tanesinin arıza yerini hatalı tespit edildiği görülmektedir. Ayrıca 100 ohm arıza empedansına sahip gürültülü veride, 400 m'den büyük mesafede oluşturulan 100 kısa devrenin arıza yerinin sadece 5 tanesi yanlış tespit edilmiştir. Bunun yanında arızanın baraya olan mesafesi büyüdükçe arıza yerinin tahmin doğruluğu belirgin bir biçimde artmaktadır. En çok arıza yerinin tespit hatasının baraya 50 m'ye kadar olan mesafelerde görülen arızalarda olduğu görülmektedir.

Tablo 4.6 İki faz-toprak arızasında farklı mesafe kategorilerinde oluşan her yüz kısa devrede hatalı tespit edilen arıza yerinin sayılarının dağılımı

	Gürültü Eklenmiş	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**
Uzaklık	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 0hm	
0-50m	51	49	54	50	57	53	49	56
50-100m	4	5	10	12	19	23	27	35
100-150m	2	4	6	9	12	18	20	28
150-200m	1	2	3	5	7	11	12	19
250-300m	0	1	2	3	4	7	8	12
350-400m	0	1	1	2	3	5	6	9
>400m	0	0	1	2	2	4	5	6

Şekil 4.12'de iki faz-toprak arızasında ORR-RVFLN yöntemiyle yapılan ortalama mesafe hatası verilmiştir. Gürültü verilerde ortalama mesafe hatası daha azdır. 0 ohm arıza empedansında gürültü eklenmiş 700 veride ortalama mesafe hatası 4,22 m, 100 ohm arıza empedansında gürültü eklenmiş ortalama mesafe hatası 9,25 m'dir Şekil 4.12 incelendiğinde arıza empedansı arttıkça, yanlış tahmin edilen ortalama uzaklık hatası da artmaktadır. Gürültü eklenmemiş verilerde arıza yeri ortalama mesafe hatası daha fazladır.



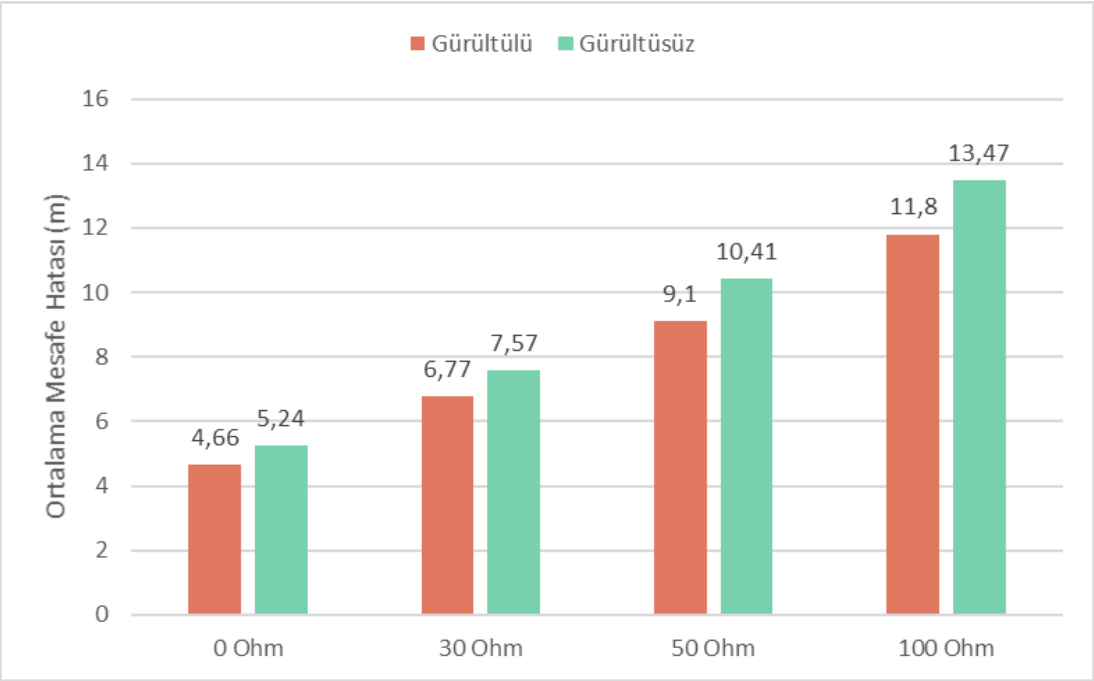
Şekil 4.12 İki faz-toprak arızasında yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedansları için değişimi

Tablo 4.7'de faz-faz arızası için farklı mesafe kategorilerinde oluşan her yüz kısa devrede ORR-RVFLN yöntemiyle hatalı tespit edilen arıza yeri sayılarının dağılımı gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde 0-50 m kategorisinde, 0 ohm arıza empedansında farklı baralarda oluşturulan toplam 100 arızanın 55 tanesinin arıza yerini hatalı tespit edildiği görülmektedir. Ayrıca 100 ohm arıza empedansına sahip gürültülü veride, 400 m'den büyük mesafede oluşturulan 100 kısa devrenin arıza yerinin sadece 8 tanesi yanlış tespit edilmiştir. Bunun yanında arızanın baraya olan mesafesi büyüdükçe arıza yerinin tahmin doğruluğu belirgin bir biçimde artmaktadır. En çok arıza yerinin tespit hatasının baraya 50 m'ye kadar olan mesafelerde görülen arızalarda olduğu görülmektedir.

Tablo 4.7 Faz-faz arızasında farklı mesafe kategorilerinde oluşan her yüz kısa devrede hatalı tespit edilen arıza yerinin sayılarının dağılımı

	Gürültü Eklenmi ş	Gürültü Eklenmemi ş	Gürültü Eklenmi ş	Gürültü Eklenmemi ş	Gürültü Eklenmi ş	Gürültü Eklenmemi ş	Gürültü Eklenmi ş	Gürültü Eklenmemi ş
Uzaklık	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 0hm	
0-50m	55	53	58	56	61	58	63	59
50-100m	6	9	14	16	22	27	31	38
100-150m	2	5	8	12	17	22	24	30
150-200m	1	2	5	7	9	13	15	22
250-300m	0	2	4	6	7	9	12	15
350-400m	0	1	2	4	5	8	9	12
>400m	0	0	2	3	4	6	8	9

Şekil 4.13'de Faz-faz arızasında ORR-RVFLN yöntemiyle yapılan ortalama mesafe hatası verilmiştir. Gürültü verilerde ortalama mesafe hatası daha azdır. 0 ohm arıza empedansında gürültü eklenmiş 700 veride ortalama mesafe hatası 4,66 m, 100 ohm arıza empedansında gürültü eklenmiş ortalama mesafe hatası 11,8 m'dir Şekil 4.13 incelendiğinde arıza empedansı arttıkça yanlış tahmin edilen uzaklık hatasının ortalaması da artmaktadır. Gürültü eklenmemiş verilerde arıza mesafe hatası daha fazladır.



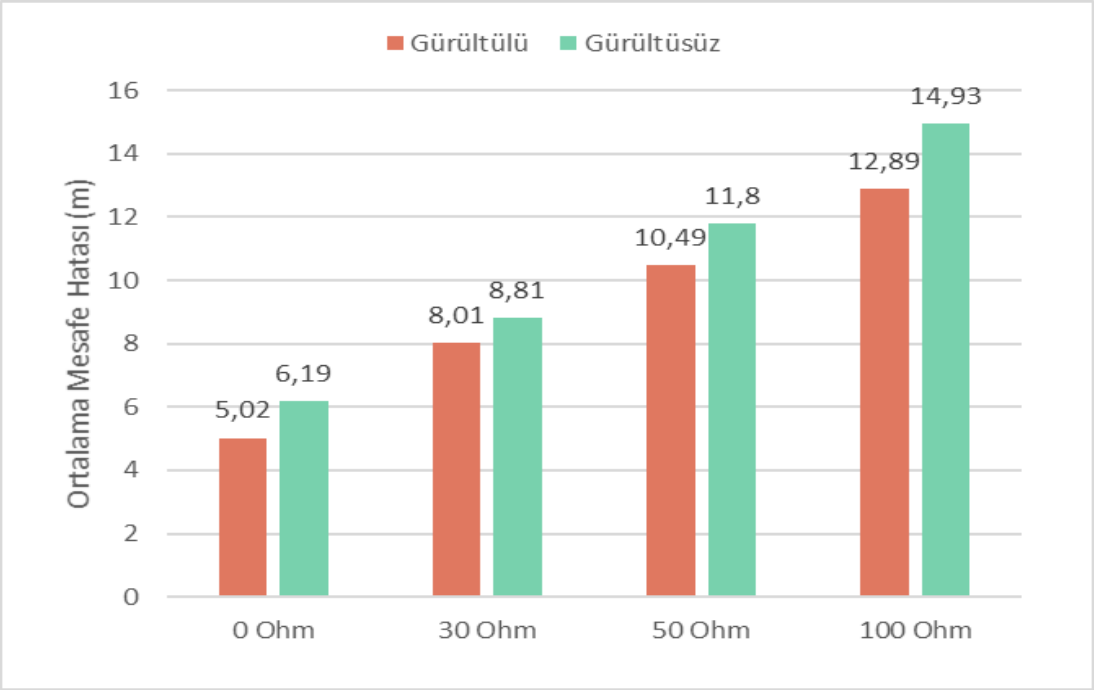
Şekil 4.13 Faz-faz arızasında yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedansları için değişimi

Tablo 4.8'de üç faz arızası için farklı mesafe kategorilerinde oluşan her yüz kısa devrede ORR-RVFLN yöntemiyle hatalı tespit edilen arıza yeri sayılarının dağılımı gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde 0-50 m kategorisinde, 0 ohm arıza empedansında farklı baralarda oluşturulan toplam 100 arızanın 58 tanesinin arıza yerini hatalı tespit edildiği görülmektedir. Ayrıca 100 ohm arıza empedansına sahip gürültülü veride, 400 m'den büyük mesafede oluşturulan 100 kısa devrenin arıza yerinin sadece 9 tanesi yanlış tespit edilmiştir. Özellikle 400 m ve üstündeki uzaklık hatalarında yanlış tahmin sayısı 0 ohm da '1' iken 100 ohm'da '12' olmuştur. Bunun yanında arızanın baraya olan mesafesi büyüdükçe arıza yerinin tahmin doğruluğu belirgin bir biçimde artmaktadır. En çok arıza yerinin tespit hatasının baraya 50 m'ye kadar olan mesafelerde görülen arızalarda olduğu görülmektedir.

Tablo 4.8 Üç faz arızasında farklı mesafe kategorilerinde oluşan her yüz kısa devrede hatalı tespit edilen arıza yerinin sayılarının dağılımı

	Gürültü Eklenmiş	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**
Uzaklık	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 0hm	
0-50m	58	57	60	59	62	60	65	61
50-100m	8	12	19	21	27	33	36	43
100-150m	2	6	11	15	21	25	26	32
150-200m	1	4	8	10	12	16	17	25
250-300m	0	3	5	7	9	11	13	17
350-400m	0	2	4	5	8	9	11	15
>400m	0	1	3	4	5	8	9	12

Şekil 4.14 üç faz arızasında ORR-RVFLN yöntemiyle yapılan ortalama mesafe hatası verilmiştir. Şekil 4.14 incelendiğinde her farklı arıza empedansında meydana getirilen 700 arıza için yanlış tahmin edilen mesafelerin ortalaması verilmiştir. Gürültü verilerde ortalama mesafe hatası daha azdır. 0 ohm arıza empedansında gürültü eklenmiş 700 veride ortalama mesafe hatası 5,02 m, 100 ohm arıza empedansında gürültü eklenmiş ortalama toplam mesafe hatası 12,89 m'dir Şekil 4.13 incelendiğinde arıza empedansı arttıkça yanlış tahmin edilen ortalama mesafe hatası da artmaktadır. Gürültü eklenmemiş verilerde ortalama arıza uzaklık hatası daha fazladır.



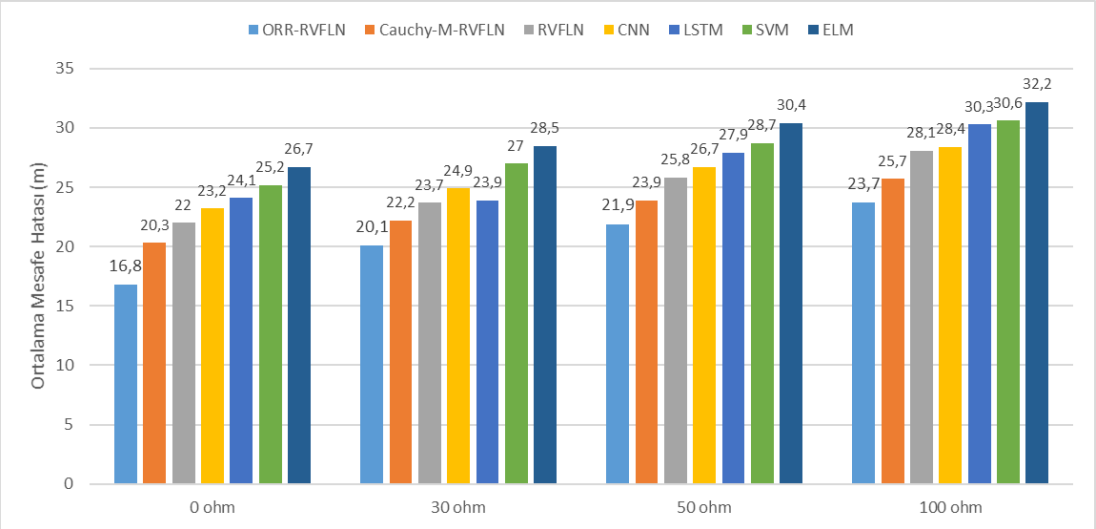
Şekil 4.14 Üç faz arızasında yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedansları için değişimi

Tablo 4.9'da 0-50 m arası ve 400 m'den büyük mesafeler için IEEE 39-baralı sistemde oluşturulan tek faz-toprak arızaların yerinin tespiti için kullanılan ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM yöntemlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Bu karşılaştırma, 0 ohm, 30 ohm, 50 ohm ve 100 ohm arıza empedans değerleri için hem gürültülü hem de gürültüsüz veriler üzerinde yapılmıştır. Tablo 4.9 dikkatli incelendiğinde kullanılan yöntemlerin arıza yerinin tespit doğruluğunun sırasıyla ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM olduğu görülmektedir. Gürültü eklenmiş verilerdeki hatalı arıza yerinin tahmin sayısının gürültüsüz verilere göre daha fazla olduğu görülmektedir. ORR-RVFLN yöntemiyle doğru arıza yerinin tahmini diğer yöntemlerden daha fazladır. En çok hatalı arıza yerinin ölçümü yapılan 100 ohm arıza empedansına sahip gürültü eklenmiş verilerde 0 ile 50 m arasında oluşturan 100 hata için ORR-RVFLN yöntemi 69 yanlış tahmin yaparken, Cauchy-M-RVFLN yönteminde bu değer 72, RVFLN yönteminde ise 73'dür.

Tablo 4.9 Tek faz-toprak için arızası farklı yöntemlerin arıza yeri tespit performanslarının karşılaştırılması

	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş
ORR-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	61	59	63	60	66	62	69	65
>400m	0	1	4	5	7	9	10	14
Cauchy-M-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	64	62	66	63	69	65	72	68
>400m	3	4	6	7	9	11	12	16
RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	66	64	68	65	71	67	73	69
>400m	5	5	8	9	11	13	14	18
CNN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	69	67	71	68	74	70	76	72
>400m	6	7	9	10	12	14	15	19
LSTM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	70	67	71	68	74	70	77	73
>400m	7	7	10	11	13	15	16	20
SVM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	70	68	72	69	75	71	78	73
>400m	8	8	11	12	14	16	17	21
ELM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	72	70	73	70	76	72	79	75
>400m	10	11	14	15	17	19	20	24

Şekil 4.15'de 0-50 m arası ve 400 m'den büyük mesafeler için IEEE 39-baralı sistemde oluşturulan tek faz-toprak arızaların yerinin tespiti için kullanılan ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM yöntemlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Bu karşılaştırma, 0 ohm, 30 ohm, 50 ohm ve 100 ohm arıza empedans değerleri için gürültülü veriler üzerinde yapılmıştır. Şekil 4.15 dikkatli incelendiğinde kullanılan yöntemlerin arıza yerinin tespit doğruluğunun sırasıyla ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM olduğu görülmektedir. Gürültü eklenmiş verilerdeki hatalı arıza yerinin ortalama mesafe hatası verilmiştir. ORR-RVFLN yönteminde ortalama mesafe hatası 0 ohm arıza empedans değeri için 16,8 m'dir. Cauchy-M-RVFLN yönteminde ortalama mesafe hatası 0 ohm arıza empedans değerinde 20,3 m, RVFLN yönteminde ise 22 m'dir.



Şekil 4.15 Gürültülü veriler için tek faz-toprak arızasında farklı yöntemlerle yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedanslarında karşılaştırılması

Tablo 4.10'da tek faz-toprak arızasında farklı yöntemler ile arıza yeri tespitinde yapılan minimum ve maksimum mesafe hataları gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en düşük mesafe hatasının ORR-RVFLN yönteminde olduğu görülmektedir. Tüm yöntemlerde arıza empedansı büyüdükçe yapılan arıza yeri tespitindeki mesafe hatası büyümektedir. Gürültü eklenmiş verilerde hata daha da düşük olmaktadır. ORR-RVFLN yönteminde hatalı ölçülen arıza yerindeki mesafe hatası minimum 12 m ile 0 ohm'luk arıza empedansında gürültülü verilerde görülürken, maksimum mesafe hatası ise 156 m ile 100 ohm'luk hata empedansında gürültüsüz verilerde ölçülmüştür. Diğer yöntemlerde bu hata değerleri daha da büyüktür.

Tablo 4.10 Tek faz-toprak arızasında farklı yöntemlere göre yapılan minimum ve maksimum mesafe tespit hatası

	Gürültü Eklenmiş	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**
ORR-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	12	16	19	22	28	34	39	41
maksimum(m)	107	110	121	127	134	141	148	156
Cauchy-M-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	14	17	21	25	34	39	42	46
maksimum(m)	109	112	124	130	138	147	155	161
RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	19	23	29	32	39	45	49	55
maksimum(m)	116	122	131	142	150	157	165	172

Tablo 4.10 (Devam)

	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş
CNN		0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm
minimum (m)	23	26	34	39	43	49	55	59
maksimum(m)	120	128	140	148	155	167	175	183
LSTM		0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm
minimum (m)	29	34	40	45	49	56	61	67
maksimum(m)	131	138	150	157	163	172	180	192
SVM		0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm
minimum (m)	33	39	46	51	57	61	65	71
maksimum(m)	141	150	161	173	186	197	200	208
ELM		0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm
minimum (m)	39	45	51	58	65	72	77	82
maksimum(m)	152	161	175	188	197	205	212	225

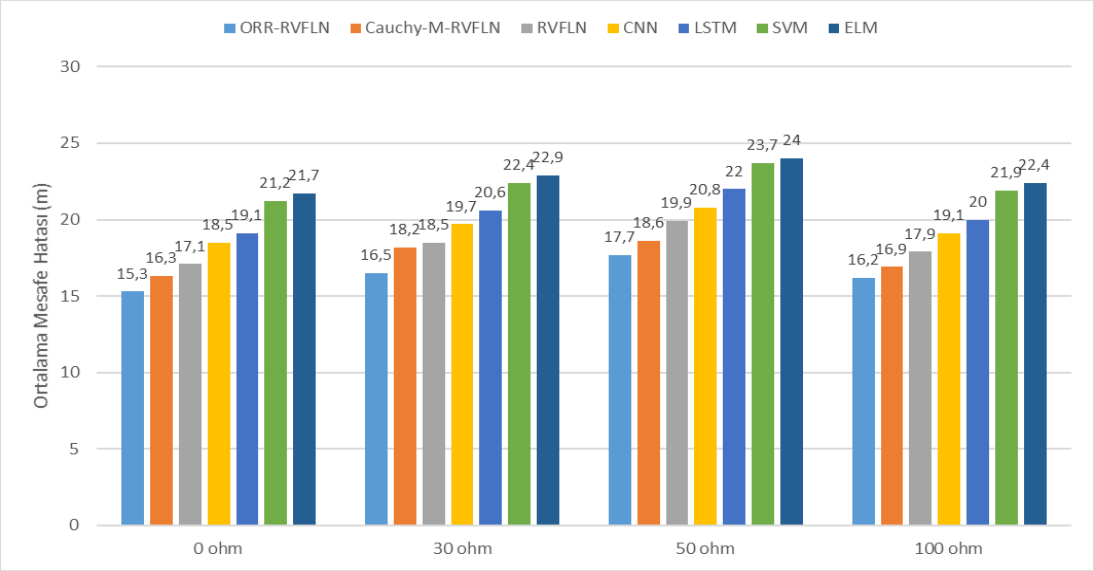
Tablo 4.11'de 0-50 m arası ve 400 m'den büyük mesafeler için IEEE 39-baralı sistemde oluşturulan iki faz-toprak arızaların yerinin tespiti için kullanılan ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM yöntemlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Bu karşılaştırma, 0 ohm, 30 ohm, 50 ohm ve 100 ohm arıza empedans değerleri için hem gürültülü hem de gürültüsüz veriler üzerinde yapılmıştır. Tablo 4.11 dikkatli incelendiğinde kullanılan yöntemlerin arıza yerinin tespit doğruluğunun sırasıyla ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM olduğu görülmektedir. Gürültü eklenmiş verilerdeki hatalı arıza yerinin tahmin sayısının gürültüsüz verilere göre daha fazla olduğu görülmektedir. ORR-RVFLN yöntemiyle doğru arıza yerinin tahmini diğer yöntemlerden daha fazladır. En çok hatalı arıza yerinin ölçümü yapılan 100 ohm arıza empedansına sahip gürültü eklenmiş verilerde 0 ile 50 m arasında oluşturan 100 hata için ORR-RVFLN yöntemi 49 yanlış tahmin yaparken, Cauchy-M-RVFLN yönteminde bu değer 50, RVFLN yönteminde ise 51'dır.

Tablo 4.11 İki-faz toprak arızası için farklı yöntemlerin arıza yeri tespit performanslarının karşılaştırılması

	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş
ORR-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 0hm	
0-50m	51	49	54	50	57	53	49	56
>400m	0	0	1	2	2	4	5	6
Cauchy-M-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	52	53	58	51	58	54	50	56
>400m	1	1	2	3	3	5	6	7
RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	53	51	56	52	59	55	51	57
>400m	2	2	3	4	4	6	7	7
CNN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	57	55	59	55	62	58	54	61
>400m	3	3	4	5	5	6	7	8
LSTM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	57	55	60	56	63	59	55	61
>400m	4	4	5	6	6	8	8	9
SVM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	58	56	61	56	63	59	55	61
>400m	8	8	9	10	10	12	13	14
ELM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	59	57	62	58	65	61	57	64
>400m	7	7	8	9	9	11	12	12

Şekil 4.16'de 0-50 m arası ve 400 m'den büyük mesafeler için IEEE 39-baralı sistemde oluşturulan iki faz-toprak arızaların yerinin tespiti için kullanılan ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM yöntemlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Bu karşılaştırma, 0 ohm, 30 ohm, 50 ohm ve 100 ohm

arıza empedans değerleri için gürültülü veriler üzerinde yapılmıştır. Şekil 4.16 dikkatli incelendiğinde kullanılan yöntemlerin arıza yerinin tespit doğruluğunun sırasıyla ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM olduğu görülmektedir. Gürültü eklenmiş verilerdeki hatalı arıza yerinin ortalama mesafe hatası verilmiştir. ORR-RVFLN yönteminde ortalama mesafe hatası 100 ohm arıza empedans değeri için 16,2 m'dir. Cauchy-M-RVFLN yönteminde ortalama mesafe hatası 100 ohm arıza empedans değerinde 16,9 m, RVFLN yönteminde ise 17,9 m'dir.



Şekil 4.16 Gürültülü veriler için iki faz-toprak arızasında yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedansları için farklı yöntemlerle karşılaştırılması

Tablo 4.12'de iki faz-toprak arızasında farklı yöntemler ile arıza yeri tespitinde yapılan minimum ve maksimum mesafe hataları gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en düşük mesafe hatasının ORR-RVFLN yönteminde olduğu görülmektedir. Tüm yöntemlerde arıza empedansı büyüdükçe yapılan arıza yeri tespitindeki mesafe hatası büyümektedir. Gürültü eklenmiş verilerde hata daha da düşük olmaktadır. ORR-RVFLN yönteminde hatalı ölçülen arıza yerindeki mesafe hatası minimum 7 m ile 0 ohm'luk arıza empedansında gürültülü verilerde görülürken, maksimum mesafe hatası ise 138 m ile 100 ohm'luk hata empedansında gürültüsüz verilerde ölçülmüştür. Diğer yöntemlerde bu hata değerleri daha da büyüktür.

Tablo 4.12 İki faz-toprak arızasında farklı yöntemlere göre yapılan minimum ve maksimum mesafe tespit hatası

	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş
ORR-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 0hm	
minimum (m)	7	9	10	14	17	21	25	27
maksimum(m)	100	104	113	118	125	130	133	138
Cauchy-M-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	8	10	12	14	20	25	29	32
maksimum(m)	101	103	109	115	122	130	139	148
RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	12	14	19	22	25	29	32	39
maksimum(m)	102	110	119	120	128	136	148	157
CNN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	14	18	22	25	31	38	41	48
maksimum(m)	107	110	119	126	137	144	150	159
LSTM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	17	20	25	29	33	39	47	52
maksimum(m)	113	121	129	137	146	158	165	170
SVM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	20	26	30	36	41	49	55	61
maksimum(m)	122	129	138	146	158	167	172	186
ELM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	28	33	40	47	52	60	65	71
maksimum(m)	126	138	148	156	168	170	181	198

Tablo 4.13'de 0-50 m arası ve 400 m'den büyük mesafeler için IEEE 39-baralı sistemde oluşturulan faz-faz arızaların yerinin tespiti için kullanılan ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM yöntemlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Bu karşılaştırma, 0 ohm, 30 ohm, 50 ohm ve 100 ohm arıza empedans değerleri için hem gürültülü hem de gürültüsüz veriler üzerinde yapılmıştır. Tablo 4.13 dikkatli incelendiğinde kullanılan yöntemlerin arıza yerinin tespit doğruluğunun sırasıyla ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM olduğu görülmektedir. Gürültü eklenmiş verilerdeki hatalı arıza yerinin tahmin sayısının gürültüsüz verilere göre daha fazla olduğu görülmektedir. ORR-RVFLN yöntemiyle doğru arıza yerinin tahmini diğer yöntemlerden daha fazladır. En çok hatalı arıza yerinin ölçümü yapılan 100 ohm arıza empedansına sahip

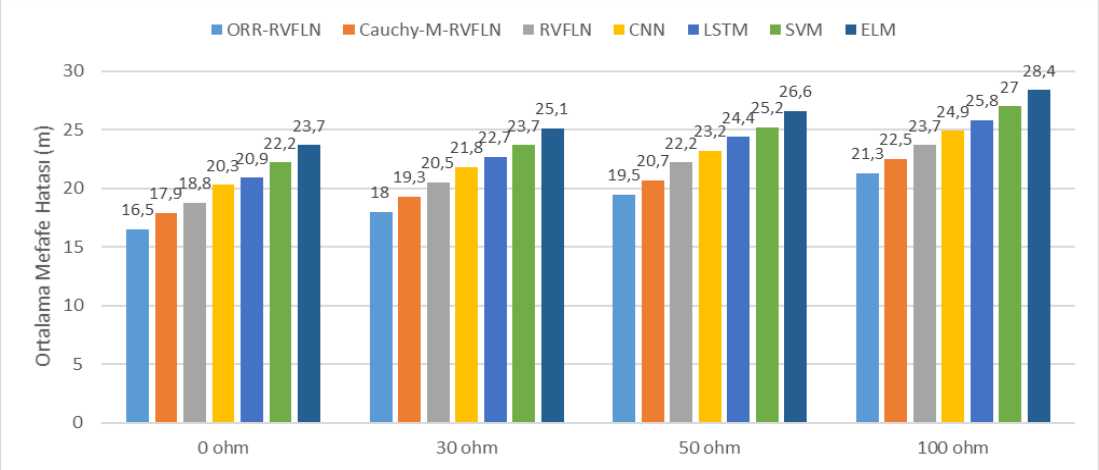
gürültü eklenmiş verilerde 0 ile 50 m arasında oluşturan 100 hata için ORR-RVFLN yöntemi 63 yanlış tahmin yaparken, Cauchy-M-RVFLN yönteminde bu değer 64, RVFLN yönteminde ise 66'dır.

Tablo 4.13 Faz-faz arızası için farklı yöntemlerin arıza yeri tespit performanslarının karşılaştırılması

	Gürültü Eklenmiş	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**
ORR-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	55	53	58	56	61	58	63	59
>400m	0	0	2	3	4	6	8	9
Cauchy-M-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	57	55	60	58	63	59	64	60
>400m	2	2	4	5	6	8	9	10
RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	58	56	61	59	64	61	66	62
>400m	3	3	5	6	6	8	10	11
CNN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	61	59	64	62	67	64	69	65
>400m	4	4	6	7	8	9	11	12
LSTM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	62	60	65	63	68	64	69	65
>400m	5	5	7	8	9	10	12	13
SVM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	63	60	65	63	68	65	70	66
>400m	6	6	8	9	10	11	13	14
ELM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	64	62	67	65	70	66	71	67
>400m	8	8	10	11	12	14	16	17

Şekil 4.17'de 0-50 m arası ve 400 m'den büyük mesafeler için IEEE 39-baralı sistemde oluşturulan faz-faz arızaların yerinin tespiti için kullanılan ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM yöntemlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Bu karşılaştırma, 0 ohm, 30 ohm, 50 ohm ve 100 ohm arıza empedans değerleri için gürültülü veriler üzerinde yapılmıştır. Şekil 4.17 dikkatli incelendiğinde kullanılan yöntemlerin arıza yerinin tespit doğruluğunun sırasıyla ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM olduğu görülmektedir. Gürültü eklenmiş verilerdeki hatalı arıza yerinin ortalama mesafe hatası verilmiştir. ORR-RVFLN yönteminde ortalama mesafe hatası 50 ohm arıza empedans değeri için

19,5 m'dir. Cauchy-M-RVFLN yönteminde ortalama mesafe hatası 50 ohm arıza empedans değerinde 20,7 m, RVFLN yönteminde ise 22,2 m'dir.



Şekil 4.17 Gürültülü veriler için faz-faz arızasında yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedansları için farklı yöntemlerle karşılaştırılması

Tablo 4.14'de faz-faz arızasında farklı yöntemler ile arıza yeri tespitinde yapılan minimum ve maksimum mesafe hataları gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en düşük mesafe hatasının ORR-RVFLN yönteminde olduğu görülmektedir. Tüm yöntemlerde arıza empedansı büyüdükçe yapılan arıza yeri tespitindeki mesafe hatası büyümektedir. Gürültü eklenmiş verilerde hata daha da düşük olmaktadır. ORR-RVFLN yönteminde hatalı ölçülen arıza yerindeki mesafe hatası minimum 9 m ile 0 ohm'luk arıza empedansında gürültülü verilerde görülürken, maksimum mesafe hatası ise 141 m ile 100 ohm'luk hata empedansında gürültüsüz verilerde ölçülmüştür. Diğer yöntemlerde bu hata değerleri daha da büyüktür.

Tablo 4.14 Faz-faz arızasında farklı yöntemlere göre yapılan minimum ve maksimum mesafe tespit hatası

	Gürültü Eklenmiş	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**
ORR-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	9	10	12	16	20	24	28	31
maksimum(m)	103	107	116	120	127	131	138	141
Cauchy-M-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	10	12	14	18	24	28	35	38
maksimum(m)	104	105	113	120	128	134	146	154
RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	15	18	21	24	29	32	39	47
maksimum(m)	109	114	120	129	136	144	153	160

Tablo 4.14 (Devamı)

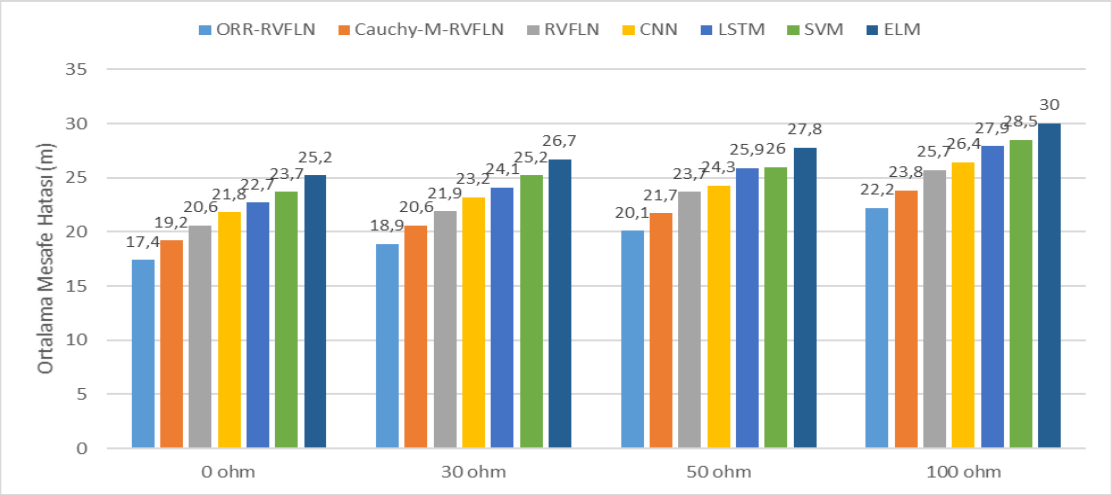
	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş
CNN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	17	20	24	29	34	40	47	51
maksimum(m)	110	118	130	138	142	150	159	165
LSTM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	21	25	31	34	40	46	50	58
maksimum(m)	120	126	135	141	152	160	169	175
SVM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	25	30	36	41	47	52	59	64
maksimum(m)	129	138	146	158	165	176	186	195
ELM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	32	38	42	51	57	62	69	75
maksimum(m)	134	146	154	163	174	186	195	208

Tablo 4.15'de 0-50 m arası ve 400 m'den büyük mesafeler için IEEE 39-baralı sistemde oluşturulan üç faz arızaların yerinin tespiti için kullanılan ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM yöntemlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Bu karşılaştırma, 0 ohm, 30 ohm, 50 ohm ve 100 ohm arıza empedans değerleri için hem gürültülü hem de gürültüsüz veriler üzerinde yapılmıştır. Tablo 4.15 dikkatli incelendiğinde kullanılan yöntemlerin arıza yerinin tespit doğruluğunun sırasıyla ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM olduğu görülmektedir. Gürültü eklenmiş verilerdeki hatalı arıza yerinin tahmin sayısının gürültüsüz verilere göre daha fazla olduğu görülmektedir. ORR-RVFLN yöntemiyle doğru arıza yerinin tahmini diğer yöntemlerden daha fazladır. En çok hatalı arıza yerinin ölçümü yapılan 100 ohm arıza empedansına sahip gürültü eklenmiş verilerde 0 ile 50 m arasında oluşturan 100 hata için ORR-RVFLN yöntemi 65 yanlış tahmin yaparken, Cauchy-M-RVFLN yönteminde bu değer 67, RVFLN yönteminde ise 68'dır.

Tablo 4.15 Üç faz arızası için farklı yöntemlerin arıza yeri tespit performanslarının karşılaştırılması

	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş
ORR-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	58	57	60	59	62	60	65	61
>400m	0	1	3	4	5	8	9	12
Cauchy-M-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	61	60	63	61	64	62	67	63
>400m	2	3	5	6	7	10	11	14
RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	62	61	64	63	66	64	68	64
>400m	4	5	7	7	8	11	12	15
CNN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	65	64	67	66	69	67	72	68
>400m	5	6	8	8	9	12	13	16
LSTM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	66	65	68	66	69	67	72	68
>400m	6	7	9	9	10	13	14	17
SVM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	66	65	68	67	70	68	73	69
>400m	7	8	10	10	11	14	15	18
ELM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
0-50m	68	67	70	69	71	69	74	70
>400m	9	10	12	13	14	17	18	21

Şekil 4.18'de 0-50 m arası ve 400 m'den büyük mesafeler için IEEE 39-baralı sistemde oluşturulan Üç faz arızaların yerinin tespiti için kullanılan ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM yöntemlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Bu karşılaştırma, 0 ohm, 30 ohm, 50 ohm ve 100 ohm arıza empedans değerleri için gürültülü veriler üzerinde yapılmıştır. Şekil 4.18 dikkatli incelendiğinde kullanılan yöntemlerin arıza yerinin tespit doğruluğunun sırasıyla ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM olduğu görülmektedir. Gürültü eklenmiş verilerdeki hatalı arıza yerinin ortalama mesafe hatası verilmiştir. ORR-RVFLN yönteminde ortalama mesafe hatası 30 ohm arıza empedans değeri için 18,9 m'dir. Cauchy-M-RVFLN yönteminde ortalama mesafe hatası 30 ohm arıza empedans değerinde 20,6 m, RVFLN yönteminde ise 21,9 m'dir.



Şekil 4.18 Gürültülü veriler için üç faz arızasında yapılan ortalama mesafe tespit hatalarının farklı arıza empedansları için farklı yöntemlerle karşılaştırılması

Tablo 4.16'de üç faz arızasında farklı yöntemler ile arıza yeri tespitinde yapılan minimum ve maksimum mesafe hataları gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en düşük mesafe hatasının ORR-RVFLN yönteminde olduğu görülmektedir. Tüm yöntemlerde arıza empedansı büyüdükçe yapılan arıza yeri tespitindeki mesafe hatası büyümektedir. Gürültü eklenmiş verilerde hata daha da düşük olmaktadır. ORR-RVFLN yönteminde hatalı ölçülen arıza yerindeki mesafe hatası minimum 10 m ile 0 ohm'luk arıza empedansında gürültülü verilerde görülürken, maksimum mesafe hatası ise 149 m ile 100 ohm'luk hata empedansında gürültüsüz verilerde ölçülmüştür. Diğer yöntemlerde bu hata değerleri daha da büyüktür.

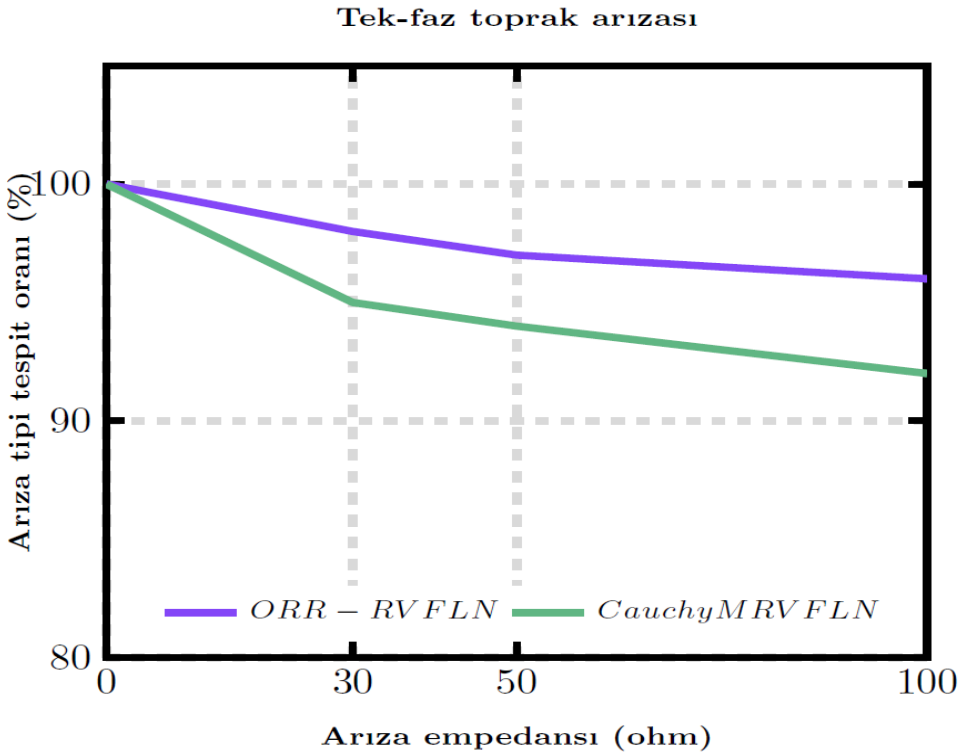
Tablo 4.16 Üç faz arızasında farklı yöntemlere göre yapılan minimum ve maksimum mesafe tespit hatası

	Gürültü Eklenmiş	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**	**Gürültü Eklenmiş**	**Gürültü Eklenmemiş**
ORR-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	10	12	14	18	24	27	30	35
maksimum(m)	105	108	118	122	130	128	140	149
Cauchy-M-RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	11	14	17	20	27	32	39	40
maksimum(m)	106	108	118	123	130	141	150	158
RVFLN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	17	20	25	29	31	39	45	54
maksimum(m)	112	119	126	134	146	150	160	168

Tablo 4.14 (Devamı)

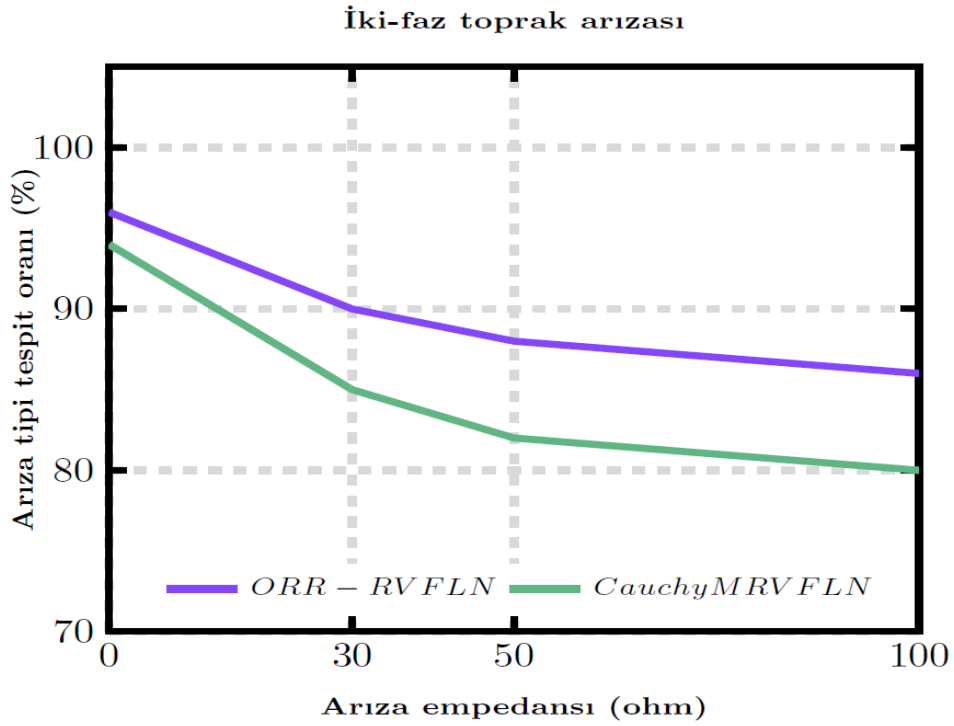
	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş
CNN	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	20	22	29	34	40	45	51	56
maksimum(m)	117	123	135	142	149	156	168	175
LSTM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	24	29	35	38	44	50	56	61
maksimum(m)	126	131	142	150	158	165	174	183
SVM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	29	33	40	46	52	58	62	69
maksimum(m)	135	143	152	165	176	185	193	201
ELM	0 ohm		30 ohm		50 ohm		100 ohm	
minimum (m)	35	41	49	56	61	68	72	79
maksimum(m)	143	154	166	179	186	195	204	211

Bu tez çalışmasında ayrıca daha önce RSCAD'de hazırlanan IEEE 39-baralı sistemden alınan verilere, denklem (3.75) ve denklem (3.76)'da anlatıldığı gibi aykırı değerler eklenerek yeni veri setleri oluşturulmuştur. Bu yeni veri setine göre dağıtım şebekesinde arızayı bulmak için Cauchy-M-RVFLN ve ORR-RVFLN yöntemlerinin hatayı tespit etme doğruluğu karşılaştırılmıştır.



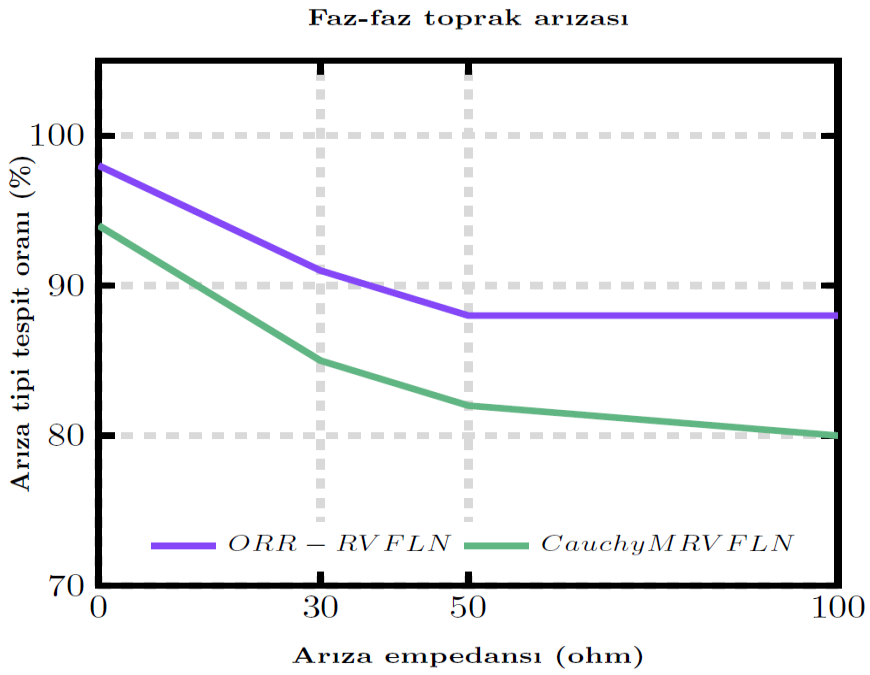
Şekil 4.19 IEEE 39-baralı sistem tek faz-toprak arızasında arızayı tespit başarım oranları

Şekil 4.19'de IEEE 39-baralı sistemde tek-faz-toprak arızası tespitinin başarım oranı iki farklı yöntem için gösterilmiştir. ORR-RVFLN yöntemi, 100 ohm arıza empedansında arızayı %96 oranında doğru tespit etmiştir. Cauchy-M-RVFLN yöntemi ise 100 ohm arıza empedansında arızayı %92 doğrulukla tespit edilmiştir. Bu arıza tipinde tüm arıza empedansları için ORR-RVFLN yönteminin Cauchy-M-RVFLN yönteminden daha yüksek başarı ile arıza tipini tespit edebildiği görülmektedir.



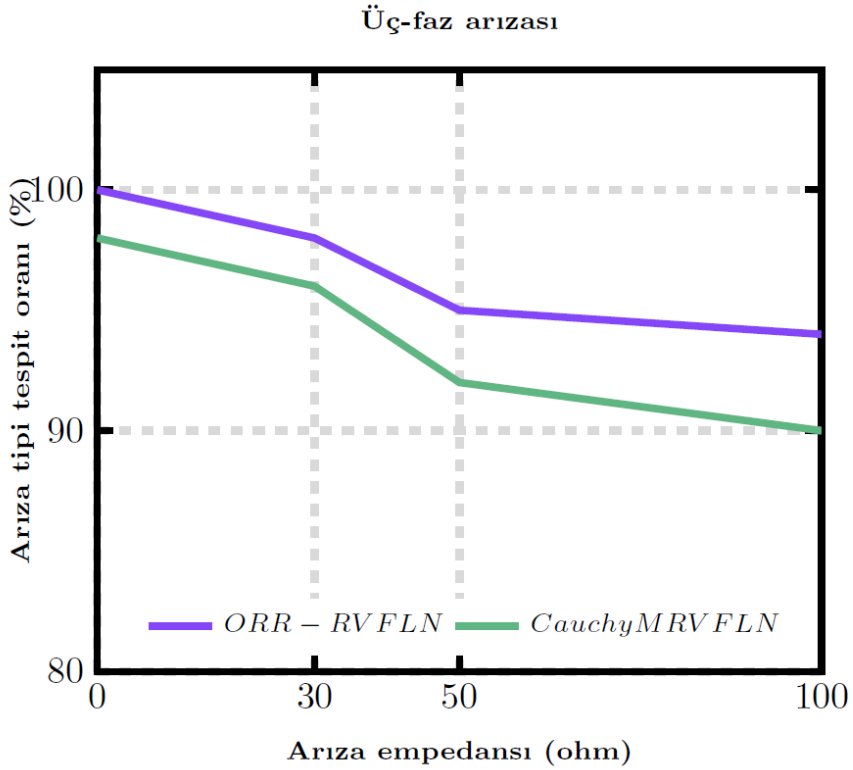
Şekil 4.20 IEEE 39-baralı sistem iki faz-toprak arızasında arızayı tespit başarım oranları

Şekil 4.20'de IEEE 39-baralı sistemde iki faz-toprak arızası tespiti gösterilmiştir. Şekil 4.12 incelendiğinde IEEE 39-baralı sistemden bu tez çalışmasında önerilen iki yöntem karşılaştırılmıştır. ORR-RVFLN yönteminde 0 ohm arıza empedansında %96 ile 100 ohm arıza empedansında arızayı %86 ile doğru tespit etmiştir. Cauchy-M-RVFLN yönteminde ise 0 ohm arıza empedansında %94 100 ohm arıza empedansında arızayı %80 ile doğru arıza tipi tespit edilmiştir. Şekil incelendiğinde arıza empedansı arttıkça Cauchy-M-RVFLN yönteminde doğru arıza tipi tespit oranında daha fazla düşüş gözlenmiştir. ORR-RVFLN yönteminde gürültülü verilerde %85'in üzerinde doğru arızayı doğrulukla tespit edilmiştir.



Şekil 4.21 IEEE 39-baralı sistem faz-faz arızasında arızayı tespit başarım oranları

Şekil 4.21'de IEEE 39-baralı sistemde faz-faz arızası tespiti gösterilmiştir. ORR-RVFLN yönteminde 0 ohm arıza empedansında %98 ile 100 ohm arıza empedansında arızayı %88 ile doğru tespit etmiştir. Cauchy-M-RVFLN yönteminde ise 0 ohm arıza empedansında %94, 100 ohm arıza empedansında arızayı %80 ile doğru arıza tespit edilmiştir. Şekil incelendiğinde arıza empedansı arttıkça Cauchy-M-RVFLN yönteminde doğru arıza tespit oranında daha fazla düşüş gözlenmiştir. Arıza empedansları arttıkça ORR-RVFLN yönteminde gürültülü verilerde %85'in üzerinde doğrulukla arıza tespiti yapılmıştır.



Şekil 4.22 IEEE 39-baralı sistem üç faz arızasında arızayı tespit başarım oranları

Şekil 4.22'de IEEE 39-baralı sistemde üç-faz arızası tespiti gösterilmiştir. ORR-RVFLN yönteminde 0 ohm arıza empedansında %100 ile 100 ohm arıza empedansında arızayı %94 ile doğru tespit etmiştir. Cauchy-M-RVFLN yönteminde ise 0 ohm arıza empedansında arızayı %98, 100 ohm arıza empedansında arızayı %90 ile doğru arıza tipi tespit edilmiştir. Şekil incelendiğinde arıza empedansında arttıkça Cauchy-M-RVFLN yönteminde doğru arıza tipi tespit oranında %8'lik düşüş gözlenmiştir. Arıza empedansları arttıkça ORR-RVFLN yönteminde gürültü verilerde %90 üzerinde doğrulukla arıza tespiti yapılmıştır.

ORR-RVFLN yönteminin IEEE-39 baralı sistemde farklı hata empedansları için başarım oranlarının değişimi Tablo 4.16'da verilmiştir. Arıza tespitinde ORR-RVFLN yönteminin genel olarak %95'in üzerinde başarım oranına sahip olduğu ve en düşük başarım değerinin iki faz-toprak arızasında 100 ohm hata empedansı için %86 olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.17 IEEE 39-baralı sistemde ORR-RVFLN yönteminin farklı arıza empedanslarında gürültülü ve gürültüsüz veriler için başarım oranı (%)

	Tek faz-toprak arızası		İki faz-toprak arızası		Faz-faz arızası		Üç faz arızası	
	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş
0 ohm	100	100	100	96	100	98	100	100
30 ohm	100	98	100	90	94	91	100	98
50 ohm	100	97	97	88	90	88	100	95
100 ohm	100	96	96	86	90	88	98	94

Cauchy-M-RVFLN yönteminin IEEE-39 baralı sistemde farklı hata empedansları için başarım oranlarının değişimi Tablo 4.17'de verilmiştir. Arıza tespitinde Cauchy-M-RVFLN yönteminin genel olarak %90'nın üzerinde başarım oranına sahip olduğu ve en düşük başarım değerinin iki faz-toprak ve faz-faz arızasında 100 ohm hata empedansı için %80 olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.18 IEEE 39-baralı sistemde Cauchy-M-RVFLN yönteminin farklı arıza empedanslarında gürültülü ve gürültüsüz veriler için başarım oranı (%)

	Tek faz-toprak arızası		İki faz-toprak arızası		Faz-faz arızası		Üç faz arızası	
	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş	Gürültü Eklenmemiş	Gürültü Eklenmiş
0 ohm	100	100	100	94	96	94	100	98
30 ohm	100	95	100	85	88	85	100	96
50 ohm	100	94	95	82	85	82	100	92
100 ohm	100	92	93	80	82	80	96	90

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dağıtım sisteminde oluşan bu arızaların giderilmesi için koruma sistemi sigortaları, otomatik tekrar kapatıcılar ve aşırı akım röleleri kullanılmaktadır. Günümüzde rüzgar enerjisi sistemleri, fotovoltaik (PV) sistemler, biyokütle enerji santralleri ve şebekeye çift yönlü bağlanabilen elektrikli araçların da dahil olması ile birlikte dağıtım sistemleri sürekli gelişmektedir. Geleneksel olarak dağıtım sistemleri pasif olan yapısı yeni unsurların sürekli dahil olması ile birlikte aktif bir şebekeye dönüşmektedir. Bu dinamik şebeke yapısı beraberinde bir cok sorun ortaya çıkarır. Bu sorunlar koruma koordinasyonunun kaybolmasına bazı rölerin hataları algılamamasına neden olur. Ayrıca, yüksek empedans arızası (HIF) ve düşük arıza akım büyüklükleri nedeniyle dağıtım şebekelerinin korumasında ciddi zafiyetler ortaya çıkabilir. Özellikle yüksek empedanslı arızalar aşırı akım röleleri ve sigortalar tarafından tespit edilebilen sınırın altında kalabilmektedir. Bundan dolayı yapay zeka gibi yöntemler kullanılarak arızanın tespit edilmesi önemli olmaktadır. Bunun yanında yapay zeka tabanlı şebeke yönetim sistemlerinin bir alt parçası olarak yapay zeka tabanlı arıza algılama yöntemleri daha da önemli olacaktır.

Bu tez çalışmasında iletim ve dağıtım hatlarının önemli bir sorunu olan kısa devre arızalarının ve arıza yerlerinin tespitinde rastgele vektör işlevsel bağlantı ağları tabanlı iki yöntem olan Cauchy-M-RVFLN ve ORR-RVFLN yöntemleri önerilmiştir. Önerilen yöntemlerin arıza tespit performansı analiz edilmiş ve diğer yöntemlerle ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yöntemlerin gerçeğe yakın dağıtım sistemi modelleri üzerinde gerçek zamanlı simülasyonlar ile denenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla gerçeğe yakın örnek sistemlerin gerçek zamanlı sayısal simülatörde (RTDS) simülasyonlarının yapılabilmesi için RTDS gerçek zamanlı simülasyon yazılım paketi olan RSCAD kullanılmıştır. Model olarak IEEE 33 ve IEEE 39 baralı sistemler seçilmiştir. IEEE 33 baralı sistem arıza tipi tahmininde kullanılmış, IEEE 39 baralı sistem ise arıza tipi ve arıza yeri tespitinde kullanılmıştır. IEEE 33 baralı sistemde önerilen yöntemlerden birisi olan Cauchy-M-RVFLN yöntemi kullanılarak arıza tespiti yapılmıştır. IEEE39 nolu baralı sistemde ise Cauchy-M-RVFLN ve ORR-RVFLN yöntemleri önerilerek arıza tipi ve arıza yerinin tespiti yapılmıştır. Ayrıca önerilen yöntemler klasik makine öğrenme yöntemleri ile de karşılaştırılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak tez çalışmasında, arıza tespitinde

kullanılacak altı yeni öznitelik vektörü geliştirilmiştir. Geliştirilen öznitelik vektörlerinin önerilen yöntemlerde hata tespit doğruluğunu artırdığı gözlenmiştir. Geliştirilen altı yeni öznitelik vektörünün yüksek empedanslı kısa devre hatalarının tespit doğruluğunu yaklaşık %10 oranında artmasına katkı sunmakta olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında gerçek sistemlere yakınlığın sağlanması için elde edilen verilere gürültü eklenerek yöntemlerin performansı test edilmiştir. Önerilen yöntemler, dağıtım veya iletim sisteminin sadece 8 baradan alınan akım ve gerilim verileri ile tespit yapabilmektedir. Bu durum çok baralı sistemde kısıtlı ölçümle arıza tespiti yapılabilmesi açısından önemli bir kazanımdır. Güç Sisteminde, 0, 10, 50 ve 100 ohm'luk arıza empedansları için ayrı ayrı olmak üzere, tek-faz-toprak arızası, 2-faz-toprak arızası, faz-faz arızası, 3-faz kısa devre arızası durumları için akım gerilim verileri elde edilmiştir. Oluşturulan kısa devre arızalarında ele alınan fazlara bağlı olarak, tek-faz-toprak arızası için olası 3 varyasyon, 2-faz-toprak arızası için olası 3 varyasyon ve faz-faz arası için olası 3 varyasyon için veriler alınmıştır. Farklı arıza empedansı, arıza türü, arıza başlangıç açı değerleri ve arıza yerine bağlı olarak toplam 12672 adet kısa devre arızası için veri kaydedilerek çalışmada kullanılmıştır

IEEE 33 Baralı sistemde gürültüsüz durumda Cauchy-M-RVFLN yönteminin, 0 ve 30 ohm'luk arıza empedansları için tüm arıza tiplerinin tespit başarı oranı %100 olmaktadır. Arıza empedanslarının artması ile başarım oranlarında bir miktar azalma olmakla beraber, en düşük başarı oranı %93 ile 100 ohm arıza empedansı için faz-faz arası kısa devre tespitinde gözlenmiştir. Yöntemin tek-faz-toprak arızasını tüm arıza empedansları için %100 doğrulukla tespit edebildiği görülmektedir. Gürültüsüz verilerde bu değeler göz önüne alındığında başarı oldukça tatmin edici görülmektedir. Verilere gürültü eklendiğinde başarım oranlarının yaklaşık %2 azaldığı görülmektedir. Tek-faz-toprak arızasındaki tespit başarım oranı 0 ohm'luk arıza empedansı için değişmez iken diğer arıza empedansları için azalmıştır. Bu arıza türü tespitinde en kötü değer %92 ile 100 ohm'luk arıza empedansı için elde edilmiştir. Arıza empedansının artması ile hata tespit başarım oranı azalmaktadır. Gürültü eklenmiş veriler ile yapılan tespitlerde en düşük başarım 100 ohm'luk arıza empedansı için iki-faz-toprak ve faz-faz arızası için %80, üç faz arızası için %90 doğrulukta olmuştur. Önerilen yöntem tüm arıza empedansı ve arıza türleri için RVFLN, CNN, LSTM, SVM ve ELM yöntemlerinden daha yüksek doğrulukla arıza tespiti yapabilmiştir. Önerilen yöntemin

hesaplama zamanı karşılaştırılan yöntemlerden sadece RVFLN'den büyük olup, diğer yöntemlerden daha kısadır. Test zamanında ise RVFLN ile en kısa süreye sahip olup diğer yöntemlerden de belirgin olarak kısa sürede test edilebilmektedir.

IEEE 39 baralı sistem modeli arıza yeri tespiti için uygun bir model olduğundan çalışmada uygulama modeli olarak tercih edilmiştir. IEEE 33 baralı sistem modelinden farklı olarak yedi ayrı kategoriye ayrılmış mesafeler için her kategoride yüz adet kısa devre oluşturulmuş ve arıza yerleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar gürültülü ve gürültüsüz veriler için ayrı ayrı elde edilmiştir. Arıza yeri tespiti için ORR-RVFLN yöntemi önerilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde hatalı arıza yer tespitinin, arıza empedansı arttıkça yükseldiği ve baraya olan mesafesi arttıkça da azaldığı tespit edilmiştir. Bu genel eğilim tüm arıza türleri için geçerli olmuştur. Tüm arıza türleri için baradan uzaklığı 0-50, 50-100, 100-150, 150-200, 250-300, 350-400 ve >400 m olan yedi kategoride hatalı tespit edilen arıza yeri sayıları ve yapılan ortalama mesafe hataları elde edilmiştir. Her mesafe kategorisi için 100 adet farklı arıza oluşturulmuş ve her kategoride bu arızaların yerinin doğru olarak tespit edilip edilemediği araştırılmıştır. En çok hatalı yer tespiti baraya en yakın mesafe olan 0-50 m aralığında görülmüştür. Bu aralıkta en fazla hatalı ölçümün yapıldığı 100 ohm'luk arıza empedansında, hatalı yapılan tespit sayısı gürültülü veriler için tek-faz-toprak arızasında 69 iken, üç faz arızasında 65, faz-faz arızasında 63, iki-faz-toprak arızasında 49 olmaktadır. Ancak baraya yakın mesafelerde meydana gelen arızalar işletme açısından en kolay ulaşılabilir arıza yerleridir. Bu nedenle 0-50 m aralığında yapılan arıza yeri tespit hatasının bir dezavantaj oluşturmayacağı söylenebilir. Arıza yeri tespitinde önemli olan husus baraya uzak mesafelerde meydana gelen arıza yerlerinin yüksek doğrulukla tespit edilmesidir. Mesafenin 400 m'den büyük olduğu kategoride aynı koşullarda hatalı yapılan tespit sayısı tek faz toprak arızası için 10, üç faz arızası için 9, faz-faz arızası için 8 ve iki-faz toprak arızası için 5 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar yöntemin 400 m'den uzak mesafelerdeki arıza yerini %90'nın üzerinde doğrulukla doğru olarak tespit ettiğini göstermektedir. Arıza yeri tespitinde dikkat edilecek bir husus da tahminin gerçek arıza yerine olan uzaklığıdır. Uzaklık az olsa bile gerçek arıza yeri tespit edilemediğinden hatalı tespit sınıfında yer almaktadır. Oluşturulan yüz adet kısa devre için hatalı tahmin edilen arıza yerinin gerçek arıza yerine uzaklığının ortalama değerleri incelendiğinde gürültüsüz durum için en büyük

mesafenin tek faz toprak arızasında 16,39 m olduğu, bu değeri üç faz arızasının 14,93 m, faz-faz arası kısa devrenin arızasının 13,47 m ve iki-faz toprak arızasının 12,02 m ile izlediği görülmektedir. ORR-RVFLN yönteminde hatalı ölçülen arıza yerindeki mesafe hatası iki faz-toprak arızasında minimum 7 m ile 0 ohm'luk arıza empedansında gürültülü verilerde görülürken, maksimum mesafe hatası ise üç faz arızasında 100 ohm'luk arıza empedansında gürültüsüz verilerde 149 m olarak ölçülmüştür. Diğer yöntemlerde bu hata değerleri daha da büyüktür. Arıza yeri tespitinde gürültü eklenmiş verilerde daha az mesafe hatası yapıldığı görülmektedir. Hata yeri tespitinde ORR-RVFLN, Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM, ELM yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonunda en iyi performansı ORR-RVFLN yönteminin gösterdiği, onu sırasıyla Cauchy-M-RVFLN, RVFLN, CNN, LSTM, SVM, ELM yöntemlerinin izlediği tespit edilmiştir. ORR-RVFLN yöntemi tek faz toprak arızasında en kötü yöntem olan ELM yönteminden yaklaşık %10 daha iyi doğru tahmin yaparken kendisine en yakın yöntem olan Cauch-M-RVFLN yönteminden yaklaşık %3 daha iyi sonuç vermiştir. Diğer hata türlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ortalama mesafe hatası açısından da yöntemler karşılaştırıldığında en iyi sonucun ORR-RVFLN yöntemi ile elde edildiği görülmektedir. Gürültülü durumda tüm arıza empedansı için bu yöntem en iyi sonucu vermektedir.

Hata tipi tespiti için önerilen ORR-RVFLN yöntemi ve Cauchy-M-RVFLN yönteminin IEEE 39-bara sisteminde birbirleriyle karşılaştırılması sonuçları incelendiğinde ORR-RVFLN yönteminin Cauchy-M-RVFLN yönteminden daha başarılı olduğu görülmektedir. Tek faz toprak ve üç faz arızasında her iki yöntem de tüm arıza empedansı için %90'nın üzerinde doğrulukla arıza türü tespiti yapmaktadır. ORR-RVFLN yöntemi bu arıza türlerinde Cauchy-M-RVFLN yöntemine göre yaklaşık %3 daha doğruluk ile arıza türü tespiti yapabilmektedir. İki-faz-toprak ve faz-faz toprak arızalarında ise her iki yöntem de tüm arıza empedansları için %80'nin üzerinde doğrulukla hata türü tespiti yapmıştır. ORR-RVFLN yöntemi en düşük başarım oranının olduğu 100 ohm arıza empedansı, arızaların tespitinde iki-faz-toprak arızası için yaklaşık %6, faz-faz toprak arızasında ise yaklaşık %8 daha iyi sonuç vermiştir. Tüm sonuçlar göz önüne alındığında önerilen ORR-RVFLN yönteminin arıza türü ve arıza yeri tespitinde en başarılı yöntem olduğu ortaya çıkmaktadır.

Önerilen yöntem literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Tablo 5.1'de görüldüğü üzere çalışmamızda 14 farklı özniteliğin kullanılması diğer yayınlardan daha önemli bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda çalışmaların çoğunda tek baralı sistemlerde yapılan simülasyonlar ile veriler oluşturulurken, ele alınan yöntemler IEEE 33 ve IEEE 39-baralı sistemler üzerinde çalışılmıştır. Literatürdeki çalışmalar genellikle gerçek zamanlı olmayan simülasyon verileri üzerinde oluşturulurken bizim çalışmamız gerçek zamanlı simülatör (RTDS) kullanılmıştır. Böylelikle gerçek verilere en yakın değerler elde edilmiştir. Yayınların çoğunda gürültü değeri dikkate alınmazken, tez çalışmasında gürültülü verilerde dikkate alınmıştır. [55], [56] ve [78] nolu makalelerde gürültü dikkate alınarak çalışma yapılmıştır. Ancak bu çalışmalarda iki baralı sistemler kullanılmıştır. Tez çalışmasında ise hem yüksek empedanslı kısa devre arızaları hem de sensörlerden kaynaklanan gürültüler dikkate alınarak gerçekçi bir model üzerinde sonuçlar alınmıştır. Tüm bu parametreler ele alındığında yapılan çalışmanın gerçekçi sistemlere benzemesi ve yüksek doğruluk oranı göstermesiyle öne çıktığı söylenebilir.

Tez çalışmasında, literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak her bir farklı arıza empedans değerine göre sınıflandırılma doğruluk oranı verilmiştir. Ancak genellikle literatürdeki çalışmalarda, bu çalışmada olduğu gibi ayrı ayrı arıza empedanslarında başarım oranı verilmemiştir. Literatürde genellikle bir veri seti hazırlanıp tespit algoritmasına uygulanmıştır ve yüksek empedansları arızaların etkisi gözlenememiştir. Yüksek arıza empedansına sahip arızalarda hatanın tespiti güçleşmekte ve yöntemlerin doğruluk oranları yüksek empedans değerlerinde azalmaktadır. Ancak literatürdeki çalışmalarda farklı arıza tipleri ve arıza empedansları için hazırlanan sadece bir veri setinde arıza tipi tespit edilmiş, farklı hata empedansları için ayrı bir inceleme yapılmamıştır. Bu nedenle literatürdeki çalışmalarda yüksek empedans etkisi veri setini az etkilediğinden başarım oranları yüksek olmuştur. Bu çalışmada her faklı arıza empedans değerleri için ayrı ayrı doğruluk oranı değerlendirilmiştir. Önerilen yöntemlerin 0 ohm hata empedansında %100 başarıma sahip olduğu göz önüne alındığında başarım oranı olarak literatürdeki yöntemlerden geride olmadığı gözlenmektedir. Tablo 5.1 incelendiğinde Cauchy-M-RVFLN yönteminde gürültü eklenmiş verilerde tüm arıza empedanslarında ortalama

tespit başarım oranı %89,94'tür. ORR-RVFLN yönteminde gürültü eklenmiş verilerde tüm arıza empedanslarında ortalama tespit başarım oranı %92,2'dir.

Tablo 5.1 Literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılması

	Topoloji	**Öznitelik**	**Uygulaması**	**Tespit Yöntemi**	**Gürültü Etkisi**	**Başarım Oranı (%)**
[43]	5 baralı model	3 faz akım girişli ve 3 faz akımların karesi	MATLAB/Simulink	k-NN	Gürültü dikkate alınmamıştır.	98
[46]	İki baralı uzun iletim hattı modeli	3 faz akım sinyalleri	MATLAB/Simulink	Toplam-Dalgacık ELM, Toplam-Gauss ELM	Gürültü dikkate alınmamıştır.	98,22
[54]	Dört Makineli İki Alanlı Test Güç Sistemi	4 özellik girişli (akım, akım açısı, gerilim, gerilim açısı)	MATLAB/Simulink	LSTM	Gürültü dikkate alınmamıştır.	96,71
[55]	İki baralı uzun iletim hattı modeli	3 faz akım ve gerilim verileri	MATLAB/Simulink	Evrişimli seyrek otomatik kodlayıcı (CSAE)	Farklı gürültü değerleri dikkate alınmıştır.	92,22
[56]	1)Üç Fazlı Çift Uçlu Sistem 2)MMC Tabanlı HVDC Sistemi	3 faz akım sinyalleri	PSCAD/EMTDC software	Grup Seyrek Temsili (Group Sparse Representation)	Farklı gürültü değerleri dikkate alınmıştır.	96,92
[57]	IEEE 33-baralı model	3 faz akım ve gerilim verileri	MATLAB/Simulink	ACNN	Gürültü dikkate alınmamıştır.	95,8
[78]	İki baralı uzun iletim hattı modeli	3 faz akım sinyalleri	MATLAB/Simulink	k-NN	Farklı gürültü değerleri dikkate alınmıştır.	99,5
[81]	İki baralı uzun iletim hattı modeli	3 faz akım sinyalleri	MATLAB/Simulink	SVM	Gürültü dikkate alınmamıştır.	
[121]	İki baralı uzun iletim hattı modeli	3 faz akım ve gerilim verileri	MATLAB/Simulink	CNN	Gürültü dikkate alınmamıştır.	99,9
Bu tezde	IEEE 33-baralı model	14 farklı veri girişi	RSCAD, RTDS	Cauchy-M-RVFLN	Farklı gürültü değerleri dikkate alınmıştır.	89,94
	IEEE 39-baralı model			ORR-RVFLN		92,2

Önerilen algoritmada öznitelikler normalleştirildiği için iletim sistemlerine başarıyla uygulanabilmektedir. Önerilen algoritmalar, hem iletim hatlarının kısa devre arıza türü tespitini hem de tespit edilmesi zor olan yüksek empedanslı kısa devre arızalarının tespitini sağlamaktadır.

Gelecek çalışmalarda önerilen yöntemlerin transformatör, generatör, motor gibi elektromekanik teçhizat arızalarının tespitinde veya elektromekanik teçhizatla, teçhizatı şebekeye bağlayan hat üzerindeki arızaların tespitinde de kullanılması önerilebilir. Ancak bu tür farklı uygulamalarda arızaların tespitinde yöntemlerin kullanılabilmesi için bu uygulamalardaki arıza tiplerinin analiz edilmesi gerekmektedir. Tez çalışmasında dağıtım şebekesi için önerilen öznitelik vektörlerinin elektromekanik teçhizattaki arızaların tespitinde kullanılması dağıtım ve iletim şebekelerine göre daha düşük başarı oranı sağlaması söz konusu olabilecektir. Bu nedenle farklı uygulamalardaki arıza tespiti için yeni özniteliklerin çıkarılması önerilmektedir. Bunun yanında önerilen yöntemlerle çalışan donanımsal ürünlerin gerçekleştirilmesi de mümkündür. Böylelikle rölelere alternatif yapay zekâ tabanlı arıza tespit donanımları geliştirilebilecektir.

KAYNAKLAR

[1] J. Morais, Y. Pires, C. Cardoso, and A. Klautau, "An Overview of Data Mining Techniques Applied to Power Systems," *Data Mining and Knowledge Discovery in Real Life Applications*, no. February, 2009.

[2] A. R. Jordehi, "Optimisation of electric distribution systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 51, pp. 1088–1100, 2015.

[3] A. Silos-Sanchez, R. Villafafila-Robles, and P. Lloret-Gallego, "Novel fault location algorithm for meshed distribution networks with DERs," *Electric Power Systems Research*, vol. 181, no. November 2019, 2020.

[4] Y. M. Nsaif, M. S. H. Lipu, A. Ayob, Y. Yusof, and A. Hussain, "Fault Detection and Protection Schemes for Distributed Generation Integrated to Distribution Network: Challenges and Suggestions," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 142693–142717, 2021.

[5] M. Gholami, A. Abbaspour, M. Moeini-Aghtaie, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Lehtonen, "Detecting the Location of Short-Circuit Faults in Active Distribution Network Using PMU-Based State Estimation," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 11, no. 2, pp. 1396–1406, 2020.

[6] Regional Group Nordic, "Nordic and Baltic Grid Disturbance Statistics 2020," 2021.

[7] E. Quality, S. Work, and S. Ref, "2 nd CEER Report on Power Losses," no. March, 2020.

[8] InternationalEnergyAgency, "Analytical Frameworks for Electricity Security," 2021.

[9] InternatıonalEnergyAgency, "Strengthening Power System Security in Kyrgyzstan," Internatıonal Energy Agency, Jul. 2022.

[10] OECD 2021, "Competitiveness in South East Europe 2021 :A Policy Outlook," OECD Publishing, Paris, Jul. 2021.

[11] InternatıonalEnergyAgency, "Electrıcıty Informatıon 2022 Edıtıon," 2022.

[12] J. Jasiūnas, P. D. Lund, J. Mikkola, and L. Koskela, "Linking socio-economic aspects to power system disruption models," *Energy*, vol. 222, p. 119928, May 2021.

[13] G. J. Rubin and M. B. Rogers, "Behavioural and psychological responses of the public during a major power outage: A literature review," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 38, no. July, p. 101226, Aug. 2019.

[14] C. Dominianni, K. Lane, S. Johnson, K. Ito, and T. Matte, "Health Impacts of Citywide and Localized Power Outages in New York City," *Environmental Health*

Perspectives, vol. 126, no. 6, p. 067003, Jun. 2018.

[15] B. J. Brearley and R. R. Prabu, "A review on issues and approaches for microgrid protection," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, pp. 988–997, Jan. 2017.

[16] Á. Silos, A. Señís, R. de Pozuelo, and A. Zaballos, "Using IEC 61850 GOOSE Service for Adaptive ANSI 67/67N Protection in Ring Main Systems with Distributed Energy Resources," *Energies*, vol. 10, no. 11, p. 1685, Oct. 2017.

[17] S.-E. Razavi *et al.*, "Impact of distributed generation on protection and voltage regulation of distribution systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 105, no. May 2018, pp. 157–167, May 2019.

[18] M. Monadi, M. Amin Zamani, J. Ignacio Candela, A. Luna, and P. Rodriguez, "Protection of AC and DC distribution systems Embedding distributed energy resources: A comparative review and analysis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 51, pp. 1578–1593, Nov. 2015.

[19] W. El-Khattam and T. S. Sidhu, "Restoration of Directional Overcurrent Relay Coordination in Distributed Generation Systems Utilizing Fault Current Limiter," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 2, pp. 576–585, Apr. 2008.

[20] F. B. Costa, B. A. Souza, N. S. D. Brito, J. A. C. B. Silva, and W. C. Santos, "Real-Time Detection of Transients Induced by High-Impedance Faults Based on the Boundary Wavelet Transform," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 51, no. 6, pp. 5312–5323, Nov. 2015.

[21] A. Ghaderi, H. L. Ginn, and H. A. Mohammadpour, "High impedance fault detection: A review," *Electric Power Systems Research*, vol. 143, pp. 376–388, 2017.

[22] G. N. Lopes, V. A. Lacerda, J. C. M. Vieira, and D. V. Coury, "Analysis of Signal Processing Techniques for High Impedance Fault Detection in Distribution Systems," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 36, no. 6, pp. 3438–3447, 2021.

[23] D. P. Mishra and P. Ray, "Fault detection, location and classification of a transmission line," *Neural Computing and Applications*, vol. 30, no. 5, pp. 1377–1424, Sep. 2018.

[24] S. A. Aleem, N. Shahid, and I. H. Naqvi, "Methodologies in power systems fault detection and diagnosis," *Energy Systems*, vol. 6, no. 1, pp. 85–108, Mar. 2015.

[25] A. Yadav and Y. Dash, "An Overview of Transmission Line Protection by Artificial Neural Network: Fault Detection, Fault Classification, Fault Location, and Fault Direction Discrimination," *Advances in Artificial Neural Systems*, vol. 2014, pp. 1–20, Dec. 2014.

[26] R. Godse, S. Member, and S. Bhat, "Mathematical Morphology-Based Feature-Extraction Technique for Detection and Classification of Faults on Power

Transmission Line," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 38459–38471, 2020.

[27] P. Ray and D. P. Mishra, "Support vector machine based fault classification and location of a long transmission line," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 19, no. 3, pp. 1368–1380, 2016.

[28] A. Dasgupta, S. Nath, and A. Das, "Transmission line fault classification and location using wavelet entropy and neural network," *Electric Power Components and Systems*, vol. 40, no. 15, pp. 1676–1689, 2012.

[29] B. K. Panigrahi, "Transmission line fault detection and classification," *2011 International Conference on Emerging Trends in Electrical and Computer Technology*, pp. 15–22, 2011.

[30] N. Roy and K. Bhattacharya, "Identification and classification of fault using S-transform in an unbalanced network," in *2013 IEEE 1st International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON)*, 2013, pp. 111–115.

[31] P. Gopakumar, M. J. B. Reddy, and D. K. Mohanta, "Adaptive fault identification and classification methodology for smart power grids using synchronous phasor angle measurements," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 9, no. 2, pp. 133–145, Jan. 2015.

[32] A. Yadav and A. Swetapadma, "Enhancing the performance of transmission line directional relaying, fault classification and fault location schemes using fuzzy inference system," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 9, no. 6, pp. 580–591, Apr. 2015.

[33] P. K. Dash, S. Das, and J. Moirangthem, "Distance protection of shunt compensated transmission line using a sparse S-transform," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 9, no. 12, pp. 1264–1274, Sep. 2015.

[34] A. Swetapadma, S. Member, A. Yadav, and S. Member, "A Novel Decision Tree Regression-Based Fault Distance Estimation Scheme for Transmission Lines," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 1, pp. 234–245, 2017.

[35] M. Salehi and F. Namdari, "Fault classification and faulted phase selection for transmission line using morphological edge detection filter," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 12, no. 7, pp. 1595–1605, Apr. 2018.

[36] B. Rathore and A. G. Shaik, "Wavelet-alienation based transmission line protection scheme," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 11, no. 4, pp. 995–1003, Mar. 2017.

[37] S. N. Ananthan, R. Padmanabhan, R. Meyur, B. Mallikarjuna, M. J. B. Reddy, and D. K. Mohanta, "Real-time fault analysis of transmission lines using wavelet multi-resolution analysis based frequency-domain approach," *IET Science, Measurement & Technology*, vol. 10, no. 7, pp. 693–703, Oct. 2016.

[38] M. Biswal, “Faulty phase selection for transmission line using integrated moving sum approach,” *IET Science, Measurement & Technology*, vol. 10, no. 7, pp. 761–767, Oct. 2016.

[39] A. Malhotra, O. P. Mahela, and H. Doraya, “Detection and classification of power system faults using discrete wavelet transform and rule based decision tree,” *2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies, GUCON 2018*, pp. 142–147, 2019.

[40] S. Ranjbar and S. Jamali, “Fault Detection in Microgrids Using Combined Classification Algorithms and Feature Selection Methods,” *2019 International Conference on Protection and Automation of Power System (IPAPS)*, pp. 17–21, 2019.

[41] J. Xie, A. P. S. Meliopoulos, and B. Xie, “Transmission Line Fault Classification Based on Dynamic State Estimation and Support Vector Machine,” *2018 North American Power Symposium, NAPS 2018*, pp. 1–5, 2019.

[42] R. A. Sowah *et al.*, “Design of power distribution network fault data collector for fault detection, location and classification using machine learning,” *IEEE International Conference on Adaptive Science and Technology, ICAST*, vol. 2018-Augus, pp. 1–8, 2018.

[43] A. A. Majd, H. Samet, and T. Ghanbari, “k-NN based fault detection and classification methods for power transmission systems,” *Protection and Control of Modern Power Systems*, vol. 2, no. 32, 2017.

[44] M. Jamil, S. K. Sharma, and R. Singh, “Fault detection and classification in electrical power transmission system using artificial neural network,” *SpringerPlus*, 2015.

[45] P. Ray, “Extreme Learning Machine based Fault Classification in a Series Compensated Transmission Line,” *2012 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, pp. 1–6, 2012.

[46] Y. Q. Chen, O. Fink, and G. Sansavini, “Combined Fault Location and Classification for Power Transmission Lines Fault Diagnosis With Integrated Feature Extraction,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 1, pp. 561–569, 2018.

[47] A. A, S. B. K, S. Benson, A. A. A, A. Dilshad, and D. S. Kumar, “A Modified CNN for Detection of Faults During Power Swing in Transmission Lines,” in *2020 International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing (PICC)*, 2020, pp. 1–5.

[48] S. R. Fahim, S. K. Das, Y. Sarker, and R. I. Sheikh, “A Novel Wavelet Aided Probabilistic Generative Model for Fault Detection and Classification of High Voltage Transmission Line,” in *2020 2nd International Conference on Smart Power & Internet Energy Systems (SPIES)*, 2020.

[49] D. Mnyanghwalo, H. Kundaeli, E. Kalinga, and H. Ndyetabura, “Faults Detection and Classification in Electrical Secondary Distribution Network Using Recurrent Neural Network,” in *2020 6th IEEE International Energy Conference (ENERGYCon)*, 2020, pp. 958–966.

[50] W. Ye *et al.*, “Fault Classification of High Voltage Transmission Line Based on Convolutional Neural Network,” in *2020 10th International Conference on Information Science and Technology (ICIST)*, 2020, no. 031800, pp. 294–300.

[51] R. Fan, T. Yin, R. Huang, J. Lian, S. Wang, and S. Member, “Transmission Line Fault Location Using Deep Learning Techniques,” in *2019 North American Power Symposium (NAPS)*, 2019.

[52] M. Li, Y. Yu, T. Ji, and Q. Wu, “On-line Transmission Line Fault Classification using Long Short-Term Memory,” *2019 IEEE 12th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)*, pp. 513–518, 2019.

[53] P. Srikanth and C. Koley, “A novel three-dimensional deep learning algorithm for classification of power system faults,” *Computers and Electrical Engineering*, vol. 91, no. March, p. 107100, 2021.

[54] S. Belagoune, N. Bali, A. Bakdi, B. Baadji, and K. Atif, “Deep learning through LSTM classification and regression for transmission line fault detection , diagnosis and location in large-scale multi-machine power systems,” *Measurement*, vol. 177, no. December 2020, p. 109330, 2021.

[55] K. Chen, J. Hu, and J. He, “Detection and Classification of Transmission Line Faults Based on Unsupervised Feature Learning and Convolutional Sparse Autoencoder,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 3, pp. 1748–1758, 2018.

[56] S. Shi, S. Member, B. Zhu, S. Member, and S. Mirsaeidi, “Fault Classification for Transmission Lines Based on Group Sparse Representation,” *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 4, pp. 4673–4682, 2019.

[57] J. Liang, T. Jing, H. Niu, and J. Wang, “Two-Terminal Fault Location Method of Distribution Network Based on Adaptive Convolution Neural Network,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 54035–54043, 2020.

[58] H. A. Abd el-Ghany, I. A. Soliman, and A. E. ELGebaly, “An advanced wide-area fault detection and location technique for transmission lines considering optimal phasor measurement units allocation,” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, no. 5, pp. 3971–3984, 2022.

[59] M. Qasim Khan, M. Mohamud Ahmed, and A. M. A. Haidar, “An accurate algorithm of PMU-based wide area measurements for fault detection using positive-sequence voltage and unwrapped dynamic angles,” *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, vol. 192, no. September 2020, p. 110906, 2022.

[60] N. Rezaee Ravesh, N. Ramezani, I. Ahmadi, and H. Nouri, “A hybrid artificial neural network and wavelet packet transform approach for fault location in hybrid transmission lines,” *Electric Power Systems Research*, vol. 204, no. December 2021, p. 107721, 2022.

[61] A. Ghaemi, A. Safari, H. Afsharirad, and H. Shayeghi, “Accuracy enhance of fault classification and location in a smart distribution network based on stacked ensemble learning,” *Electric Power Systems Research*, vol. 205, no. December 2021, p. 107766, 2022.

[62] M. Bhatnagar, A. Yadav, and A. Swetapadma, “Enhancing the resiliency of transmission lines using extreme gradient boosting against faults,” *Electric Power Systems Research*, vol. 207, no. January, p. 107850, 2022.

[63] B. Chatterjee and S. Debnath, “Cross correlation aided fuzzy based relaying scheme for fault classification in transmission lines,” *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 23, no. 3, pp. 534–543, 2020.

[64] B. Taheri, S. Salehimehr, and M. Sedighizadeh, “A novel strategy for fault location in shunt-compensated double circuit transmission lines equipped by wind farms based on long short-term memory,” *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 6, p. 100406, 2022.

[65] H. V. Gururaja Rao, N. Prabhu, and R. C. Mala, “Wavelet transform-based protection of transmission line incorporating SSSC with energy storage device,” *Electrical Engineering*, vol. 102, no. 3, pp. 1593–1604, 2020.

[66] M. Azeroual *et al.*, “Fault location and detection techniques in power distribution systems with distributed generation: Kenitra City (Morocco) as a case study,” *Electric Power Systems Research*, vol. 209, no. April, p. 108026, Aug. 2022.

[67] H. Zhang, Y. Xie, S. Member, T. Yi, and X. Kong, “Fault Detection for High-Voltage Circuit Breakers Based on Time – Frequency Analysis of Switching Transient E -Fields,” vol. 69, no. 4, pp. 1620–1631, 2020.

[68] K. B. Swain, S. S. Mahato, and M. Cherukuri, “Expeditious situational awareness-based transmission line fault classification and prediction using synchronized phasor measurements,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 168187–168200, 2019.

[69] S. R. Ola, A. Saraswat, S. K. Goyal, S. K. Jhajharia, B. Rathore, and O. P. Mahela, “Wigner distribution function and alienation coefficient-based transmission line protection scheme,” *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 14, no. 10, pp. 1842–1853, 2020.

[70] B. Rathore, O. P. Mahela, B. Khan, H. H. Alhelou, and P. Siano, “Wavelet-Alienation-Neural-Based Protection Scheme for STATCOM Compensated Transmission Line,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 4, pp. 2557–2565, 2021.

[71] A. Gupta, R. K. Pachar, B. Khan, O. P. Mahela, and S. Padmanaban, "A multivariable transmission line protection scheme using signal processing techniques," *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 15, no. 22, pp. 3115–3137, 2021.

[72] Z. El Mrabet, N. Sugunaraj, P. Ranganathan, and S. Abhyankar, "Random Forest Regressor-Based Approach for Detecting Fault Location and Duration in Power Systems," *Sensors*, vol. 22, no. 2, pp. 1–19, 2022.

[73] B. Patel, P. Bera, and S. H. N. Dey, "A Novel Method to Distinguish Internal and External Faults during Power Swing," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 36, no. 5, pp. 2595–2605, 2021.

[74] S. Fahim, S. Sarker, S. Das, M. R. Islam, A. Kouzani, and M. A. P. Mahmud, "A Probabilistic Generative Model for Fault Analysis of a Transmission Line with SFCL," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 31, no. 8, 2021.

[75] E. Aker, M. L. Othman, V. Veerasamy, I. bin Aris, N. I. A. Wahab, and H. Hizam, "Fault Detection and Classification of Shunt Compensated Transmission Line Using Discrete Wavelet Transform and Naive Bayes Classifier," *Energies*, vol. 13, no. 1, p. 243, Jan. 2020.

[76] J. Han, S. Miao, Y. Li, W. Yang, and H. Yin, "Fault Diagnosis of Power Systems Using Visualized Similarity Images and Improved Convolution Neural Networks," *IEEE Systems Journal*, vol. 16, no. 1, pp. 185–196, 2022.

[77] H. Hassani, R. Razavi-Far, M. Saif, J. Zarei, and F. Blaabjerg, "Intelligent Decision Support and Fusion Models for Fault Detection and Location in Power Grids," *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, vol. 6, no. 3, pp. 530–543, 2022.

[78] A. K. Gangwar, O. P. Mahela, B. Rathore, B. Khan, H. H. Alhelou, and P. Siano, "A Novel k-Means Clustering and Weighted k-NN-Regression-Based Fast Transmission Line Protection," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 9, pp. 6034–6043, 2021.

[79] B. Rathore, O. P. Mahela, B. Khan, and S. Padmanaban, "Protection scheme using wavelet-alienation-neural technique for UPFC compensated transmission line," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 13737–13753, 2021.

[80] D. Guillen, J. A. D. L. O. Serna, A. Zamora-Mendez, M. R. A. Paternina, and F. Salinas, "Taylor-Fourier Filter-Bank Implemented with O-Splines for the Detection and Classification of Faults," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 5, pp. 3079–3089, 2021.

[81] M. Coban and S. S. Tezcan, "Detection and and classification classification of Detection of short-circuit short-circuit faults faults on using current current signal signal on a a transmission transmission line line using," *Bulletın Of The Polısh Academy Of Scıences Technıcal Scıences*, vol. 69, no. 4, pp. 1–9, 2021.

[82] T.-C. Ou, “A novel unsymmetrical faults analysis for microgrid distribution systems,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 43, no. 1, pp. 1017–1024, Dec. 2012.

[83] 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*, vol. 74, no. March, pp. 949–958, Jul. 2017.

[84] M. N. Bogar and C. K. Jambotkar, “Power system fault detection and classification using wavelet transform and back propagation neural network,” *International Journal of Recent Trends in Engineering and Research*, vol. 4, no. 1, pp. 98–109, Jan. 2018.

[85] A. Recioui, B. Benseghier, and H. Khalfallah, “Power system fault detection, classification and location using the K-Nearest Neighbors,” in *2015 4th International Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, 2015, pp. 1–6.

[86] M. Majidi, M. S. Fadali, and M. Etezadi-amoli, “Partial Discharge Pattern Recognition via Sparse Representation and ANN,” vol. 22, no. 2, pp. 1061–1070, 2015.

[87] Y.-H. Pao and Y. Takefuji, “Functional-Link Net Computing:Theory, System Architecture, and Functionalities,” in *International Joint Conference on Neural Networks*, 1992, pp. 76–79.

[88] H. Kılıç, M. Yılmaz, and B. Gumus, “Fault Detection in Photovoltaic Arrays: A Robust Regularized Machine Learning Approach,” *DYNA*, vol. 95, no. 1, pp. 622–628, Nov. 2020.

[89] Y. Pao, G. Park, and D. J. Sobajic, “Learning and generalization characteristics of the random vector functional-link net,” *Neurocomputing*, vol. 6, no. 2, pp. 163–180, Apr. 1994.

[90] B. Igelnik and Y. Pao, “Stochastic Choice of Basis Functions in Adaptive Function Approximation and the Functional-Link Net,” vol. 6, no. 6, pp. 1320–1329, 1995.

[91] P. Zhou, Y. Lv, H. Wang, and T. Chai, “Data-Driven Robust RVFLNs Modeling of a Blast Furnace Iron-Making Process Using Cauchy Distribution Weighted M-Estimation,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 9, pp. 7141–7151, Sep. 2017.

[92] P. Zhou, M. Yuan, H. Wang, Z. Wang, and T. Chai, “Multivariable dynamic modeling for molten iron quality using online sequential random vector functional-link networks with self-feedback connections,” *Information Sciences*, vol. 325, pp. 237–255, 2015.

[93] M. Sahani and P. K. Dash, “FPGA-Based Online Power Quality Disturbances

Monitoring Using Reduced-Sample HHT and Class-Specific Weighted RVFLN," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 8, pp. 4614–4623, Aug. 2019.

[94] P. J. Rousseeuw, C. Croux, P. J. Rousseeuw, and C. Croux, "Alternatives to the Median Absolute Deviation Alternatives to the Median Absolute Deviation," *Journal of the American Statistical Association*, vol. 88, no. 424, pp. 1273–1283, 1993.

[95] P. J. Rousseeuw and C. Croux, "The bias of k-step M -estimators," *Statistics & Probability Letters*, vol. 20, pp. 411–420, 1994.

[96] M. Valdora and V. J. Yohai, "Journal of Statistical Planning and Inference Robust estimators for generalized linear models," *Journal of Statistical Planning and Inference*, vol. 146, pp. 31–48, 2014.

[97] J. Fan, A. Yan, and N. Xiu, "Asymptotic properties for M-estimators in linear models with dependent random errors," *Journal of Statistical Planning and Inference*, vol. 148, pp. 49–66, 2014.

[98] L. Huang, H. Wang, and A. Zheng, "The M -estimator for functional linear regression model," *Statistics and Probability Letters*, vol. 88, pp. 165–173, 2014.

[99] E. López-rubio, E. J. Palomo, and E. Domínguez, "Neurocomputing Robust self-organization with M-estimators," *Neurocomputing*, vol. 151, pp. 408–423, 2015.

[100] G. Pitselis, "Journal of Computational and Applied," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 239, pp. 231–249, 2013.

[101] B. C. Arnold and P. L. Brockett, "On Distributions Whose Component Ratios are Cauchy," *The American Statistician*, vol. 46, no. 1, pp. 25–26, Feb. 1992.

[102] A. E. Hoerl and R. W. Kennard, "Ridge Regression: Biased Estimation for Nonorthogonal Problems," *Technometrics*, vol. 12, no. 1, pp. 55–67, Feb. 1970.

[103] W. Dai, Q. Chen, F. Chu, X. Ma, and T. Chai, "Robust Regularized Random Vector Functional Link Network and Its Industrial Application," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 16162–16172, 2017.

[104] H. T. Huynh and Y. Won, "Regularized online sequential learning algorithm for single-hidden layer feedforward neural networks," *Pattern Recognition Letters*, vol. 32, no. 14, pp. 1930–1935, Oct. 2011.

[105] R. Kuffel, P. Forsyth, R. Kuffel, P. Forsyth, and C. Peters, "The Role and Importance of Real Time Digital Simulation in the Development and Testing of Power System Control and Protection," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 27, pp. 178–182, 2016.

[106] K. Sidwall and P. Forsyth, "Advancements in Real-Time Simulation for the Validation of Grid Modernization Technologies," *Energies*, vol. 13, no. 16, p. 4036,

Aug. 2020.

[107] J. Montoya *et al.*, "Advanced Laboratory Testing Methods Using Real-Time Simulation and Hardware-in-the-Loop Techniques: A Survey of Smart Grid International Research Facility Network Activities," *Energies*, vol. 13, no. 12, p. 3267, Jun. 2020.

[108] B. Luitel and G. K. Venayagamoorthy, "Neural networks in RSCAD for intelligent real-time power system applications," in *2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, 2013, pp. 1–5.

[109] S. Ramabhotla, D. Ph, S. B. Bayne, and D. Ph, "Modeling of RSCAD / RTDS Energy Sources in Microgrid Using," vol. 8849, pp. 7–19, 2019.

[110] M.E. Baran; F.F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," *İEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 4, no. 2, pp. 1401–1407, 1989.

[111] S. H. Dolatabadi, M. Ghorbanian, P. Siano, and N. D. Hatziargyriou, "An Enhanced IEEE 33 Bus Benchmark Test System for Distribution System Studies," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 36, no. 3, pp. 2565–2572, May 2021.

[112] V. Vita, "Development of a decision-making algorithm for the optimum size and placement of distributed generation units in distribution networks," *Energies*, vol. 10, no. 9, 2017.

[113] R. Rajaram, K. Sathish Kumar, and N. Rajasekar, "Power system reconfiguration in a radial distribution network for reducing losses and to improve voltage profile using modified plant growth simulation algorithm with Distributed Generation (DG)," *Energy Reports*, vol. 1, pp. 116–122, 2015.

[114] K. Dharageshwari and C. Nayanatara, "Multiobjective optimal placement of multiple distributed generations in IEEE 33 bus radial system using simulated annealing," in *2015 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2015]*, 2015, no. 2014, pp. 1–7.

[115] T. Athay, R. Podmore, and S. Virmani, "A Practical Method For The Direct Analysis Of Transient Stability," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 98, no. 2, pp. 573–584, 1979.

[116] PSCAD, "IEEE 39 Bus System," *PSCAD*, 2018. [Online]. Available: https://www.pscad.com/knowledge-base/article/28. [Accessed: 02-Dec-2022].

[117] S. Essallah, A. Bouallegue, and A. Khedher, "Optimal placement of PV-distributed generation units in radial distribution system based on sensitivity approaches," in *2015 16th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*, 2015, pp. 513–520.

[118] M. Cupelli, C. Doig Cardet, and A. Monti, "Voltage stability indices comparison

on the IEEE-39 bus system using RTDS," in *2012 IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, 2012, pp. 1–6.

[119] K. Ni, W. Li, Y. Hu, and M. Alkahtani, "Simulation Study of the Effects of Synchronous Generator Parameter Deviations on the Performance of a DFIM-SPS," in *IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2019, vol. 2019-Octob, pp. 5450–5455.

[120] CloudPSS Energy Internet Modeling and Simulation, "IEEE 39-bus system." [Online]. Available: https://docs.cloudpss.net/about. [Accessed: 15-Nov-2022].

[121] S. Fuada, H. A. Shiddieqy, and T. Adiono, "A High-Accuracy of Transmission Line Faults (TLFs) Classification Based on Convolutional Neural Network," *INTL JOURNAL OF ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS*, vol. 66, no. 4, pp. 655–664, 2020.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad	Haydaroğlu, Cem
Web sayfası (Research Gate, Academia, vs.)	https://www.researchgate.net/profile/Cem-Haydaroglu-2

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	2017
Lisans	Fırat Üniversitesi	2011
Lise	Elazığ Atatürk Lisesi	2006

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2013-….	Dicle Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Haydaroğlu, C. & Gümüş, B. (2023). "Fault Detection in Distribution Network with the Cauchy -M Estimate - RVFLN method", *Energies,* https://doi.org/10.3390/en16010252
2.
3.

Özel İlgiler

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Cem HAYDAROĞLU		
Öğrenci No	17805503		
Ana Bilim Dalı	Elektrik – Elektronik Mühendisliği		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☐	Doktora ☒
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	Geliştirilmiş Rastgele Vektör İşlevsel Bağlantı Ağları ile Dağıtım Şebekelerinde Arıza Türü ve Yerinin Tespiti		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	126		
Raporlama Tarihi	29.12.2022		
Benzerlik Oranı (%)	6		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 126 sayfalık kısmına ilişkin, 29/12/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnittin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %6 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☒Kaynaklar hariç
☐Alıntılar hariç/dâhil
☐Diğer (Açıklayınız)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Cem HAYDAROĞLU
Tarih: 29.12.2022
İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ İmza:
Tarih:29.12.2022

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ İmza:
Tarih:29.12.2022