



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KARMA İLETİM HATLARINDA MESAFE
KORUMA RÖLESİ ÇALIŞMASININ
İNCELENMESİ VE ÇALIŞMA
BAŞARIMLARININ YÜKSELTİLMESİ**

Serkan BUDAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Serkan BUDAK tarafından hazırlanan “Karma İletim Hatlarında Mesafe Koruma Rölesi Çalışmasının İncelenmesi ve Çalışma Başarımlarının Yükseltilmesi” adlı tez çalışması 15/06/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

Danışman

Doç. Dr. Bahadır AKBAL

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Üsame ÖZİÇ

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Serkan BUDAK
Tarih: 15.06.2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARMA İLETİM HATLARINDA MESAFE KORUMA RÖLESİ ÇALIŞMASININ İNCELENMESİ VE ÇALIŞMA BAŞARIMLARININ YÜKSELTİLMESİ

Serkan BUDAK

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Bahadır AKBAL

2020, 98 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Bahadır AKBAL
Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Üsame ÖZİÇ

Bu tezde yüksek gerilim 154 kV iletim hatlarının korunmasında kullanılan mesafe koruma rölelerinin yüksek empedanslı kısa devre arızalarında, güç transformatörün topraklama sistemi farklılığında oluşan kısa devre arızalarında ve karma iletim hatlarında havai hat veya yeraltı kablo hattında oluşan kısa devre arızalarında arıza ve arıza yerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar sunulmuştur. İletim hatlarında oluşabilecek kısa devre arızalarının yerini doğru tespit etmek için görüntü işleme yöntemi ve yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak akıllı sistem tasarımı önerilmektedir.

Enerji iletim hattı modeli PSCAD™ / EMTDC™ benzetim programında oluşturulan kısa devre arızalarındaki mesafe koruma rölesinin R-X empedans diyagramında empedans değişiminin görüntüsü kayıt altına alınarak veri setleri oluşturulmuştur. Görüntülerde ilgili odak noktaları özellik çıkarım ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak farklı YSA modellerine giriş olarak verilmiş ve en iyi arıza yeri tahmini veren YSA modeli seçilmiştir. Hazırlanan veri seti ile çeşitli ağ tipleri, öğrenme fonksiyonları, eğitim fonksiyonları ve performans fonksiyonları denenerek probleme en uygun ağ yapısı belirlenmiştir. Tek faz-toprak arızaları için arıza yeri belirlenmesi problemi ileri beslemeli geri yayımlı, kaskat bağlı ileri beslemeli geri yayımlı ve Elman geri beslemeli üç farklı ağ tipi ile Levenberg-Marquardt (LM), Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts (CGB), One Step Secant (OSS), Variable Learning Rate Backpropagation (GDX), ve Scaled Conjugate Gradient (SCG) beş farklı eğitim fonksiyonu kullanılarak elde edilen sonuçların eğitim hata değerleri değerlendirilerek karşılaştırma yapılmıştır.

Tezde uzun iletim hatlarında yüksek empedanslı kısa devre arızalarında, topraklama sistemi farklı olması durumunda ve karma iletim hatlarında mesafe koruma rölesinde elde ettiğimiz görüntüleri görüntü işleme yöntemiyle akıllı sistem tasarımı yapılarak arıza yeri belirleme problemi gerçekçi ve yüksek tahmin değerleri çizelgeler ile gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıza Yeri Tespiti, Görüntü İşleme Tekniği, İletim Hatları, Karma İletim Hatları, Mesafe Koruma Rölesi, Topraklama Sistemi, Yapay Sinir Ağları, Yüksek Empedanslı Arızalar

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF DISTANCE PROTECTION RELAY OPERATION IN MIXED TRANSMISSION LINES AND IMPROVING OPERATION PERFORMANS

Serkan BUDAK

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Bahadır AKBAL

2020, 98 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Bahadır AKBAL
Assoc. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Asst. Prof. Dr. Muhammet Üsâme ÖZİÇ**

In this thesis, high voltage 154 kV transmission high impedance distance protection relays used in the protection of the lines short circuit, power transformer grounding system of short-circuit failure of the differences and mixed transmission lines in overhead lines or underground cable line in the resulting short circuit fault and work on identifying the fault location is presented. Intelligent system design is recommended using image processing technique and artificial neural networks (ANN) to accurately locate short circuit faults that may occur in transmission lines.

Energy transmission line model PSCAD™ / EMTDC™ simulation program created in a short circuit fault distance protection relays in R-X on the impedance change in the impedance diagram recorded image data sets have been created. ANN model was selected images feature extraction and image processing techniques have been focal points as an introduction to using different neural network model and the best estimate that fault location. With the prepared data set, various network types, learning functions, training functions and performance functions were tested and the most suitable network structure was determined. Single phase to earth to determine fault location for failure problem feedforward backpropagation, cascade feedforward backpropagation and Elman backpropagation three different types of network with Levenberg-Marquardt (LM), Conjugate Gradient with Powell / Beale Restarts (CGB) One Step Secant (OSS), Variable rate Backpropagation Learning (GDX) and Scaled Conjugate Gradient (SCG) five different educational training error rate function of the results obtained using the comparison evaluation was performed.

In the thesis, the images we obtained in the distance transmission relay in the long transmission lines, in the case of high impedance short circuit faults, if the grounding system is different and in the mixed transmission lines, the problem of determining the fault location is made by using the image processing technique and the realistic and high estimation values are shown with charts.

Keywords: Artificial neural networks, Distance Protection Relay, Fault Location Detection, Grounding System, High Impedance Faults, Image Processing Technique, Mixed Transmission Lines, Transmission Lines

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca çalışmalarına ışık tutan, değerli katkılarıyla beni yönlendiren, bilgi ve birikimlerini paylaşan danışmanım Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Bahadır Akbal'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bölümümüz öğretim elemanlarına, her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, her zaman yanımda olan, moral veren ve benimle bu sürecin her anında aynı heyecanı paylaşan başta sevgili nişanlım olmak üzere değerli aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Serkan BUDAK
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Mesafe Koruma Rölesi	11
3.1.1. Mesafe röle karakteristiği	14
3.1.2. Empedans röle karakteristiği	15
3.1.3. Admintans röle karakteristiği.....	16
3.1.4. Reaktans röle karakteristiği	17
3.1.5. Dörtgen röle karakteristiği	17
3.1.6. Diğer röle karakteristikleri.....	18
3.1.7. Mesafe rölelerinin koruma bölgeleri.....	19
3.2. Güç Sisteminde Meydana Gelen Arızalar	22
3.3. Enerji İletim Hatlarında Yüksek Empedanslı Arızalar	23
3.4. Transformator Topraklamasının Mesafe Koruma Rölesi Üzerindeki Etkisi	24
3.5. Karma İletim Hatları	25
3.6. Yapay Sinir Ağları	29
3.6.1. Yapay sinir ağının yapısı	30
3.6.2. Yapay sinir ağlarının çalışma prensibi.....	31
3.6.3. Yapay sinir ağlarında aktivasyon fonksiyonları	32
3.6.4. Yapay sinir ağları modelleri	35
3.6.5. Tek katmanlı ağlar	35
3.6.6. Çok katmanlı ağlar	36
3.6.7. İleri beslemeli ağlar	37
3.6.8. Geri beslemeli ağlar	38
3.6.9. Yapay sinir ağlarında öğrenme	38
3.6.10. Denetimli öğrenme	39
3.6.11. Denetimsiz öğrenme	39
3.6.12. Destekleyici öğrenme	39
3.6.13. Çok katmanlı ağlarda öğrenme kuralı	40
3.6.14. İleri doğru hesaplama.....	40
3.6.15. Geriye doğru hesaplama	41
3.6.16. Kaskat bağlı ileri beslemeli geri yayımlı ağlar	43
3.6.17. Elman geri beslemeli ağlar	44
3.7. Görüntü İşleme Yöntemi	44
3.7.1. MATLAB ile görüntü işleme uygulamaları.....	45

3.7.2. Görüntü işleme süreçleri	46
3.7.3. Görüntü okuma	47
3.7.4. Görüntü normalleştirme	47
3.7.5. Görüntü eşikleme	47
3.7.6. Gri seviyeli sayısal görüntü	48
3.7.7. Double sayısal görüntü	48
3.7.8. Özellik çıkarma	48
3.8. Normalizasyon	51
3.9. Performans Değerlendirilmesi	52
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	53
4.1. Yüksek Empedanslı Arızaların Benzetimi ve Test Sonuçları.....	53
4.2. Transformör Topraklamasının Benzetimi ve Test Sonuçları.....	69
4.2.1. Topraklanmamış sistem	69
4.2.2. Doğrudan topraklanmış sistem	70
4.2.3. Empedans ile topraklanmış sistem.....	71
4.3. Karma İletim Hatlarının Benzetimi ve Test Sonuçları	82
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
5.1 Sonuçlar	91
5.2 Öneriler	93
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	98

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Amper
AC	: Alternatif Akım
Hz	: Hertz
km	: Kilometre
kV	: Kilovolt
m	: Metre
MW	: Megawatt
V	: Volt
Ω	: Ohm
$^{\circ}$	: Derece
λ	: Öğrenme Katsayısı
α	: Momentum Katsayısı
μ_i, μ_j	: Ortalama Değeri
σ_i, σ_j	: Varyans Değeri
ϕ	: Faz Açısı

Kısaltmalar

AT	: Akım Trafosu
CGB	: Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts
ÇKA	: Çok Katmanlı Ağ
E	: Entropi Değeri
EN	: Enerji Değeri
F	: Farklılık Değeri
FE	: Fark Entropi Değeri
GDX	: Variable Learning Rate Backpropagation
GLCM	: Gray Level Co-Occurrence Matrices
GT	: Gerilim Trafosu
H	: Homojenlik
K	: Kontrast Değeri
KG	: Küme Gölgesi Değeri
KO	: Kolerasyon Değeri
KÖ	: Küme Önemi Değeri
LM	: Levenberg-Marquardt
MAE	: Mean Absolute Error
MAPE	: Mean Absolute Percentage Error
MATLAB	: Matrix Laboratory
MCM	: Mega Circular Miles
MO	: Maksimum Olasılık
MSE	: Mean Square Error
OHM	: Ortalama Mutlak Hata
OK	: Oto Kolerasyon
OSS	: One Step Secant
R	: Regresyon Eğrisi
RB	: Robowski Bobini
RMSE	: Root Mean Square Error

SCG	: Scaled Conjugate Gradient
TE	: Toplam Entropi Değeri
TFM	: Ters Fark Moment Değeri
TFN	: Ters Fark Normalizasyonu
TH	: Toplam Hata Değeri
TO	: Toplam Ortalama Değeri
TV	: Toplam Varyans Değeri
YEA	: Yüksek Empedaslı Arıza
YSA	: Yapay Sinir Ağları



1. GİRİŞ

Elektrik güç sistemlerinde elektrik enerjisi, elektrik üretim santrallerinde gerçekleştirilerek santral tipine bağlı olarak genellikle şehirlerden uzak yerlerde kurulurlar. Santral gücüne bağlı olarak 6-20 kV gerilimde üretilen elektrik enerjisini en az kayıpla uzak mesafelere aktarılabilmesi için transformatörlerle gerilim yükseltilir. Ülkemizdeki iletim hatlarının gerilimleri 66, 154 ve 380 kV'tur. İletim hatları ile enerji genellikle havai hatlar üzerinden, bölgelere aktarılır. Daha sonra indirici transformatör merkezlerinde gerilim 31,5-34,5 kV seviyesine indirilir ve dağıtım hatları ile sanayi tesislerine ve yerleşim birimlerine iletilir. Buradan konutlara ve küçük işletmelere 220-380 V olarak kullanıcıya ulaştırılır (Tatar, 2007).

Elektrik güç sistemlerinin; kaliteli, güvenilir ve sürekli olması günümüzde en çok önem verilen konuların başında gelmektedir. Elektrik enerjisinin kesintisiz ve kaliteli bir şekilde taşınabilmesi için, üretim yapıldığı noktadan tüketim olan noktaya kadar belirli kontrol sisteminden geçmesi gerekmektedir. Dolayısıyla üretimden tüketime kadar olan süreç içinde iletim ve dağıtım hatlarında koruma yapılması şarttır (Tatar, 2007).

Elektrik enerjisinin iletilmesinde kullanılan koruma ve kontrol sistemleri içerisinde en önemli görev koruma rölelerine düşmektedir. Elektrik güç sistemlerinde çeşitli kısa devre hataları oluşabilir. Bunlar yıldırım düşmesi, yüksek hızlı rüzgarlar, buz yükü, depremler, yangınlar, patlamalar, düşen ağaçlar, uçan cisimler, hayvanlar, insanlar ve diğer doğa olayları ile aynı zamanda donanım arızası, yanlış çalıştırma, yanlış manevra gibi arızalar hızlı ve seçici bir şekilde izole edilmelidir. Bu amaçla, bir güç sisteminin farklı noktalarına koruyucu röleler kurulur. Elektrik güç sistemlerinde kullanılan koruyucu röleler aşırı akım rölesi, toprak rölesi, diferansiyel rölesi, mesafe koruma rölesi ve yönlü rölelerdir (Tatar, 2007).

Korumanın en temel elemanı olan röleler, herhangi bir arıza durumunda akım ve gerilim trafolarından alınan ölçüm değerleri koruyucu rölelere aktarılır ve rölenin çalışıp çalışmayacağını belirlemek için daha önceden belirlenen ayar noktası değeriyle karşılaştırır. Karşılaştırma sonucu kumanda ettiği kesiciye açma sinyali göndererek devrenin izole edilmesini ve korumasını sağlayan cihazlardır (Tatar, 2007).

İletim hatlarını korumak için en çok tercih edilen rölelerden biri mesafe koruma röleleridir (Glover ve ark., 2012). Mesafe koruma röleleri, iletim ve dağıtım hatlarında ana koruma olarak uygulanırken transformatör, baralar ve uzak hatlar için yedek

koruma olarak geniş kullanım alanı vardır. Temel olarak mesafe koruma röleleri gerilim ve akım değerlerini karşılaştırarak hattın empedansına göre çalışması belirlenmektedir (Glover ve ark., 2012). Ayrıca empedans ölçülerek rölenin bağlı bulunduğu noktanın arızaya olan uzaklığı belirlenir. Kısa devre empedansı besleme noktasına yaklaştıkça küçülür böylece arıza yeri tespit edilir.

Mesafe koruma rölesinin literatürde yapılan çalışmaları incelendiğinde bazı durumlarda yanlış çalıştığını, arıza anında kesicilere açma sinyali göndermediğini ve doğru hata yeri tespiti yapamadığı görülmüştür. Mesafe koruma rölesinin çalışmasını etkileyen durumlar incelendiğinde ilk olarak yüksek empedanslı kısa devre arızalarında hesaplanan empedans hatalı çıkmaktadır (Theron ve ark., 2018). Dolayısıyla yüksek empedanslı arızalarda rölenin koruma bölgesine girmediği, arıza ve arıza yerini doğru tespit yapamadığı görülmüştür.

İkinci olarak iletim hatlarında transformatör nötr nokta topraklaması bir güç sisteminin tek faz-toprak kısa devre arızası sırasında mesafe koruma rölesinin çalışmasını etkilediği görülmüştür. Sistemde oluşan sıfır bileşen akımı mesafe koruma rölesinin arıza yeri tespitine etki etmektedir (Meddeb ve ark., 2019). Topraklama sistemi ve koruma sistemleri arasındaki ilişki göz önüne alındığında, uygun bir topraklama seçimi yapılmalıdır.

Üçüncü olarak iletim hatlarında yeraltı kablo hatları ve havai iletim hatları birlikte kullanılarak karma iletim hatlarını oluşturmaktadır. Yeraltı kablosuyla birlikte havai hattın oluşan iletim sistemlerinde problem, yeraltı kablolarının ve havai hatların pozitif ve sıfır bileşen empedansının farklı olmasıdır (Han ve Crossley, 2013). Dolayısıyla karma iletim hatlarında mesafe koruma röleleri doğru arıza yeri tespiti yapamamaktadır. Karma iletim hatlarında arızanın havai hatta veya yeraltı kablo hattında olması büyük önem taşımaktadır.

Kısa devre arızası ve arıza yerinin doğru tespit edilememesi birçok sorunlara yol açmaktadır. Kısa devrenin elektrik tesislerindeki etkileri çok farklı olabilmektedir. Kısa devrenin darbe şeklinde ani olarak oluşması devreden geçen büyük kısa devre akımları, tesis elemanları üzerinde mekanik bakımdan zorlanmasına yol açmaktadır. Devreden uzun süre geçen, sürekli kısa devre akımları ise tesis elemanlarının ısınmasına ve malzemenin termik bakımdan zorlanmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple hem tesis hem de işletme personeli bundan zarar görebilir. Kısa devre olayının sebep olduğu arızalar sonucunda işletme kısmen veya tamamen durur ve kademe kademe enerji üretimi, iletimi, dağıtımı ve tüketimi normal olarak devam edemez (Yılmaz, 2014).

Ayrıca arızanın sebep olduğu hasar büyük onarım masraflarına yol açar. Bu nedenle kısa devreye sebep olan arıza ve arıza yeri tespiti büyük önem taşımaktadır. Uzun iletim hatlarında arızaya sebep olan arıza yeri hatalı olduğunda, uzun çalışmalar ve yüksek maliyetler sonucu tespit edilebilmektedir.

Bu tez çalışmasında, iletim hatları PSCAD TM / EMTDC TM benzetim programında modellenerek mesafe koruma rölesinin yüksek empedans arızalarında, transformatör nötr nokta topraklanmasında ve karma iletim hatlarında çalışması incelenmiştir. Çalışma sonucunda mesafe koruma rölesinin arızayı ve arıza yerini doğru tespit yapamadığı görülmüştür. Bu çalışmada yüksek empedanslı arızaların tespiti, transformatör nötr nokta topraklamasının etkisi ve karma iletim hatlarında arıza yeri tespiti görüntü işleme yöntemiyle akıllı sistem tabanlı yeni yaklaşım önerilmektedir.

Görüntü işleme, insanın görme sisteminin yaptığı işlemlerin bilgisayar ortamında gerçekleştirilme uygulamasıdır. Görüntü işleme yöntemleri ile görüntünün elde edilmesi, sayısallaştırılması, iyileştirilmesi, bölümlenmesi, sınıflandırılması, boyutlandırılması ve kaydedilmesi gibi birçok uygulama yapabilir. Görüntü işlemede, görüntüler üzerinde çeşitli uygulamalar yapılarak, görüntü özellikleri üzerinde insanın göremediği soyut olarak bilinmeyen bilgilere bile ulaşma imkânı sağlayabilir (Çankaya, 2013). Görüntü işleme yönteminin uygulama amacı da bu elde edilen bilgilere yönelik olarak geliştirilme çalışmaları yapılmaktadır.

Görüntü işleme, anlık görüntüleri işleyebileceği gibi önceden kaydedilmiş olan mevcut görüntüleri işlemek için de kullanılabilir. Görüntü işleme yöntemleri yazılımlarla birlikte kullanılarak alınan bir görüntü analiz edilebilir. Görüntü analizi akıllı sistemlerin gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Akıllı sistemler üzerine olan araştırmaların temel amacı mantık yürütebilen, algılayabilen, hareket edebilen, tahmin edebilen, yeni bilgiler üretebilen ve öğrenebilen sistemler geliştirmektir (Çankaya, 2013).

YSA, insan beyninin çalışma sistemine benzetme çabalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. İnsan beynine benzer olacak şekilde bilgisayar ortamında öğrenebilme, karar verme, sonuç çıkarma, genelleme, sınıflandırma, tahmin edebilme ve yeni bilgiler üretebilme gibi yeteneklere sahip bir algoritmadır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde arıza ve arıza yeri tespiti çalışmaları empedans ölçümlerine dayanan teknikler, gezen dalgalara dayanan teknikler, arızalı durumdaki akım ve gerilimin yüksek frekans bileşenlerine dayanan teknikler ve bilgi tabanlı akıllı yaklaşımlara dayanan teknikler kullanılmaktadır. Diğer çalışmalardan

farklı olarak PSCADTM / EMTDCTM benzetim programında iletim hattı modellenerek kısa devre arızası anında mesafe koruma rölesinden elde edilen R-X empedans diyagramı görüntüleri oluşturulmuştur ve elde edilen görüntüler görüntü işleme yöntemi ve YSA kullanılarak yüksek doğrulukta arıza ve arıza yeri tespiti yapabilen akıllı sistem tasarlanmıştır. Bu yöntem iletim hatlarında önceden kullanılmamış bir yöntem olduğu için, kullanılması kolay, hızlı, seçici, karmaşık matematiksel hesaplar ve ek maliyetler gerektirmediğinden tercih edilmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Enerji iletim hatları elektrik enerjisinin üretim merkezlerinden son kullanıcılara ulaştırılmasında önemli bir işleve sahip olan hatlardır. Enerji iletim sistemlerinde kullanılan arıza tipi ve arıza yeri belirleme algoritmaları iletim hatlarında bazı durumlarda doğru sonuçlar verememektedir. Arıza yeri ve tipi belirleme teknikleri genel olarak aşağıda verilen dört kategoride değerlendirilebilir (Saha ve ark., 2009).

- Empedans ölçümüne dayanan teknikler
- Gezen dalgalara dayanan teknikler
- Arızalı durumdaki akım ve gerilimin yüksek frekans bileşenlerine dayanan teknikler
- Bilgi tabanlı yaklaşımlara dayanan teknikler.

Empedans ölçümüne dayanan teknikler hattın başlangıcında hat empedansları hesaplanarak arıza ve arıza mesafesinin tahmin edildiği tekniklerdir. Akım ve gerilim ölçümlerini kullanarak hesaplama yapar. Bu tür tekniklerin uygulanmaları basittir fakat akım trafosunun doyuma girmesi, yüksek empedanslı arızalar, değişen hat parametreleri ve hat sonu beslemesinin varlığı tekniğin doğruluğunu olumsuz etkilemektedir (Aslan, 2012).

Gezen dalgalara dayanan teknikler iletim ve dağıtım sistemlerinde kullanılmakta olan iyi teknikler arasında yer almaktadır. Gezen dalgalara dayanan teknikler yüksek bir örnekleme oranı gerektirmektedir. Ayrıca bu teknikler arıza yerinden ve hat sonundan yansıyan dalgaları ayırt etmekte problem yaşamaktadır (Pourahmadi-Nakhli ve Safavi, 2010).

Arızalı durumdaki akımlar ve gerilimlerin yüksek frekans bileşenlerine dayanan teknikler, sinyallerin yüksek frekans bileşenlerini kullanırlar. Bu yöntemde, arıza noktasından her iki yönde yayılan yüksek frekanslı sinyaller için hat boyunca düzenli aralıklarla özel tasarlanmış filtreler yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu yöntem gözlü dağıtım şebekelerinde yararlı olabilir fakat şebeke maliyetlerini ve karmaşıklığı artıracaktır (Johns ve ark., 1991; El-Hami ve ark., 1992).

Bilgi tabanlı teknikler uygulanmalarının basitliği ve yüksek doğruluk sağlamalarından dolayı son yıllarda sıkça kullanılmaktadır. Bilgi tabanlı teknikler arasında yapay zekâ, makine öğrenmesi, derin öğrenme ve bulanık mantık sistemleri elektrik güç sistemlerinde oldukça sık kullanılmaktadır (Tang ve ark., 2000).

Bu çalışmada, YSA'ya dayalı bilgi tabanlı teknikler kullanılarak enerji iletim hatlarında farklı kısa devre arızalarında arıza ve arıza yeri tahmini yapılmaktadır. İletim hatlarının ve mesafe koruma rölesinin benzetimi yapılarak R-X empedans diyagramından elde ettiğimiz görüntüler, görüntü işleme yöntemi ile kullanılmaktadır. Bu bölümde yapılan çalışmalara geçilmeden önce iletim hatlarında bilgi tabanlı yaklaşımlara dayanan yapılan çalışmalara ait literatür taraması verilmiştir.

Dos Santos ve Senger 2011 yılında iletim hatları mesafe koruması için YSA tabanlı bir algoritmanın geliştirilmesini ve uygulanmasını sunmaktadırlar (Dos Santos ve Senger, 2011). Bu algoritma, yapılandırması veya voltaj seviyesinden bağımsız olarak herhangi bir iletim hattında kullanılmak üzere geliştirmişlerdir. YSA üç gizli katmandan oluşmaktadır. Giriş bilgisi için ölçülen akım ve gerilim değerleri verilmiştir. Önerilen algoritmanın temel katkısı, hat yapılandırması fark etmeden, YSA parametrelerinde ek ayarlamalara veya yeniden eğitime gerek kalmadan, herhangi bir iletim hattına uygulanması olasılığıdır.

Jamil ve arkadaşları 2015 yılında yaptıkları çalışmalarında YSA kullanılarak elektrik iletim hattındaki arızaların tespiti ve sınıflandırılması önermektedirler (Jamil ve ark., 2015). Üç faz akımı ve gerilimi, önerilen şemada giriş olarak alınmıştır. İleri beslemeli sinir ağı ve geri yayılma algoritması, sürece dâhil olan üç fazın her birinin analizine yönelik hatanın tespiti ve sınıflandırılması için kullanılmıştır. Ağın seçimini doğrulamak için değişen sayıda gizli katmanla ayrıntılı bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Benzetim sonuçları, YSA'ya dayanan mevcut yöntemin, iletim hatlarındaki arızaları tatmin edici performanslarla tespit etme ve sınıflandırmada etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Yöntemin çok yönlülüğünü kontrol etmek için farklı hatalar farklı parametrelerle benzetim yapmışlardır.

Farhat 2003 yılında yapılan çalışmada iletim hattı sistemlerinde arızaların tespiti ve sınıflandırılması yapay bir sinir ağı yaklaşımı sunmaktadır (Farhat, 2003). Amaç, bir iletim hattı sisteminin mesafe koruması için eksiksiz bir şema uygulamaktır. Bu hedefi gerçekleştirmek için mesafe koruma görevi, farklı bölgelerde arıza tespiti, arıza sınıflandırma, tanımlama ve arıza yeri için farklı YSA kullanmıştır. İletim hatlarının korunması için üç farklı sinir ağı mimarisinin uygulamasının incelenmesi ve karşılaştırması yapmıştır. Bunlar geri yayılım, radyal tabanlı fonksiyonlar ve destek vektör makineleridir. İletim hattının koruma problemine uygulandığında bu yapıların avantaj ve dezavantajlarını göstermek için benzetim sonuçlarını sunmuştur.

Sarwade ve arkadaşları 2017 yılında mesafe koruma şemasında arıza teşhisi için Robowski Bobini (RB) kullanımını sunmaktadırlar (Sarwade ve ark., 2017). Günümüzde RB, geniş çalışma akımı ve frekans aralığı nedeniyle akım dönüştürücü olarak popülerlik kazanmaktadır. Önerilen yöntem, iletim hattında farklı arıza başlangıç açıları ve arıza dirençlerine sahip farklı konumlarda oluşturulan farklı hata tipleri için PSCAD kullanılarak arıza tipini ve arıza yerini tahmin etmişlerdir. YSA eğitim ve test veri seti oluşturmak için 220 kV AC sistemle bütünleşmiş RB'nin toplanmış bir parametre modeli kullanmışlardır. YSA mimarisi oluşturulurken farklı sayıda gizli katman ve farklı öğrenme oranları denenerek en iyi sonuç elde edilmiştir.

Ayyagari 2011 yılında elektrik iletim hatlarındaki arızaları tespit etmeye, sınıflandırmaya ve yer tespiti üzerine çalışma gerçekleştirmiştir (Ayyagari, 2011). YSA kullanılarak hata tespiti, arıza sınıflandırması ve arıza yeri tespit edilmiştir. Arıza tespit işlemindeki üç fazın her biri için ileri besleme ağları ve geri yayılım algoritması kullanılmıştır. YSA tabanlı yöntemlerin iletim hatlarındaki arızaları tespit etmede verimli olduklarını ve tatmin edici performanslar elde ettiklerini göstermek için benzetim sonuçları sunulmuştur.

Tatar 2007 yılında belirli bir iletim hattında bulunan ve birbiri ile ring oluşturan beş adet trafo merkezi arasındaki mevcut mesafe koruma sistemlerinin çalışma durumu incelemiştir (Tatar, 2007). Aynı iletim hatları için hat parametreleri temel alınarak koruma bölgeleri YSA'ya öğretilmiş, ayrı bölgeler için beş ayrı YSA modeli kurulmuş ve eğitilmiştir. Sinir ağının öğrenme katsayısı, aktivasyon fonksiyon değerleri gizli katman sayısı ve gizli katman nöron sayısının değişimlerine göre sinir ağının performansına göre yüksek performanslı sonuçlar dikkate alınmıştır. YSA kullanılarak hassas ve seçici bir koruma için çözüm yolları aranmıştır.

Filomena ve arkadaşları 2008 yılında mesafe koruma rölesinin verimliliği artırmak için yeni bir algoritma önermişlerdir (Filomena ve ark., 2008). Yüksek empedanslı hata direnci, mesafe rölesinde kritik bir değişkendir. Dikkate alınmazsa, toprak mesafe rölelerinin yanlış çalışmasına neden olabilir. Toprak mesafe rölelerinin koruma bölgesi sınırlarında düşük hassasiyet vardır. Önerilen yöntem faz koordinatlarına dayanır ve açma kararını geliştirmek için bir hata direnci tahmini kullanmışlardır.

Chawla ve arkadaşları 2007 yılındaki çalışmalarında mho mesafe koruma rölesinin özelliklerini uygulayan YSA tabanlı bir mesafe rölesinin tasarımı, uygulaması

ve testini tartışmaktadırlar (Chawla ve ark., 2007). Eğitimli YSA, röle sınırları içindeki ve dışındaki arızalar için iyi sonuçlar vermiştir.

Zahra ve arkadaşları 2000 yılında yapmış oldukları çalışmalarında hatanın, iletim hattının koruma bölgesi içinde mi yoksa dışında mı olduğunu gösteren yeni bir ileri beslemeli sinir ağı önermişlerdir (Zahra ve ark., 2000). Aynı teknik, arızanın mesafesini bulmak için genişletilmiştir. Önerilen şema, bir karar vermek için voltaj ve akımların frekans bileşenlerini kullanmaktadır. Gerilim ve akımların frekans bileşenlerinin kullanılması, hızlı öğrenme yeteneği ile önerilen sinir ağının daha kısa sürede öğrenmesine neden olmuştur. Öğrenme süresi çevrimiçi uygulama şemaları için bir avantajdır.

Meddeb ve arkadaşları 2019 yılında sıfır bileşen akımlarının, mesafe rölesi korumasının çalışmasının etkisini önlemek için yeni bir yaklaşım önermişlerdir (Meddeb ve ark., 2019). Önerilen yaklaşımın temeli, tek fazlı bir arıza sırasında güç transformatörünün topraklama sisteminin kontrolüne dayanır. Arıza sırasında güç transformatörünün nötr topraklamasını ayırmaktır. Mesafe rölesinin açılmasındaki hataları önlemek için yeni aşırı akım rölesinin topraklama sistemine eklenmesini önermişlerdir.

Goh ve arkadaşları 2017 yılındaki çalışmalarında geçmişten beri geliştirilen ve yaygın olarak dağıtım sistemlerindeki arızaları tespit etmek için kullanılan tekniklerin çoğunu gözden geçirmişlerdir (Goh ve ark., 2017). Arıza yeri alanındaki araştırma çalışmaları, her arıza yeri tekniği ile ilgili geçmiş çalışmaların çalışma prensipleri, avantajları ve dezavantajları bu makalede vurgulanmıştır.

Osman ve arkadaşları 2005 yılında çevrimiçi eğitimli bir sinir ağı kullanan bir teknik geliştirmişlerdir. Röle, yüksek toprak arıza dirençleri, farklı arıza yerleri, farklı arıza tipleri ve farklı yükleme koşulları için kapsamlı bir şekilde test edilmiştir (Osman ve ark., 2005). Önerilen teknik, hatanın tespitinden sonra hata mesafesi için doğru tahmin sağlama yeteneğine sahiptir.

Sedighizadeh ve arkadaşları 2010 yılında yaptıkları çalışmalarında, 1960'dan 2008'e kadar 48 yıllık bir süre boyunca klasik yaklaşımlardan sezgisel algoritmalara kadar yüksek empedans hatalarını tespiti üzerine yapılan önemli çalışmaları gözden geçirmişlerdir (Sedighizadeh ve ark., 2010). Yaklaşık 225 makale incelendikten sonra, her bir yöntem için mevcut eserlerin miktarı tanımlanır ve sınıflandırılır. Bu makale, her yüksek empedanslı arıza tespit yönteminin sıklığını gösteren karşılaştırmalı tablo ve

grafiklerle gösterilmektedir ve bu nedenle bu alandaki araştırmacılar için bir rehber olarak kullanılabilir.

Han 2015 yılında yaptığı çalışmada bir dörtgen empedans rölesinin ve bir karma havai ve yeraltı kablo hattının arıza yeri için yürüyen dalga arıza tespit cihazının avantajlarını birleştiren bir karma röle şeması açıklanmaktadır. Yeniden tasarlanan dörtgen empedans rölesi arıza bölümünü belirleme özelliğine sahiptir. Arıza direncinin arıza yeri üzerindeki etkisine rağmen iyi performans göstermektedir.

Bernadić ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları bir çalışmalarında gelişmiş arıza sinyali işlemeyi kullanarak güç şebekelerinde güç sistemi arıza konumuna pratik bir yaklaşım getirmişlerdir (Bernadić ve Leonowicz, 2012). Üç fazlı arıza gerilimleri, karmaşık uzay fazörünün mutlak değerleri vektörüne dönüştürülür. Bu vektör, hata hareket dalgasını göstermektedir. Hilbert-Huang dönüşümünü, arıza yerini bulmak için kullanmışlardır. Tek hattan toprağa arızalar, farklı arızalar ve yüksek empedanslı ark arızaları dâhil benzetim sonuçları, önerilen yaklaşımın doğruluğunu ve pratik uygulanabilirliğini göstermişlerdir.

Zhang ve arkadaşları 2015 yılında yaptıkları çalışmada hiperbolik tanjant fonksiyonunun faz karakteristiklerine dayanan yüksek gerilim hatlar için yeni bir arıza yeri algoritması önermektedirler (Zhang ve ark., 2015). İlk bölüm havai hat, orta bölüm yeraltı kablo hattı ve son bölüm havai hat olmak üzere kısa devre arızaları ayrı ayrı bölümlerde geliştirmişlerdir. Farklı bölümlerde bir arıza meydana geldiğinde, hatalı bölüm tanımlama işlevleri hiperbolik tanjant işlevinin faz özelliklerine göre açıkça farklı faz özellikleri olarak görünmüştür. Böylece, hatalı kısım tanımlanabilmiştir.

Popov ve arkadaşları karma iletim hatlarında iletim herhangi bir yerde arızayı doğru bir şekilde bulmak için kullanılabilecek bir arıza konum algoritması önermektedirler (Popov ve ark., 2013). Algoritma empedans tabanlı hat kablo parametresine bağlı bir algoritmadır. Arıza yeri, algoritması dağıtılmış hat modeli, modsal dönüşüm teorisi ve ayrık fourier dönüşümü kullanılarak türetilmiştir. Algoritma pratikte çevrimiçi veya çevrimdışı bir uygulama olarak kullanılabilmektedir. Önerilen çözüm arızanın havai hatta veya yeraltı güç kablosunda bulma özelliğine sahiptir.

Nag ve arkadaşları 2016 yılında yaptıkları çalışmalarında karma iletim hatlarındaki hatalar, yeraltı kablosu ve havai hatların farklı özellikler gösterdiğinden daha geniş bir inceleme ve analiz yönü gerektirmiştir (Nag ve Yadav, 2016). Hata tespiti, hata sınıflandırması ve hata konumu hızlı ve doğru sonuçlar sağlamak için çözüm olarak bilgisayar tabanlı yöntemler kullanmışlardır. Bu çalışmada, karma iletim

hatlarında pozitif, negatif ve sıfır bileşenleri için her bir noktadaki parametreleri dikkate alarak karma iletim hattın korunması için YSA kullanılmıştır.



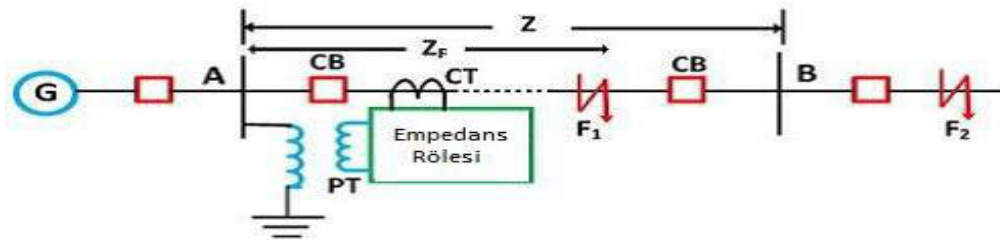
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde mesafe koruma rölesinin çalışma prensibi, röle karakteristiği ve koruma bölgeleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Güç sistemlerinde meydana gelen arızalar incelendiğinde yüksek empedanslı arızalar, transformatör topraklamasının mesafe koruma rölesi üzerindeki etkisi ve karma iletim hatlarındaki arızalar hakkında incelemeler yapılmıştır. Kullanılan yöntemler incelendiğinde YSA'nın yapısı ile öğrenme yöntemleri, öğrenme kuralları, farklı ağ tipleri incelenmiştir. Görüntü işleme yöntemleri, adımları ve özellik çıkarma hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Bu bölümdeki işlemler PSCADTM / EMTDCTM ve MATLAB kullanılarak yapılmıştır.

3.1. Mesafe Koruma Rölesi

Enerji iletim hatlarının kısa devre arızalarına karşı korunması amacıyla, günümüzde yaygın olarak mesafe koruma röleleri kullanılmaktadır. Mesafe koruma rölesinin temel çalışma ilkesi, gerilimin akıma oranına bakarak arıza durumunun belirlenmesidir (Saha ve ark., 2009). Gerilimin akıma oranını yani empedans değerini kullanarak işlem yaptığı için bu röleye empedans rölesi de denilmektedir.

Örnek iletim hattı modeli Şekil 3.1'de verilmiştir (Uyar, 2018). Mesafe röleleri, bulundukları noktadaki gerilim ve akım bilgilerini ölçü transformatörlerinden alarak bir empedans değeri hesaplamakta ve bu değeri, hat için önceden belirlenmiş olan değerler ile karşılaştırarak kısa devre arızası bulunup bulunmadığına karar vermektedir. F_1 noktasında kısa devre olduğunda hattın empedansı düşer ve röle çalışmaya başlar ve kesiciye açma sinyali gönderilir ve hat arızası giderilir. Mesafe koruma rölesi kısa devre anında Z_f empedans değerine göre kısa devrenin konumu hakkında bilgi verir.



Şekil 3.1. İletim hattı modeli

Röle tarafından kısa devre anında gerilim ve akım bilgileri kullanılarak Denklem 3.1 ile hattının empedansı hesaplanır.

$$Z_f = \frac{V < \alpha}{I < \beta} \quad (3.1)$$

Burada $V < \alpha$ iletim hattının nominal gerilimi, $I < \beta$ iletim hattının nominal akım değeridir. İletim hattının korunan bölge empedansı Denklem 3.2 ile kısa devre arızasının konumu Denklem 3.3 ile hesaplanır.

$$Z_{Röle} = \frac{Z_{Hat}}{\frac{n_{GT}}{n_{AT}}} \quad (3.2)$$

$$D = \frac{M \cdot Z_f}{Z_{Röle}} \quad (3.3)$$

Denklemlerde verilen $Z_{Röle}$ iletim hattının korunan bölgenin empedans değeri, Z_f röle ile arıza noktası arasındaki empedans değeri, Z_{Hat} iletim hattının empedans değeri, n_{GT} gerilim trafosu dönüştürme oran değeri, n_{AT} akım trafosu dönüştürme oran değeri, M iletim hattının korunan bölgenin mesafe değeri ve D kısa devre arızasının mesafe değerini ifade etmektedir. $Z_f < Z_{Röle}$ ise röle açma sinyalini kesiciye gönderir.

Gerilim ve akım trafosu dönüştürme oran değerleri sabittir. Akım ve gerilim trafosu oranları yapım aşamasında belirlenir ve sonradan değişiklik göstermez. İletim hattının korunan kısmının homojen olması ve değişiklik yapılmaması halinde, hattın empedansı Z_{Hat} değeri sabittir. Bundan dolayı hatta oluşan arızalar için rölenin hesapladığı empedans değeri mesafeye bağlıdır. Arıza akımı genellikle, hattın karakteristiğine bağlı olarak gerilimin $60-80^0$ gerisindedir. Bu sebeple, hesaplanan empedanslar endüktiftir ve R-X koordinat düzleminde ilk çeyrek 1. Bölge düzleminde bulunmaktadır (Özevin, 2015).

Kısa devre durumunda empedans değeri değişkendir. Bu değer, arızanın konumuna göre değişiklik göstermektedir. Eğer kısa devre noktası ile röle arasındaki mesafe kısa ise empedans değeri düşük olur. Eğer arıza noktası ile röle arasındaki mesafe artarsa empedans değeri yüksek olur. Rölenin ölçebileceği ve koruma yapılacak bölge önceden belirlenir ve koruma bölgesi oluşturulur. Röle bu değer aralığında ayarlanır. Koruma bölgesi dışına çıkıldığında röle çalışmaz.

İletim hatlarında üç fazlı kısa devre nadir olmaktadır. Faz-faz ve faz-toprak kısa devre arızalarında genellikle fazlar arası ark oluşur ve ark direnci meydana gelir. Bu ark

direnci mesafe koruma rölesinin çalışmasını etkilemektedir. Ark direnci hesaplaması Denklem 3.4’de verilmiştir (Saner, 2014). Toprak kısa devre arızalarında sadece ark direnci değil direğin ayak dirençleri de hesaba katılmalıdır (Saner, 2014).

$$R_{ark} = \frac{2,5 \cdot 10^3 I_{ark}}{I_{kmin}} \quad (3.4)$$

Burada I_{ark} ark uzunluğunu (m), I_{kmin} en küçük kısa devre akımını (A) ifade etmektedir.

Kısa devre arızaları sırasında ark, ısı ve mekanik kuvvetlerin sonucu ark uzunluğu faz-faz arası açıklığından büyüktür. Ark uzunluğu hesaplamalarda iletken arası açıklığın yaklaşık iki katı alınabilir (Saner, 2014). Büyük değerler almak sistemi güvenli yapmaktadır.

İletim hatlarında toprak kısa devre arızalarında arıza yerinin doğru tespit edilebilmesi için toprak empedansı kompanzasyonu yapılması gerekmektedir (Saner, 2014). Kompanzasyon katsayısı K_o dirençler oranı R_G/R_L , reaktans X_G/X_L veya karmaşık (kompleks) oranı girilerek yapılmaktadır (Saner, 2014). Toprak empedansı kompanzasyon katsayısı Denklem 3.5’de verildiği gibi hat verileri kullanılarak hesaplanmaktadır (Saner, 2014).

$$K_o = \frac{Z_g}{Z_L} = \frac{1}{3} \left(\frac{Z_o}{Z_1} - 1 \right) \quad (3.5)$$

Burada, Z_o hattın sıfır bileşen empedansını, Z_1 hattın pozitif doğru bileşen empedansını ifade etmektedir.

Havai hatlarda sıfır bileşen ve pozitif bileşen empedans açıları birbirine yakın olduğu için cebirsel işlem yapılabilir fakat yeraltı kablolarında önemli açı farklılıkları ve farklı empedans değerleri oluşur. Ayrıca mesafe koruma rölelerinde toprak kompanzasyon katsayısı Bölge 1 için diğer koruma bölgelerine göre farklı şekilde yapılabilir ve farklı empedans oranlarına sahip uzak hatlarda doğru çalışma imkânı sağlar (Saner, 2014).

3.1.1. Mesafe röle karakteristiği

Mesafe rölelerinin çalışma karakteristikleri R-X diyagramı ile kolay bir şekilde temsil edilebilir. Bu diyagramın X eksenini direnci, Y eksenini ise reaktansı temsil etmektedir (Uyar, 2018). Empedans Denklemi 3.6 verildiği gibi ifade edilir (Uyar, 2018).

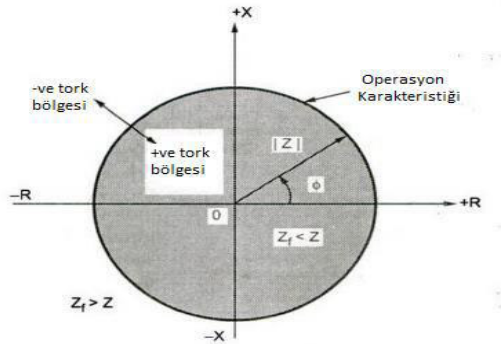
$$Z=R+jX \quad (3.6)$$

Matematiksel olarak, yarıçapı r olan bir çemberin koordinatlarının x ve y olduğu durumda $x^2 + y^2 = r^2$ eşitliği vardır. Empedans değeri de, çember yarıçapı gibi hesaplanır. X ve Y eksenlerinin orta noktası orijin noktası olur. Denklem 3.7 ve 3.8'de hat açısı belirlenir (Uyar, 2018).

$$\tan\phi=X/R \quad (3.7)$$

$$\phi=\tan^{-1} X/R \quad (3.8)$$

Gerilim ve akım vektörlerinin sayısal değerleri yarıçap vektörünün Z uzunluğunu belirler. Faz açısı ϕ bu vektörün konumunu ve eğimini belirler (Uyar, 2018). Eğer akım ve gerilim aynı fazdaysa, empedans vektörü R eksenini boyuncadır. Akım gerilimden gerideyse X negatif, öndeyse X pozitif değerini alır. Rölenin çalışması faz açısı ϕ bağımsızdır dolayısıyla çalışma karakteristiği, yarıçapı Z 'nin karakteristiğine eşit olan ve önceden ayarlanmış bir daire Şekil 3.2'de gösterilmektedir (Uyar, 2018). Koruma bölgesi içinde ayarlanan Z değerinden farklı herhangi bir değerde röle çalışmaya başlar.



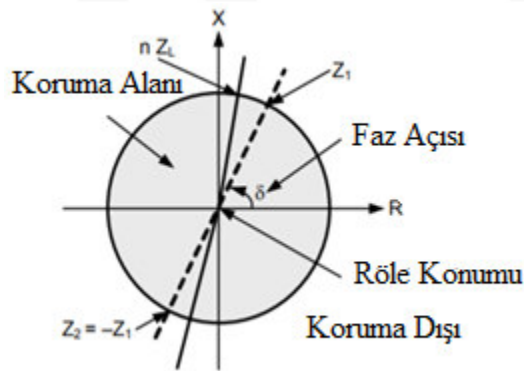
Şekil 3.2. R-X diyagramının çalışma karakteristiği

Burada, Z_f röle ve arıza noktası arasındaki empedans değeri, Z ayarlanan empedans değerini yani çemberin yarıçapını ifade etmektedir. Şekil 3.2'de görüldüğü üzere koruma bölgesi içinde $Z_f \leq Z$ durumunda röle çalışır. Koruma bölgesi dışında $Z_f > Z$ durumunda röle çalışmaz (Uyar, 2018).

Mesafe röleleri tarafından kullanılan belirli çalışma karakteristikler vardır. En yaygın çalışma karakteristikleri empedans (ohm), admintans (mho), reaktans ve dörtgen karakteristiklerdir.

3.1.2. Empedans röle karakteristiği

Empedans (ohm) rölesinin çalışma karakteristiği Şekil 3.3'de gösterilmiştir (Tziouvaras ve ark., 2008). Ölçülen empedans değerinin dairenin dört çeyreğinden herhangi birinde yer alması durumunda rölenin çalıştığını gösterir. Komşu hatlardaki arızalar sırasında ölçülen empedanslar üçüncü çeyrekte olur ve empedans röle karakteristiğinde ise röle çalışacaktır. Aşağıda gösterilen röle karakteristiği yönsüz olarak çalışmaktadır (Tziouvaras ve ark., 2008).



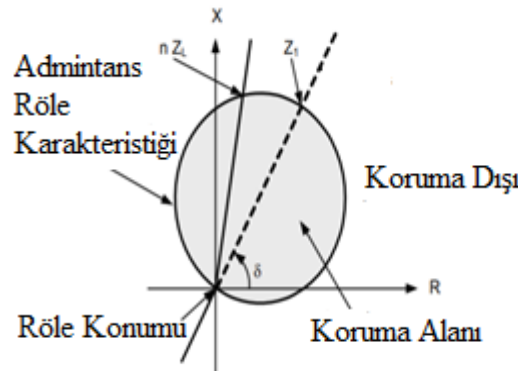
Şekil 3.3. R-X düzleminde çizilen empedans rölesinin çalışma karakteristiği

Bu rölelerin dezavantajları yönsüz olduklarından rölenin bağlı olduğu noktanın iki yönüne doğru da koruma sağlarlar. Dolayısıyla iç ve dış arıza ayrımı yapmadan kesicilere açma sinyali gönderilir. Kısa devre meydana geldiğinde ark meydana gelir. Bu arklar rölelerin performansını etkiler. Ayrıca güç salınımları ve fazla yüklenmeler rölenin performansını etkileyebilir.

Rölenin bara tarafındaki bir hatta arızalar meydana geldiğinde çalışmasını önlemek için, mesafe röleleri ile birlikte bir yön rölesi kullanılır. Yönlü röle, hatanın rölenin hat tarafında mı yoksa rölenin bara tarafında mı olduğunu belirler. Arıza hat tarafındaysa, empedans rölesinin hat devre kesicisinin açmasına izin verilir. Arıza rölenin bara tarafındaysa, empedans rölesinden gelen açma sinyali engellenir. Böylece doğru seçicilik sağlanmış olmaktadır. Bu işlem yönlü rölenin ve empedans rölesinin açma kontaklarını seri olarak bağlayarak elde edilir.

3.1.3. Admintans röle karakteristiği

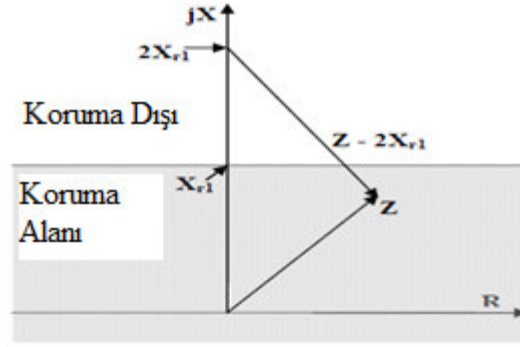
Giriş rölesi olarak da bilinen admintans (mho) mesafe rölesinin çalışma karakteristiği Şekil 3.4'de gösterildiği gibi, R-X düzleminin sıfır noktasından geçen bir dairedir (Tziouvaras ve ark., 2008). R-X düzleminin üçüncü çeyrek rölenin çalışma karakteristiğinin dışında olduğundan, bara tarafındaki arızalar bu röle tarafından görülmez ve ayrıca yön özelliği gerekmez. İletim hattı koruması için admintans röleleri kullanmanın bir başka avantajı, aynı hattı korurken, R eksenini boyunca erişimlerinin büyük ölçüde empedans rölelerinininkinden daha az olmasıdır. Bundan dolayı admintans rölelerinin kullanımı, empedans rölelerinin kullanımı yerine tercih edilir. Her bölge için çalışma yönü ileri veya geri olarak belirlenebilir (Tziouvaras ve ark., 2008)



Şekil 3.4. R-X düzleminde çizilen admintans rölesinin çalışma karakteristiği

3.1.4. Reaktans röle karakteristiği

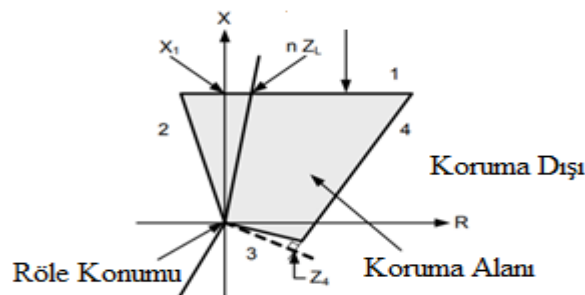
Reaktans rölesi çalışma karakteristiği Şekil 3.5’de gösterildiği gibi R eksenine paralel düz bir çizgi karakteristiğine sahiptir (Chawla, 2010). Reaktans rölesi bir hat ile tanımlanmış bölge sınırına sahiptir.



Şekil 3.5. R-X düzleminde çizilen reaktans rölesinin çalışma karakteristiği

3.1.5. Dörtgen röle karakteristiği

Daire dışındaki röle karakteristikleri geliştirmek mümkündür. Bu alandaki en önemli gelişme Şekil 3.6’da gösterilen dörtgen karakteristiğin geliştirilmesi olmuştur (Tziouvaras ve ark., 2008). Fazla yüklü uzun iletim hatlarında rölenin koruma bölgesine girme olasılığı vardır. Dolayısıyla istenmeyen yanlış işlemlerin olmaması için yük alanının dışında koruma bölgesi oluşturulabilir. Bu sistemin avantajı rölenin R ve X yönlerindeki menzilin bağımsız olarak kontrol edilebilmesidir. Dörtgen röle karakteristikleri geometrik olarak paralel kenar veya yamuğa benzemektedir (Tziouvaras ve ark., 2008).

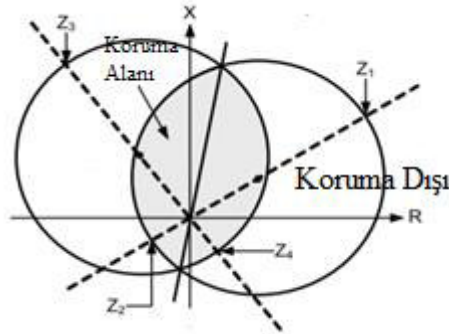


Şekil 3.6. R-X düzleminde çizilen dörtgen rölesinin çalışma karakteristiği

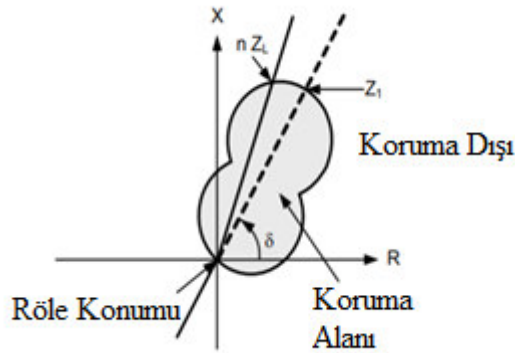
3.1.6. Diğer röle karakteristikleri

Röle karakteristiklerinde başka röle özellikleri de önerilmiştir. Bunlardan bazıları mercek, yerfıstığı ve eliptik karakteristiği. Bu özellikler rölenin erişimini R eksenini yönünde azaltır. Bu nedenle röleler uzun iletim hatlarını korumak için kullanılır.

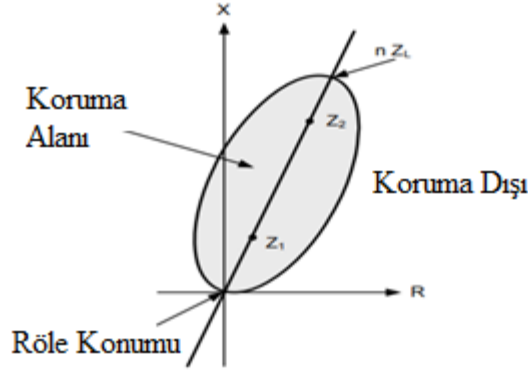
Mercek karakteristik Şekil 3.7 Avrupa ve Kuzey Amerika'nın bir kısmında kullanılmaktadır. Yerfıstığı karakteristik Şekil 3.8 Avrupa'da kısa bir süre için kullanılmıştır. Eliptik karakteristik Şekil 3.9 Rusya ve Doğu Avrupa ülkelerinde bir süre kullanılmıştır (Tziouvaras ve ark., 2008).



Şekil 3.7. R-X düzleminde çizilen mercek rölesinin çalışma karakteristiği



Şekil 3.8. R-X düzleminde çizilen yerfıstığı rölesinin çalışma karakteristiği



Şekil 3.9. R-X düzleminde çizilen eliptik rölesinin çalışma karakteristiği

3.1.7. Mesafe rölelerinin koruma bölgeleri

Mesafe koruma röleleri iletim hatlarında bölgesel koruma yapmaktadırlar. Bölgesel mesafe koruması, ana ve yedek koruma için kullanılmaktadır. Mesafe koruma röleleri aşırı akım rölelerine göre üretim ve sistem durumundaki değişikliklerden daha az etkilenmesi, daha hızlı ve daha seçici olmasından dolayı mesafe röleleri hat koruması için aşırı akım rölelerine göre daha fazla tercih edilmektedirler (Aydın, 2017). Mesafe koruma röleleri arızanın ayarlanan koruma bölgelerinin dışında kalıp kalmadığını tespit edecek şekilde tasarlanmışlardır. Türkiye iletim sisteminde 154 kV ve 380 kV iletim hatlarında kullanılmakta olan mesafe rölelerinde R-X empedans karakteristiği faz-toprak ve faz-faz arızaları için dörtgen olarak yapılmaktadır (Aydın, 2017).

Genel bölge ayarlaması, özel durumlar dışında normal hatta uygulanan ayarlama kurallarıdır. Mesafe koruma rölelerinde Bölge 1, Bölge 2, Bölge 3 ve Bölge 5 her zaman kullanılmaktadır. Bölge 4 ise bazı durumlarda kullanılmaktadır (Aydın, 2017).

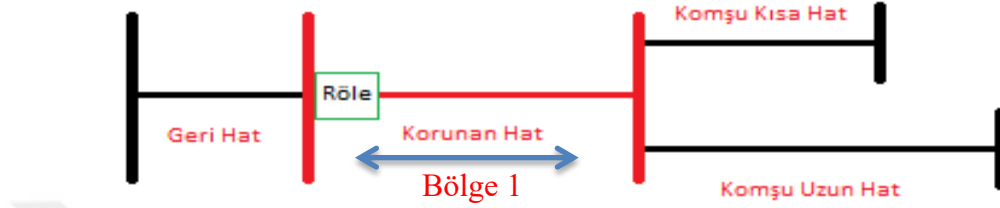
Bölge 1 ayarının amacı ana koruma yapmaktır. Bölge 1 ayarı için hattın uzunluğuna bağlı olarak farklı hesaplama tipleri yapılmaktadır. Bölge 1 ayarı ani olarak çalışır, zaman gecikmesi yoktur.

- Korunan hat uzunluğu 5 km ve altında ise empedans değeri korunan hattın empedansının %70 değerine ayarlanır (Aydın, 2017).

- Korunan hat uzunluğu 5 km ile 20 km arasında ise empedans değeri korunan hattın empedansının %80 değerine ayarlanır (Aydın, 2017).

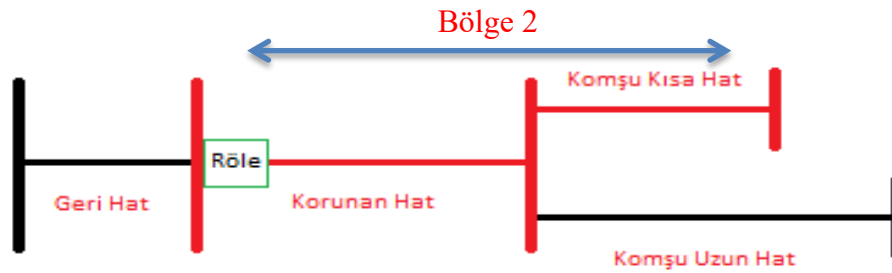
- Korunan hat uzunluğu 20 km'den büyük ise empedans değeri korunan hattın empedansının %85 değerime ayarlanır (Aydın, 2017).

İletim hattında oluşan %15-30'luk değer ise hat empedans değerlerinin birbirini tutmaması, transformatör arızaları ve röle ölçüm hataları sebebiyle komşu hat kısımları üzerinde yüksek hızda çalışan koruma cihazları ile ayırım yapılmamasını engelleyerek korunan hattın uzak uçtaki terminalinde veya onun ötesinde arızalar için aşırı menzil riskinin olmamasını sağlamaktır (Aydın, 2017). Şekil 3.10'da Bölge 1 ile korunan hat verilmiştir (Aydın, 2017).



Şekil 3.10. Bölge 1 ana koruma yapılan iletim hattı

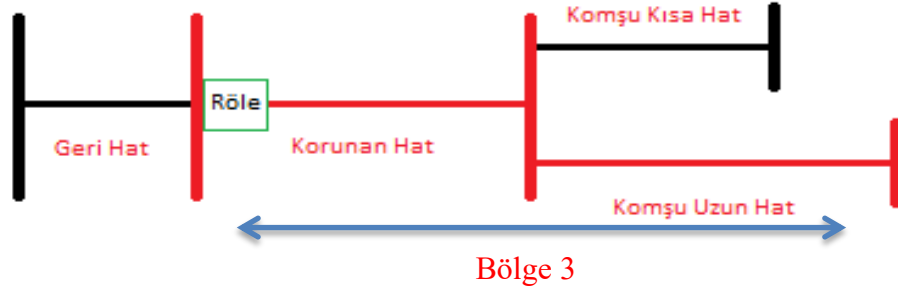
Mesafe rölelerinde Bölge 2 ayarının amacı iletim hattında yedek koruma yapmak için kullanılır. Korunan hattın empedansı ile karşı baradan devam eden komşu kısa hattın empedansının %50 değerinin toplam empedansına ayarlanmaktadır (Aydın, 2017). Bölge 2 ayarı zaman gecikmesi yaklaşık olarak 0.4 saniyedir. Bu süre hesaplamasında kesicinin çalışma süresi, rölenin reset süresi ve koruma gecikme süresi hesaba katılmalıdır (Saner, 2014). Şekil 3.11'de Bölge 2 ile korunan ve komşu kısa hat verilmiştir (Aydın, 2017). Bölge 2 kullanılarak korunan hattın tamamı korunmuş olmaktadır.



Şekil 3.11. Bölge 2 ile korunan ve komşu kısa hat

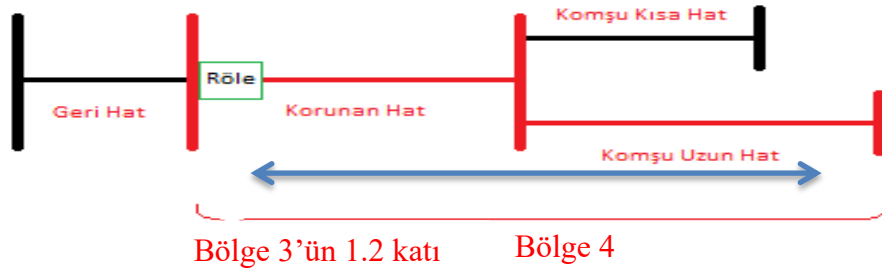
Mesafe rölelerinde Bölge 3 ayarının amacı iletim hattında yedek koruma yapmaktır. Bölge 2'den farklı olarak komşu uzun hatların koruması yapılabilir. Korunan hattın empedansı ile karşı baradan devam eden komşu uzun hattın empedansının toplam

empedansına ayarlanmaktadır (Aydın, 2017). Bölge 3 zaman gecikmesi yaklaşık 0,8 saniyedir. Şekil 3.12’de Bölge 3 ile korunan ve komşu uzun hat verilmiştir (Aydın, 2017).



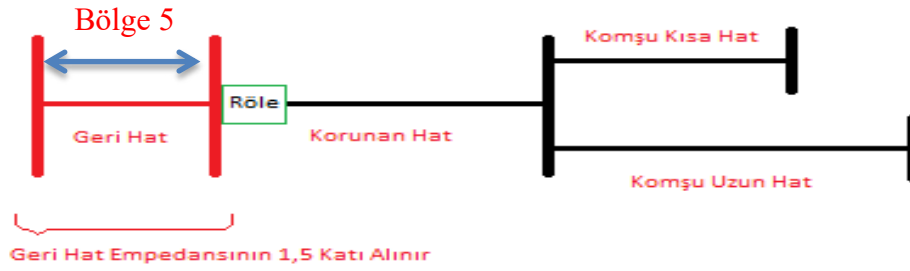
Şekil 3.12. Bölge 3 ile korunan ve komşu uzun hat

Mesafe rölelerinde Bölge 4 ayarının amacı iletim hattında yedek koruma yapmaktır. Bölge 3 değerinin yaklaşık 1.2 katı değerine ayarlanmaktadır. Genel olarak mesafe rölelerinde bölge 4 ayarlanmamaktadır (Aydın, 2017). Sadece gerekli görülen yerlerde bu ayar girilmektedir. Bölge 4’de zaman gecikmesi yaklaşık 1.2 saniyedir. Şekil 3.13’de Bölge 4 ile korunan ve komşu uzun hat verilmiştir (Aydın, 2017).



Şekil 3.13. Bölge 4 ile korunan ve komşu uzun hat

Mesafe rölelerinde Bölge 5 ayarının amacı iletim hattında yedek koruma yapmaktır. Rölenin bağlı olduğu hattın barasına göre geride olan en uzun hattın empedansının yaklaşık 1.5 katı değerine ayarlanmaktadır (Aydın, 2017). Bölge 5 ayarı zaman gecikmesi yaklaşık 1.5 saniyedir. Şekil 3.14’de Bölge 5 koruma rölesi ve geri hat verilmiştir (Aydın, 2017).



Şekil 3.14. Bölge 5 ile korunan ve geri hat

3.2. Güç Sisteminde Meydana Gelen Arızalar

Elektrik tesislerinde, üretimden tüketicilere kadar olan herhangi bir işletme elemanında, yalıtım bozulması sonucu iletkenlerin birbirleri ile temas etmesiyle kısa devre oluşur. Tüketicuyu besleyen hat üzerinde bir kısa devre meydana geldiğinde tüketici devreden çıkar ve sadece akım kaynağının iç empedansı ile faz iletkeninin empedansı kalır. Bu empedansların toplamı, nominal akım geçen arızasız durumla karşılaştırıldığında çok küçük kaldığından, hattan geçen akım çok büyük artış gösterir (Yılmaz, 2014).

Hatlarda kısa devreye sebebiyet veren yalıtkan hatası, iç ve dış sebeplerden meydana gelebilir.

Kısa devrelere sebebiyet verebilecek iç sebepler (Yılmaz, 2014):

- ❖ Aşırı akım ve yükleme neticesinde, iletkenlerin aşırı derecede ısınmasıyla yalıtkan madde zarar görebilir.
- ❖ Aşırı gerilim sonucunda yalıtımda delinme ve atlama meydana gelebilir.
- ❖ Yalıtım malzemesinin eskimesi ya da hatalı olması sonucu oluşabilir.

Kısa devrelere sebebiyet verebilecek dış sebepler (Yılmaz, 2014):

- ❖ Kabloların veya yalıtılmış iletkenlerin zarar görmesi veya ezilmesi,
- ❖ Havai hat izolatörlerinin kırılması,
- ❖ Yıldırım düşmesi,
- ❖ Buz yükü, rüzgarlar ve buna benzer doğa olayları.

Üç fazlı bir sistemde; üç fazın birbirlerine temas etmesi sonucunda üç fazlı simetrik arıza, iki faz iletkeninin birbirlerine temas etmesi sonucunda iki faz arıza, sadece nötrü topraklanmış sistemlerde herhangi bir faz iletkeninin nötr hattı ya da toprakla teması sonucunda tek faz-toprak arıza, yine nötrü topraklanmış sistemlerde iki

faz iletkeninin birbirleri ve nötr veya toprak ile teması sonucunda faz-toprak arıza meydana gelir.

Elektrik sistemindeki arızaların birçoğu dengesiz olup, çok az bir kısmı dengelidir. Arızaların pratikte oluşma sıklığı, tesisatın yapısına, çevreye ve bölgeye göre değişse de sıralama genelde aynıdır.

Bir araştırmaya göre bu sıklık; üç fazlı simetrik kısa devre için %5, çift faz-toprak kısa devresi için %10, faz-faz kısa devresi için %15, faz-toprak kısa devresi için %70 olarak belirlenmiştir (Grainger ve ark., 2003).

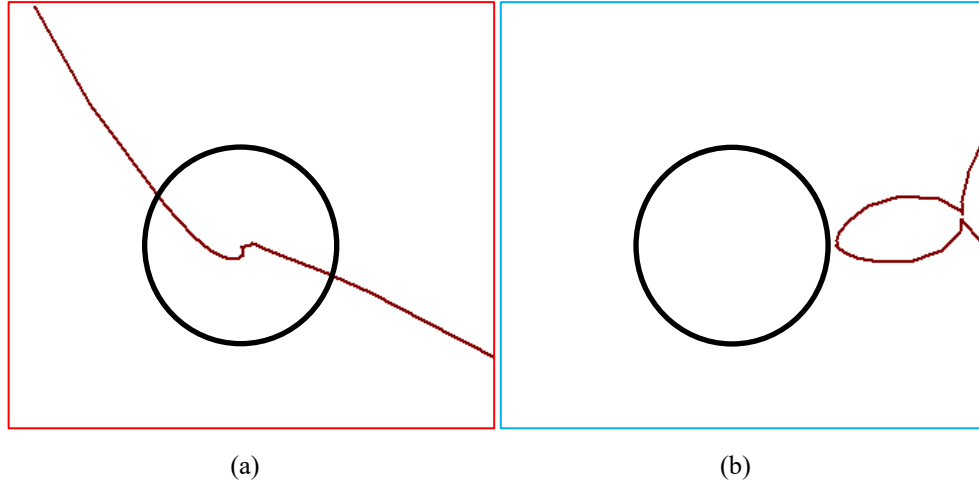
3.3. Enerji İletim Hatlarında Yüksek Empedanslı Arızalar

Yüksek empedanslı arızaların (YEA) çoğu faz iletkeninin genellikle ağaç, direk, yol yüzeyi, kaldırım, çim ve yüksek empedanslı toprakla temas kurduğunda ortaya çıkar (Theron ve ark., 2018). İletim ve dağıtım hatlarında mesafe koruma röleleri yüksek empedanslı bir arıza ile karşılaştığında bazı durumlarda kısa devre arızalarını tespit edememektedir (Budak ve Akbal, 2019). Tespit edilemeyen arızalar insanlara ve hayvanlara zarar verebilir, yangınlara yol açabilir, elektrik kesintilerine, üretim kayıplarına sebep olabilir ve tesis elemanlarına zarar verebilir.

(Sedighizadeh ve ark., 2010)'daki bir rapora dayanarak, beş dağıtım besleyicisindeki 200 yüksek empedans arızasından röleler tarafından sadece 35 tespit edilmiştir. YEA'yı tespit etmek için şimdiye kadar önerilen tüm tekniklerin ayrıntılı analizi bulunabilir (Saha ve ark., 2009).

Mesafe koruma röleleri empedans tabanlı koruma yaptıklarından dolayı yüksek empedanslı arızalarda gerçekleşen empedans ölçümü farklı çıkmaktadır. Bu yüzden koruma bölgesine girmeyen arızalarda arıza ve arıza yeri tespiti doğru yapılamamaktadır.

Şekil 3.15'de havai iletim hattının 50. km'sinde oluşturulan faz a-toprak kısa devre arızalarında arıza direnci 10 ohm ve 75 ohm örnek görüntüler gösterilmiştir. Yüksek empedanslı 75 ohm kısa devre arızasının mesafe koruma rölesinde oluşturulan koruma bölgesine girmediği görülmektedir.



Şekil 3.15. Farklı arıza dirençlerinde R-X empedans diyagramından elde edilen örnek görüntüler

3.4. Transformatör Topraklamasının Mesafe Koruma Rölesi Üzerindeki Etkisi

Elektrik enerjisini kaliteli, kesintisiz iletmesi ve uzun iletim hatlarında kısa devre arızası olduğunda arızayı ve arıza yerinin hızlı ve güvenilir bir şekilde tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır. Transformatör nötr noktası topraklaması bir güç sisteminin tek faz-toprak kısa devre arızası sırasında mesafe koruma rölesinin çalışmasını etkilemektedir.

Topraklama sisteminin arıza üzerinde etkisi üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Sistemde oluşan sıfır bileşen akımı iletim hattının hata empedansını etkileyebilir (Meddeb ve ark., 2019). Topraklama sisteminin arıza üzerinde etkisi üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Topraklama sistemi ve koruma sistemleri arasındaki ilişki göz önüne alındığında, uygun bir topraklama sistemi yapılmalıdır (Meddeb ve ark., 2019).

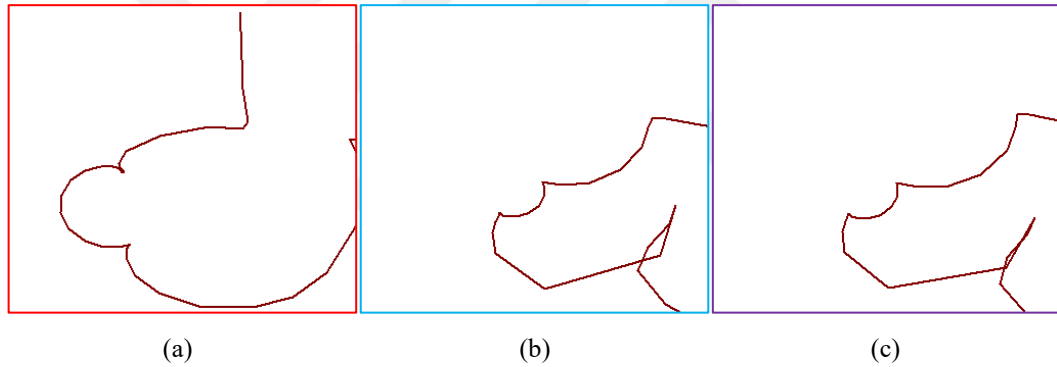
Tek faz-toprak kısa devre arıza olması durumunda, güç transformatörleri nötr noktası toprağa bağlı olduğu için sıfır bileşen akımının iletilmesinde çok önemli bir role sahiptir (Lin ve ark., 2011) ve (Guangfu ve ark., 2010). Sıfır bileşen akımı, iletim hattının mesafe koruma rölesinin çalışmasını etkilemektedir. Mesafe koruma rölesinin hatalı çalışması güç sisteminin güvenilirliğini etkiler.

Transformatörün nötr noktası topraklanmış bir sistemde ve tek faz-toprak hatası sırasında mesafe rölesi tarafından ölçülen empedans, iletim hattının hatalı noktasının empedansı ile orantılı değildir (Meddeb ve ark., 2019). Bunun sebebi, toprak arızası olayları sırasında sistem topraklamasında sıfır bileşen akımlarının varlığıdır. İletim

hattında oluşan sıfır bileşen akımı yüksek frekanslı gerilim dalgalanmalarına ve harmoniklere yol açtığı için bu durum mesafe rölesinin hatalı şekilde çalışmasına bunun sonucunda sistemde oluşan arızaların ve arıza yerlerinin tespitinde hatalar meydana gelmektedir.

Arızayı ve arıza yerini tespit ederek hızlıca müdahale edilmesi, arıza yerini belirleme masraflarını düşürecek, arızanın onarımı ve iletim hattının tekrar devreye alınması gibi hızlı yapılması gereken işlemleri hızlandıracak ve kesintilerden dolayı üretim, kullanım ve gelir kayıplarını azaltacaktır.

Şekil 3.16'da havai iletim hattının 50. km'sinde oluşturulan faz a-toprak kısa devre arızalarında transformatör topraklama sisteminde topraklanmamış, doğrudan topraklanmış ve empedans ile topraklanmış örnek görüntüler gösterilmiştir. Topraklama sistemi değiştiğinde kısa devre arızasının mesafe koruma rölesi R-X empedans diyagramındaki görüntülerin değiştiği gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Topraklama sistemi farklılığında R-X empedans diyagramından elde edilen örnek görüntüler

3.5. Karma İletim Hatları

Elektrik enerjisinin iletiminde günümüzde havai hat sistemleri hâkimdir. Bunun sebebi temel olarak havai hatların işletilmesinde yüzlerce yıldan fazla deneyime sahip olmaktır. Ayrıca, havai hatlar uygulanabilir güvenilirlikleri ve etkili güvenceleri kanıtlamış iletim hatlarıdır. Havai hatlar kablolu hatlara göre kurulum maliyetleri düşük ve kullanım ömürleri yüksektir (Wedepohl ve Wilcox, 1973).

Geçmişte, yeraltı kabloları çoğunlukla denizaltı kabloları hariç olmak üzere kentsel alanlardaki dağıtım hatlarında kullanılıyordu. Dağıtım hatlarında günümüzde özellikle insan yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde işletme emniyeti, insan-çevre sağlığı ve işletmenin ekonomikliğin sağlanması dikkate alınarak yeraltı kabloları

kullanılmaktadır. Yüksek gerilim XLPE yeraltı kablolarındaki yalıtım sistemlerinde yeni teknolojik gelişmeler, iletim hatlarında uygulamaları için kablolar kullanılmaya başlanmıştır.

İletim hatlarında yeraltı kabloları günümüzde daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. 28 ülkenin araştırıldığı bir çalışmaya (Swingler ve ark., 2007) göre 220 kV ile 500 kV arasındaki gerilim seviyelerinde kurulu yeraltı kablo hatlarının toplam uzunluğu 7164 km'dir. Buna karşılık, aynı gerilim seviyesindeki havai hatların toplam uzunluğu 631118 km'dir. Bu araştırmaya göre kablo hatları şu anda sadece bu ülkelerde iletim şebekesinin yaklaşık %1'ini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, yüksek gerilim yeraltı kablolarının iletim hatlarında kullanılması günümüzde belirli koşullar altında uygulanabilir olarak değerlendirilebilir. Halen kullanılmakta olan en uzun yeraltı kablo hattının toplam uzunluğu sistem başına yaklaşık 40 km'dir (Judendorfer ve ark., 2008). Ancak yakın gelecekte iletim hatlarında daha uzun yeraltı kablo hatların görünebileceği düşünülebilir. Örnek olarak yüksek dağlar boyunca büyük demiryolu tünellerinden enerji iletimi gibi bazı projeler için, uzun yüksek gerilim yeraltı kablo hatları yapılabilir. İletim şebekelerindeki havai hatlarla birlikte yüksek gerilim yeraltı kablolarının uygulanması, yakın gelecekte daha uygun olabilir (Gatta ve Lauria, 2005; Benato ve ark., 2006).

Üretim teknolojisindeki ilerlemeler, daha küçük kablo boyutları ve daha az kablo ağırlığı ile kablo kurulumunun maliyetleri azalmaya başlamıştır (Han, 2015). Ayrıca havai hatların çevre üzerindeki etkisi konusunda çalışmalar yapılmıştır. Bir havai iletim hattının, görsel etkiye sahip olduğundan ve büyük araziler işgal ettiğinden dolayı kullanımı görsel öneme sahip alanları ve doğal güzellikleri kısıtlayabilir. Bazı bölgelerde su birikintileri, yüksek dağlar ve yerleşim yerlerinde havai hatların geçmesini zorlaştırmaktadır. Yüksek iletim hatlarının şehirlerden geçmesi, insan ve çevre sağlığını önemli derecede etkilemektedir. Birleşik Krallık'taki bir çalışmaya göre kısa süre önce "Halkın %77'sinin görselliğin önemli olduğuna düşünüyor ve elektrik hatlarını yeraltında konumlandırılmasını tercih ediyor." sonucuna varılmıştır (Han, 2015).

Yeraltı kablo hatları maliyetli ve uzun ömürlü yatırımlardır. İşletme güvenliği, insan-çevre sağlığı ve işletmenin ekonomikliğinin sağlanması bakımından yeraltı kabloların elektrik enerjisini kaliteli ve kesintisiz iletmesi büyük önem taşımaktadır. Sonuç olarak, havai hatlara ancak yeraltı kablo bölümleri içeren karma bir iletim hattı,

çevresel olarak kabul edilebilir ve maliyet açısından uygun bir yöntem olarak gözükmektedir.

Yeraltı kablo hattı, yüksek gerilim iletim hatlarında mevcut havai hattın bir bölümünün yerine kullanılabilir, ancak kabloların karakteristik empedansı bir havai hattan önemli ölçüde farklıdır. Yeraltı kablo iletkenleri arasındaki yakın alan nedeniyle, bir kablonun seri endüktansı bir havai hattan %30-50 daha azdır, ancak bir kablonun şönt kapasitesi bir havai hattan 30-40 kat daha fazladır (Tziouvaras, 2006). Yeraltı kablo hattı ile havai hat birlikte kullanmak, iletim hattındaki arıza bölümünü ve yerini belirlemek zorlaştırmaktadır. Mesafe koruma röleleri akım ve gerilim büyüklüklerine göre empedans tabanlı arıza ve arıza yeri tespiti yaptığı için karma iletim hatlarında birim uzunluk başına farklı empedans sebebiyle arıza yeri doğru tespit edilememektedir (Han ve Crossley, 2013; 2015).

İletim hatlarında hat koruması için kesiciler genel olarak tekrar kapatma ile çalışırlar. Herhangi bir nedenle oluşan kısa devre anında kesicilere gelen sinyal ile iletim hattındaki arıza temizlenir ve arıza geçici türden ise iletim hattı tekrar devreye girerek normal işletme durumuna getirilir. Bununla birlikte, yeraltı kablo arızaları genellikle kalıcı arızadır, enerjinin kesilmesiyle arızalar giderilmez, yeniden kapatmayı başlatmak kabloları daha fazla zarar verir ve elektrik şebekesinde gerilim dalgalanmalarına, aşırı ısınmalara, kullanılan donanımların zarar görmesine ve canlıların hayatını tehlikeye girmesine sebep olabilir. Bu durumda, oluşan arızanın havai hatta veya yeraltı kablolu hatta olmasını belirlemek önemli bir konudur (Zeng ve ark., 2012).

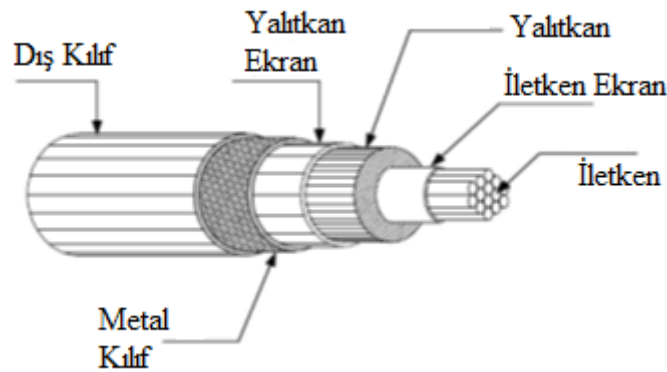
Yeraltı kabloların üretim, tesis ve işletme hatalarından dolayı veya dışarıdan gelebilecek mekanik darbelerden dolayı arıza yapabilmektedir. Elektrik enerjisinin kalitesinin bozulması veya uzun süreli elektrik kesilmeleri büyük sorunlara yol açacağı için yeraltı kablolarında arıza yerinin en kısa sürede tespit edilerek arızaya hemen müdahale edilmesi ve sorunun çözülmesi tüketicilere kaliteli ve kesintisiz enerji sağlanması açısından çok önemlidir.

Arıza yerinin doğru ve hızlı bir şekilde tespit edilmesi; arıza yerini belirleme masraflarını düşürecek, arızanın onarımı ve iletim hattının tekrar devreye alınması gibi hızlı yapılması gereken işlemleri hızlandıracak ve kesintilerden dolayı üretim, tüketim ve gelir kayıplarını azaltacaktır. Bu nedenle arızanın hızlı ve doğru bir şekilde tahmin edilmesi ve belirlenmesi, sistemin işletilme devamlılığı, işletme maliyetleri ve işletme güvenliği açısından çok önemlidir.

Yeraltı kabloları ile yapılan enerji iletim ve dağıtım hatlarında en büyük sorun masraflarının büyük olması ve çok yüksek gerilimlere dayanacak yeraltı kablolarının yeni yapılmakta olmasıdır. Yeraltı kablolarının havai iletim hatlarına göre avantajlı olduğu yönleri vardır (Pamuk, 2014);

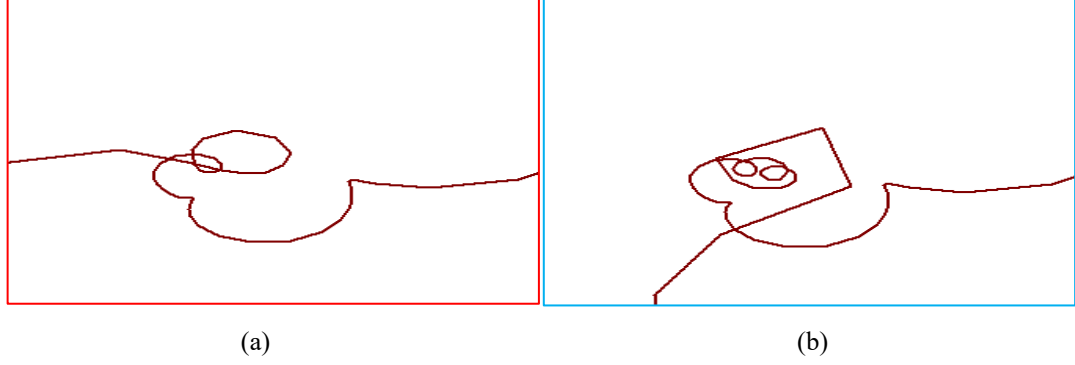
- Yeraltı kabloları ile yapılan enerji iletim ve dağıtım hatlarında, direklere ve direk malzemelerine gerek yoktur. Kullanılan malzemelerin sayısının azalması sistem güvenilirliğini arttırmakta, maliyeti azaltmakta ve görüntü kirliliği yapmamaktadır.
- Yol, cadde, sokak ve meydanların çevre düzenlemesi şehir mimarisi bozulmadan gerekli enerji iletimi yapılabilir.
- Fırtına, yıldırım düşmesi, yangın gibi doğa olayları ve çevresel etkenler oluşmaz.
- Yerleşim alanları içerisinde, havai iletim hatlarına göre kaza olma ihtimali daha azdır.
- Kesintisiz ve sürekli enerji aktarımı sağlar.
- Daha az voltaj dalgalanmaları vardır.

Ayrıca yeraltı kablo hatları havai iletim hatlarının kullanılması mümkün olmayan su birikintileri, göller, dağlar, yollar ve yerleşim yerlerinde kullanılması büyük kolaylık sağlamaktadır. Yüksek gerilim XLPE yeraltı kablolarındaki yalıtım sistemlerinde yeni teknolojik gelişmeler, iletim hatlarında uygulamaları için kablolar kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek gerilim yeraltı kablosu Şekil 3.17’de içyapısı gösterilmiştir (Akbal, 2018).



Şekil 3.17. Yüksek gerilim yeraltı kablosu

Şekil 3.18’de karma iletim hattının havai hat kısmında 50. km’sinde ve yeraltı kablo hat kısmının 5. km’sinde oluşturulan faz a-toprak kısa devre arızalarında oluşan örnek görüntüler gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Karma iletim hatlarında R-X empedans diyagramından elde edilen örnek görüntüler

3.6. Yapay Sinir Ağları

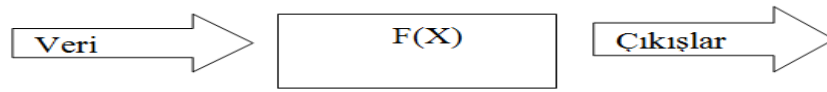
YSA, insan beyninin çalışma sistemine benzetmenin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. İnsan beynine benzer olacak şekilde bilgisayar ortamında öğrenebilme, ilişkilendirme, karar verme, sonuç çıkarma, hatırlama, genelleme, sınıflandırma, yeni bilgiler üretebilme, özellik belirleme, optimizasyon gibi yeteneklere sahip bir algoritmadır. YSA bugün mühendislik çalışmalarında, sağlık alanında, sosyal medya programlarında, veri madenciliğinde, güvenlik sistemlerinde, robot sistemlerinde, kalite kontrol sistemlerinde, üretim-tüketim çizelgeleme planlamalarında, bankacılık işlemlerinde ve her türlü tahmin çalışmalarında gibi çok farklı alanlarda kullanılmaktadır.

YSA ile karmaşık algoritmalar gerektiren non-lineer problemlerin çözümü kolaylıkla bulunmaktadır (Fletcher ve Goss, 1993). Lineer ve non-lineer problemler arasındaki farkı bir örnekle açıklayabiliriz; bir cihazın çalıştırılması gibi kolay problemlerin çözümü için algoritma kurulmasına gerek duyulmuyor fakat bir hastalığın tahmini gibi zor problemler karmaşık algoritmaların kurulmasını gerektirir. YSA burada çözüm üretir. Bunun için daha önceki durumların istatistiksel verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verilerin uygun hale getirilip en iyi şekilde öğretilmesi gerekmektedir. Bu süreçte, öğrenecek olan bilgisayar önce örnekler alarak bu örneklerden bilgiler öğrenmektedir. Bu işlemi veri setindeki tüm verileri öğrenene kadar

devam ettirmektedir. Amaç daha çok örnek öğrenerek kullanılan örneklerden sonuç ilişkilendirme işlemini en performanslı ve doğru şekilde yapmaktır (Kiki, 2018).

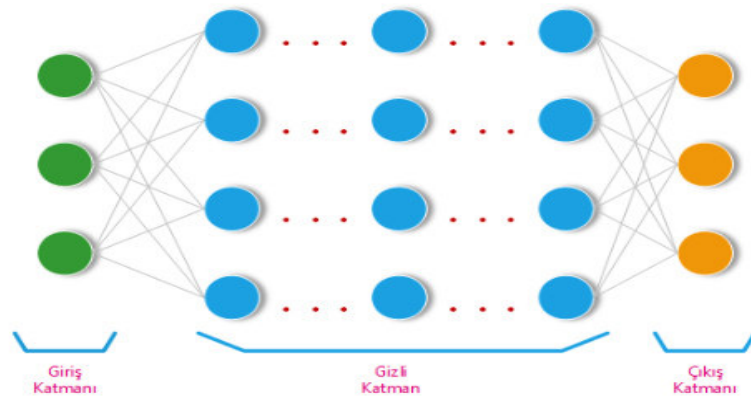
3.6.1. Yapay sinir ağının yapısı

YSA, belirli bir düzen içinde birbiriyle bağlantılı birden çok giriş elemanının girdi olarak verilerek uygun çıktıların alınabildiği bir fonksiyon olarak tanımlanabilir. Şekil 3.19’da YSA’nın basit yapısı gösterilmiştir (Öztemel, 2012).



Şekil 3.19. YSA basit yapısı

YSA yapay sinir hücrelerinin birleştirilmesiyle oluşur. Şekil 3.20’de görüleceği üzere bir YSA genel olarak üç katmandan oluşur (Makinisti, 2018). Bunlar giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanıdır. Giriş katmanı, dışarıdan gelen girdileri alan nöronları içerir. Bu tabakada bulunan nöronlar giriş değerlerini bir sonraki katmana iletir, giriş değerleri üzerinde herhangi bir işlem uygulamaz. Gizli katmanda bulunan bir nöron bir önceki katmanın tüm nöronlarından sinyal alır. Bu bilgilerde işlem yapıldıktan sonra çıktısını bir sonraki katmanın tüm nöronlarına gönderir. Çıkış katmanı, çıktıları dışarı ileten nöronları içeren bir katmandır. Çıkış katmanındaki nöronlar gizli katmandan gelen bilgileri işler ve çıktı verir.

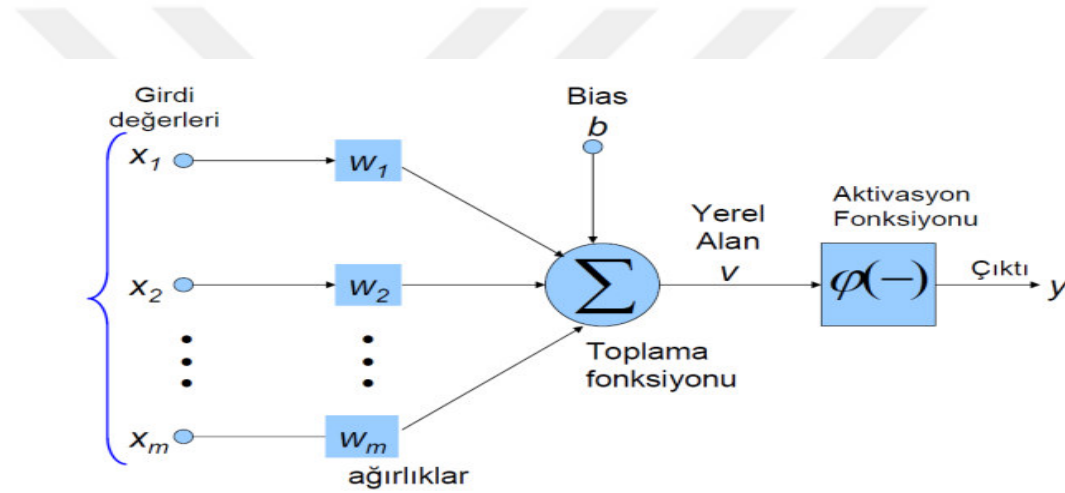


Şekil 3.20. YSA genel yapısı

YSA'da problemin ağı sunulduğu şekil, ağıın sahip olduğı fiziksel yapı, kullanılan algoritma, ağıın kullandığı öğrenme stratejisi, transfer fonksiyonu ve öğrenme kuralları ağıın performansını etkilemektedir (Toktaş ve Aktürk, 2004).

3.6.2. Yapay sinir ağlarının çalışma prensibi

YSA'lar temel olarak nöronlardan oluşmaktadır. Nöronlara uygulanan girişler üç temel aşama sonucunda çıkış olarak verilir. İlk aşamada bağılı oldukları ağırlıklar ile çarpılarak toplama fonksiyonuna iletilir. İlk aşamada ağırlık değeri rastgele seçilir ve eğitim başladıktan sonra doğru ağırlık değeri güncelleyerek bulmaya çalışır. Şekil 3.21'de nöron modeli gösterilmiştir (Şalvarcı, 2017).



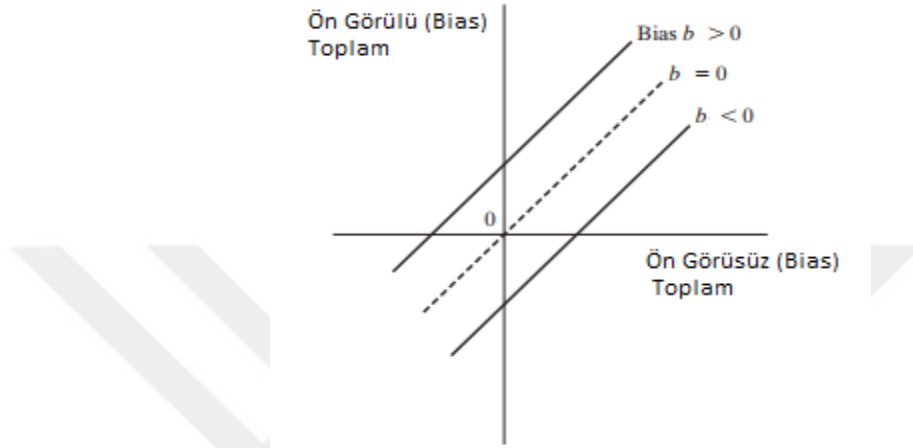
Şekil 3.21. YSA nöron modeli

Şekil 3.21'de gösterilen x_m değeri m 'ninci giriş değerini, w_m m 'ninci veriye ait ağırlığını ve b değeri öngörü değerini ifade etmektedir. Öngörü değeri toplama fonksiyonuna dışarıdan uygulanmakta ve aktivasyon fonksiyonuna uygulanacak olan girişin artırılması veya azaltılmasını sağlamaktadır. Şekil 3.22'de öngörü değerinin aktivasyon fonksiyonuna etkisi gösterilmiştir (Haykin, 1994). İkinci aşamada, girişlerin belirtilen ağırlıklarla çarpılmış değerleri toplama fonksiyonunda lineer olarak toplanmaktadır. Toplama işlemi Denklem 3.9'da verilmiştir (Şalvarcı, 2017).

$$v = x_1 * w_1 + x_2 * w_2 + \dots + x_m * w_m + b \quad (3.9)$$

Son aşamada Denklem 3.9'da elde edilen değer, aktivasyon fonksiyonuna uygulanarak çıkış değeri elde edilir. Aktivasyon fonksiyonu nöronun çıkış değerini sınırlandırmaktadır. Nöronun çıktısı Denklem 3.10'da gösterilmiştir (Şalvarcı, 2017).

$$y = F(w * x_{toplamlam} + b) \quad (3.10)$$



Şekil 3.22. Öngörünün aktivasyon fonksiyonuna etkisi

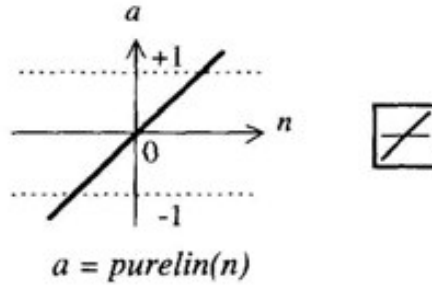
YSA'da öğrenme iki aşamada gerçekleşir. İlk aşamada ağa örnekler verilir ve çıkış değerleri alınır. Çıkış değerlerinin performansına göre ağırlıklar güncellenerek eğitim devam eder. İkinci aşamada eğitilen ağın test edilmesidir. Bu aşamada ağın öğrenme aşamasında verilmeyen örnekler verilir. Ağın eğitim kısmında belirlenen ağırlıklar kullanılarak hiç görmediği örnekler için çıkış değeri üretir.

3.6.3. Yapay sinir ağlarında aktivasyon fonksiyonları

Aktivasyon fonksiyonları YSA'ların başarımını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Çalışılan probleme göre farklı aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Probleme göre her bir katmanda aynı aktivasyon fonksiyonu kullanılabileceği gibi, farklı katmanlarda farklı aktivasyon fonksiyonlarının kullanılması da mümkündür (Fausett, 1994).

Birim Fonksiyonu: Uygulanan giriş değerini aynı şekilde çıkışa aktarır. Tek katmanlı YSA'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Birim fonksiyonun tanımı Denklem 3.11'de ve Şekil 3.23'de grafiği gösterilmiştir (Tatar, 2007).

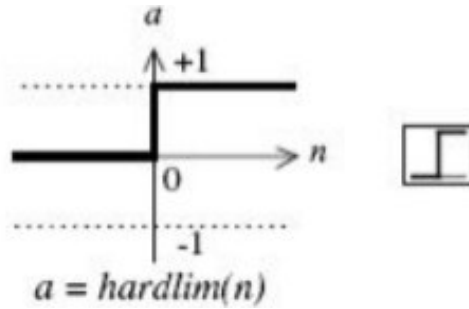
$$F(x) = x \quad (3.11)$$



Şekil 3.23. Birim aktivasyon fonksiyonu

Basamak Fonksiyonu: Gelen giriş değerinin belirlenen bir eşik değerin altında veya üstünde olmasına göre çıkış verir. Tek katmanlı YSA’larda yaygın olarak kullanılmaktadır. Basamak fonksiyonun tanımı Denklem 3.12’de ve Şekil 3.24’de grafiği gösterilmiştir.

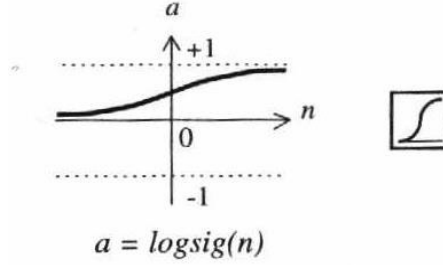
$$F(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (3.12)$$



Şekil 3.24. Basamak aktivasyon fonksiyonu

Sigmoid Fonksiyonu: Sürekli ve türevi alınabilir bir fonksiyondur. Her giriş değeri için 0-1 arası çıkış değeri verir. YSA’da en sık kullanılan fonksiyonlardan birisidir. Sigmoid fonksiyonunun eğimi, eğim parametresi λ kullanılarak değiştirilebilmektedir. Eğim parametresi sonsuza yaklaşırken, sigmoid fonksiyonu basit bir basamak fonksiyonu gibi davranmaktadır. Sigmoid fonksiyonun tanımı Denklem 3.13’de ve Şekil 3.25’de grafiği gösterilmiştir (Haykin, 1994; Tatar, 2007).

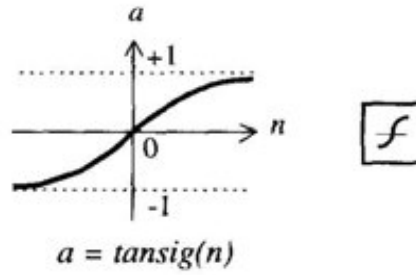
$$F(x) = \frac{1}{1+e^{-\lambda x}} \quad (3.13)$$



Şekil 3.25. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu

Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu: Sigmoid fonksiyonuna benzer özellik gösterir. Her giriş değeri için -1, +1 arası çıkış değeri verir. Tanjant Hiperbolik fonksiyonun tanımı Denklem 3.14’de ve Şekil 3.26’da grafiği gösterilmiştir (Tatar, 2007; Makinisti, 2018).

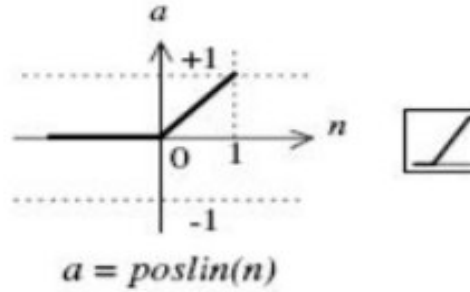
$$F(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}} \quad (3.14)$$



Şekil 3.26. Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu

Eşik değer Fonksiyonu: Gelen giriş değeri sıfırdan küçük ve eşit ise sıfır değerini, sıfır ve bir arasında ise giriş değerini, birden büyük ve eşit ise bir değerini çıkış olarak verir. Tanjant Hiperbolik fonksiyonun tanımı Denklem 3.15’de ve Şekil 3.27’de grafiği gösterilmiştir.

$$F(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ x & 0 < x < 1 \\ 1 & x \geq 1 \end{cases} \quad (3.15)$$



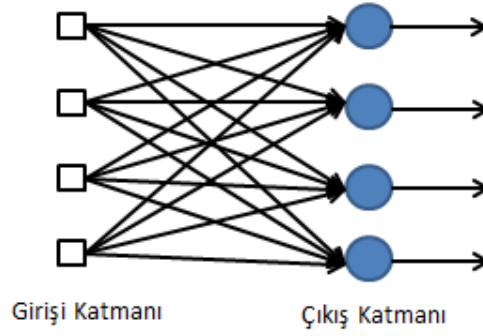
Şekil 3.27. Eşik değer aktivasyon fonksiyonu

3.6.4. Yapay sinir ağları modelleri

YSA'lar ile ilgili yapılan ilk çalışmalarda tek katmanlı modeller kullanılmıştır. Oluşturulan bu modelde sınıflandırma işlemi doğrusal bir düzlem ile yapılmaktadır ve en büyük eksiklik sadece doğrusal olan problemlerde kullanılmaktadır. Bundan dolayı doğrusal olmayan problemlerin de kullanılması için farklı modeller geliştirilmiştir (Öztemel, 2012).

3.6.5. Tek katmanlı ağlar

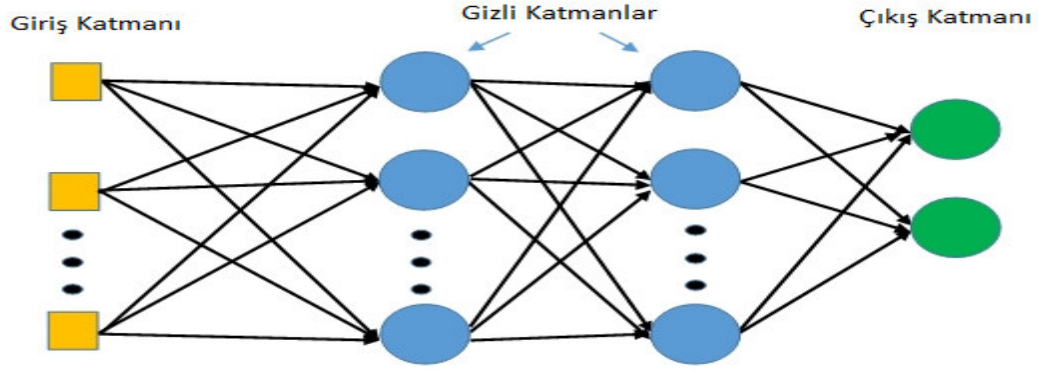
Tek bir katmandan oluşan YSA'lardır. Genellikle aktivasyon fonksiyonu olarak basamak fonksiyonu kullanılmaktadır. Tek katmanlı ağlarda giriş değerleri ağırlıklar ile çarpılarak toplanmaktadır, elde edilen değerler aktivasyon fonksiyonu uygulanmaktadır, son olarak aktivasyon fonksiyonunun yapısına ve eşik değerine göre çıkış 1 veya 0 ya da 1 veya -1 değerlerini almaktadır. Daha sonra beklenen çıkış değerleri ile elde edilen çıkış değerleri arasındaki farkın öğrenme oranıyla ve giriş değerleri ile çarpılarak ağırlık değerlerine eklenmesiyle ve ağırlıkların güncellenmesiyle öğrenme işlemi yapılmaktadır (Öztemel, 2012). Öğrenme oranı çok yüksek seçilirse ağırlık değerleri çok yükselir ve istenilen çıkış değerinden uzaklaşmalar olabilir. Eğer çok düşük seçilirse öğrenme çok yavaş olabilir. Burada işlem yönü, giriş katmanından çıkış katmanına doğru ileri yönlüdür. Şekil 3.28'de giriş ve çıkış katmanından oluşan tek katmanlı ileri beslemeli YSA modeli gösterilmektedir (Şalvarcı, 2017).



Şekil 3.28. Tek katmanlı ileri beslemeli YSA modeli

3.6.6. Çok katmanlı ağlar

Doğrusal olmayan problemlerin çözümünde çok katmanlı ağlar (ÇKA) yaygın olarak kullanılmaktadır. Tek katmanlı ağlar VE, VEYA gibi mantıksal problemlerde kullanılabilir fakat XOR gibi doğrusal olmayan problemlerde kullanılamamaktadır. ÇKA'lar birden fazla katmandan oluşurlar. Temel olarak 3 katmandan oluşmaktadır. Bunlar giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanıdır. Giriş katmanı, verilerin alınarak YSA'ya iletiildiği katmandır. Bu katmanda veriler hiçbir değişikliğe uğramadan iletilir. Gizli katman, giriş katmanından gelen verilerin işlendiği katmandır. Problemin karmaşıklığına ve çeşidine göre gizli katman ve gizli katmandaki nöron sayısı değiştirilebilir. Gizli katmanda kaç tane nöron kullanılacağı ya da kaç tane gizli katman kullanılacağı belirlemek üzere kullanılan bir yöntem yoktur ve genellikle bu sayıların belirlenmesinde deneme yanılma yöntemi kullanılmaktadır. Denemeler sonucunda başarımı en yüksek olan model, ilgili problemin çözümü için kullanılmaya uygun olduğu belirlenir. Çıkış katmanı ise gizli katmandan gelen verileri işleyerek YSA'nın çıktısını üreten katmandır. Burada işlemler, giriş katmanından çıkış katmanına doğru ileri yönlüdür (Öztemel, 2012). Şekil 3.29'da giriş, gizli ve çıkış katmanından oluşan çok katmanlı ileri beslemeli YSA modeli gösterilmektedir (Şalvarcı, 2017).

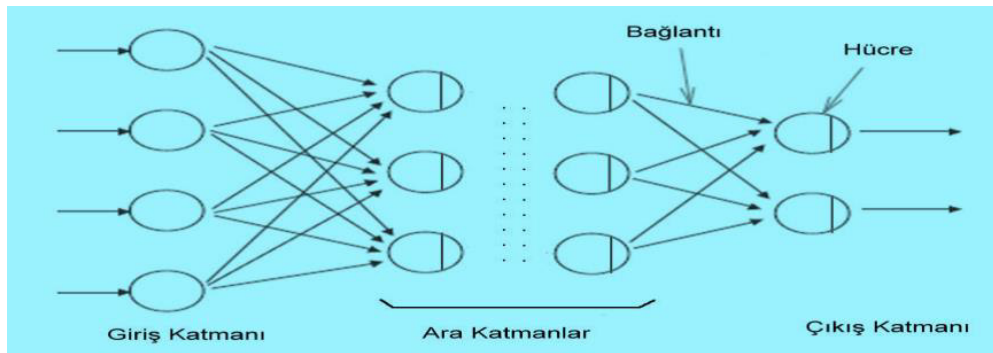


Şekil 3.29. Çok katmanlı ileri beslemeli YSA modeli

3.6.7. İleri beslemeli ağlar

İleri beslemeli YSA'da tek yönlü veri akışı vardır. Üç katmanlı ileri beslemeli YSA modeli Şekil 3.30'da gösterilmiştir (Öztemel, 2012). Bu modelde giriş katmanı, gizli katmanlar ve bir çıkış katmanından oluşur.

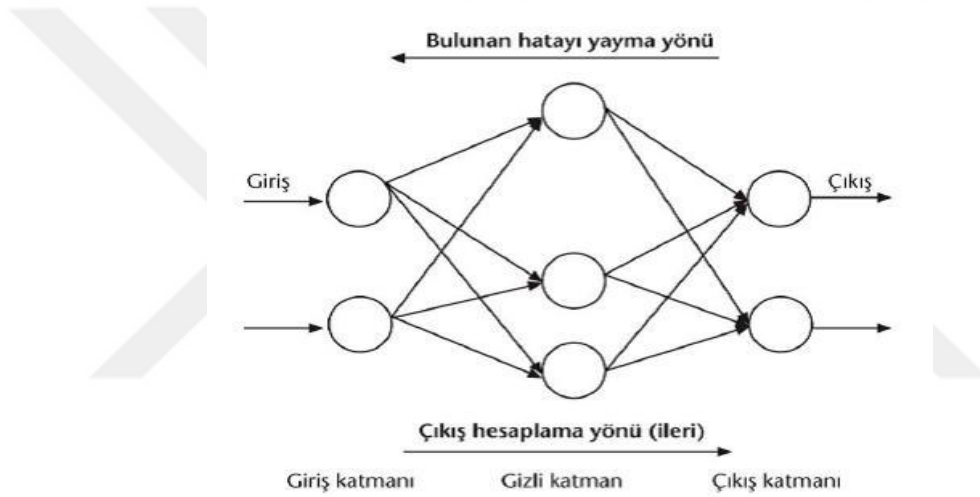
İleri beslemeli YSA, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar değerleri üzerinden giriş olarak verilir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı verileri değişikliğe uğratmadan gizli katmandaki nöronlara iletir. Veriler, gizli ve çıkış katmanında işlenerek çıkış üretilir. En çok bilinen algoritma olan geriye yayılım öğrenme algoritması, bu tip YSA eğitiminde etkin olarak kullanılmaktadır. YSA'ya hem örnekler hem de örneklerden elde edilmesi gereken çıktılar (beklenen çıktılar) verilmektedir. Ağ kendisine gösterilen örneklerden öğrenerek ve genellemeler yaparak çözüm üretmektedir.



Şekil 3.30. İleri beslemeli YSA modeli

3.6.8. Geri beslemeli ağılar

Geri beslemeli YSA'da, en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da diğer hücrelere giriş olarak verilir ve geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılır. Geri besleme, bir katmandaki hücreler arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki hücreler arasında da olabilir. Bu modelde ile geri beslemeli YSA, doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterir. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılış şekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli YSA yapıları elde edilebilir. Aşağıda bulunan Şekil 3.31'de üç katmanlı ve çıkışlarından giriş katmanına geri beslemeli bir YSA modeli görülmektedir (Kabalcı, 2014).



Şekil 3.31. Geri beslemeli YSA modeli

3.6.9. Yapay sinir ağlarında öğrenme

İnsanlar yaşadığı tecrübelerle davranışlarını değiştirir, şekillendirir ve belirler. Bir süre sonra olaylar karşısında nasıl tepki vereceğini tahmin edebiliriz. Ancak daha önce hiç yaşamadığı bir durum ile karşılaştığında tahmin edilemeyebilirler. YSA da insanlar gibi dış ortamdan girişler alınarak katmanlara iletilir ve aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir çıkış değeri verir.

Öğrenme algoritmaları gerçek çıkış değerine en yakın çıkışı elde etmede kullanılır. Öğrenme sürecinde ağırlık değerleri güncellenir. Ağırlık değerleri her iterasyonda güncellenerek en az hata miktarını bulmaya çalışır. En az hata miktarı bulunduğu sisteme ait ağırlık katsayıları sabitlenir ve kayıt altına alınır.

3.6.10. Denetimli öğrenme

Denetimli öğrenmede, dışarıdan gelen veriler için hangi çıkış değerinin verileceği YSA tarafından bilinmemekte fakat eğitici tarafından hangi veri için hangi çıkış değeri oluşması gerektiği sisteme verilir. Bir eğitmen yardımıyla hangi giriş değeri için hangi çıkış değerinin beklendiği sisteme verilmektedir.

YSA'da denetimli öğrenme yapılırken örnek girişler ve çıkışlar $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots (x_n, y_n)$ kullanılır. Her bir eğitim aşamasında YSA tarafından üretilen çıkış değeri beklenen çıkış değeri ile karşılaştırılarak hata miktarı belirlenir. Bu hata miktarına göre YSA parametreleri ve ağırlıkları güncellenir. Eğitim işlemi çıkışta istenilen sonucu elde edilesiye kadar devam eder. Denetimli öğrenme YSA'da kullanılan en yaygın öğrenme yöntemidir.

3.6.11. Denetimsiz öğrenme

Denetimsiz öğrenmede sistemin öğrenmesini sağlayacak bir eğitici yoktur. Denetimli öğrenmede olduğu gibi çıkış değerleri bulunmamaktadır. Sisteme sadece giriş değerleri verilmektedir. Bu yüzden hata bilgisi ile YSA'nın davranışı değiştirilemez. Ağ her bir giriş verisini kendi arasında sınıflandırarak kendi kurallarını oluşturur, bunun üzerinden bağlantı ağırlıklarını günceller. Bu yöntem daha çok kümeleme problemlerinde kullanılır. Sistemin öğrenmesi bittikten sonra anlamlarının ne olduğunu göstermesi için çıkış değerleri etiketlenmesi gerekmektedir (Şalvarcı, 2017).

3.6.12. Destekleyici öğrenme

Destekleyici öğrenme denetimli öğrenmeye yakın bir yöntemdir. Burada bir eğitici yardımcı olur. Fakat bu öğrenme çeşidinde, denetleyici sisteme her giriş değeri için çıkış değeri verilmez. Bunun yerine kendisine gösterilen girişlere karşılık sistemin çıkış değeri üretmesi beklenir. Bu öğrenme çeşidinde eğitici tarafından sisteme her iterasyonda elde edilen çıkış değerinin iyi veya kötü olup olmadığı bilgisi verilir. Sistem denetleyiciden bu bilgiyi alarak yeniden düzenlemelere giderek öğrenme sürecine devam eder. Bu öğrenme çeşidinde deneme-yanılma esası kullanılmaktadır (Şalvarcı, 2017).

3.6.13. Çok katmanlı ağlarda öğrenme kuralı

ÇKA'da öğrenme kuralı en küçük kareler yöntemine dayalı geliştirilmiş delta kuralı olarak isimlendirilir. İleri beslemeli geri yayımlı ağlarda (Feed Forward Backprop) geliştirilmiş delta kuralı kullanılır (Öztemel, 2012). Geliştirilmiş delta kuralı iki aşamadan oluşur.

1. Aşama ileri doğru hesaplama (Feed Forward): Ağa girişler verilerek çıkışlarının hesaplandığı aşamadır.
2. Aşama geriye doğru hesaplama (Back Propagation): Ağırlıklarının güncellenmesi aşamasıdır.

3.6.14. İleri doğru hesaplama

Bu aşamada veri seti girişlere ($G_1, G_2, \dots$) verilir ve herhangi işlem görmeden gizli katmana iletilir. Giriş elemanının k . işlem çıktısının gösterimi Denklem 3.16'da ifade edilmektedir (Öztemel, 2012).

$$G_k = \zeta_k^i \quad (3.16)$$

Gizli katmandaki her işlem elemanı giriş katmanındaki bütün işlem elemanlarından gelen bilgileri bağlantı ağırlıklarının ($A_1, A_2, \dots$) çarpım işlemi ile alınır. Gizli katmandaki işlem elemanlarına gelen net girdi Denklem 3.17 kullanarak hesaplanır (Öztemel, 2012).

$$NET_j^a = \sum_{k=1}^n A_{kj} \zeta_k^i \quad (3.17)$$

Burada A_{kj} k . Giriş katmanı elemanı j . gizli katman elemanına bağlayan bağlantının ağırlık değerini ifade etmektedir ve j . gizli katman elemanın çıkışı ise bu net girdinin aktivasyon fonksiyonuna iletilmesiyle hesaplanır. Örnek olarak sigmoid aktivasyon fonksiyonu seçilirse, çıkış değeri aktivasyon fonksiyonu sonucu Denklem 3.18 ile hesaplanır (Öztemel, 2012).

$$\zeta_j^a = \frac{1}{1 + e^{-(NET_j^a + \beta_j^a)}} \quad (3.18)$$

Burada β_j , gizli katmanda bulunan j. elemana bağlanan eşik değer elemanının ağırlığını göstermektedir. Bu eşik değer ünitesinin çıktısı sabit olup 1'e eşittir. Eğitim sırasında ağ bu değeri kendisi belirlemektedir (Öztemel, 2012).

Gizli katmanın bütün işlem elemanları ve çıkış katmanın işlem elemanlarının çıktıları aynı şekilde kendilerine gelen NET girdinin hesaplanması ve sigmoid aktivasyon fonksiyonundan geçilmesi ile sonuçlanır. Çıkış katmanındaki değerler ($\zeta_1, \zeta_2, \dots$) bulunduğu ağın ileri hesaplama işleme son bulur (Öztemel, 2012).

3.6.15. Geriye doğru hesaplama

Ağa verilen giriş değerleri, ağın ürettiği çıkış değerleri ağın beklenen çıktıları ile karşılaştırılır. Giriş ve çıkış değerlerinin arasındaki fark hata değeridir. Amaç bu hatanın en düşük olmasıdır. Hata değeri, ağın ağırlık değerlerine dağıtılarak bir sonraki iterasyonda hatanın azaltılması sağlanır. Hata değeri Denklem 3.19 ile hesaplanır (Öztemel, 2012).

$$E_m = B_m - \zeta_m \quad (3.19)$$

Burada çıkış katmanındaki m. işlem elemanı için oluşan E_m oluşan hatayı ifade etmektedir.

Yukarıdaki hata, bir işlem elemanı için oluşan hata değeridir. Çıktı katmanı için oluşan hatayı bulmak için hataların toplanması gerekir. Oluşan hata değerlerinin hepsi pozitif olmayabilir, hata değerinin toplamı sıfır olmaması için bulunan hata değerlerinin kareleri alınır. Daha sonra kara kökleri alınarak toplam hata bulunur. Toplam hata Denklem 3.20 ile hesaplanır (Öztemel, 2012).

$$TH = \sqrt{\sum E_m^2} \quad (3.20)$$

Toplam hatayı en azaltmak için bu hatanın kendisine neden olan işlem elemanlarına dağıtılması gerekmektedir. Bu aşamada ilk önce gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıkların güncellenmesi işlemi yapılır.

Gizli katmandaki j . işlem elemanı çıkış katmanındaki m . işlem elemanına bağlayan bağlantının ağırlığındaki değişim miktarına ΔA^a ise herhangi bir t zamanındaki ağırlığın değişim miktarı Denklem 3.21 gibi hesaplanır (Öztemel, 2012).

$$\Delta A_{jm}^a(t) = \lambda \delta_m \zeta_j^a + \alpha \Delta A_{jm}^a(t-1) \quad (3.21)$$

Burada λ öğrenme katsayısını, α momentum katsayısını göstermektedir. Öğrenme katsayısını ağırlıkların değişim miktarını, momentum katsayısı ise ÇKA öğrenme sırasında yerel optimum noktaya takılıp kalmaması için ağırlık değişim değerinin belirli oranda bir sonraki değişime eklenmesini sağlarlar (Öztemel, 2012). δ_m m . çıkış hatasını göstermektedir ve Denklem 3.22 ile hesaplanır (Öztemel, 2012).

$$\delta_m = f'(NET) E_m \quad (3.22)$$

Burada $f'(NET)$ aktivasyon fonksiyonunun türevidir. Örnek olarak Sigmoid fonksiyonu kullanılması durumunda değişim miktarı Denklem 3.23 ile gösterilmektedir (Öztemel, 2012).

$$\delta_m = \zeta_m(1 - \zeta_m) E_m \quad (3.23)$$

Değişim miktarı hesaplandıktan sonra ağırlıkların t . iterasyondaki yeni değerleri Denklem 3.24'de gösterilmektedir (Öztemel, 2012).

$$A_{jm}^a(t) = A_{jm}^a(t-1) + \Delta A_{jm}^a(t) \quad (3.24)$$

Denklem 3.24 gibi göre eşik değer ünitesinin de ağırlıklarını güncellemek gerekmektedir. Onun için öncelikle değişim miktarını hesaplamak gerekir. Eğer çıktı katmanında bulunan işlem elemanlarının eşik değer ağırlıkları β^c ile ifade edilirse; bu ünitenin çıktısının sabit ve 1 olması nedeni ile değişim miktarı Denklem 3.25 ile hesaplanır (Öztemel, 2012).

$$\Delta \beta_m^c(t) = \lambda \delta_m + \alpha \Delta \beta_m^c(t-1) \quad (3.25)$$

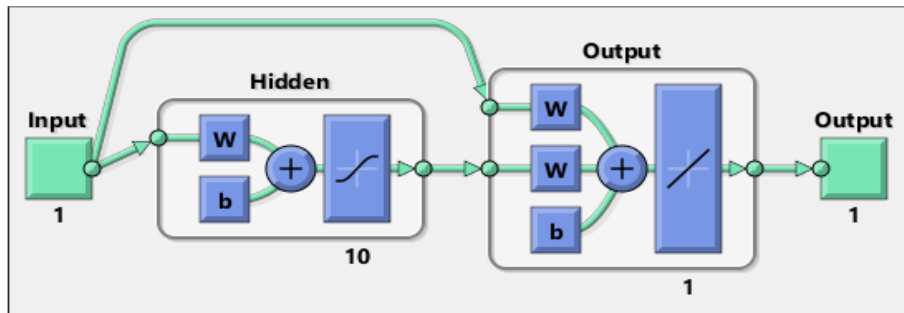
Eşik değerin t . iterasyondaki ağırlığının yeni değeri ise Denklem 3.26 ile hesaplanır (Öztemel, 2012).

$$\beta_m^c(t) = \beta_m^c(t-1) + \Delta\beta_m^c(t) \quad (3.26)$$

Böylece ağırlıkların tüm ağırlıkları güncellenir. Bir iterasyonda hem ileri hem de geri hesaplamalar yapılarak tamamlanır. Daha sonra ikinci iterasyon başlar ve öğrenme işlemi tamamlanmasıyla kadar bu şekilde devam eder (Öztemel, 2012).

3.6.16. Kaskat bağlı ileri beslemeli geri yayımlı ağlar

Kaskat ağ modelleri ileri beslemeli ağlara benzer, ancak girişten her bir katmana ve her katmandan birbirini izleyen katmanlara ağırlık bağlantısı vardır. İki katmanlı ileri beslemeli ağlar potansiyel olarak neredeyse tüm giriş çıkış ilişkilerini öğrenebilirken, daha fazla katmana sahip ileri beslemeli ağlar karmaşık ilişkileri daha hızlı öğrenebilir (Goyal ve Goyal, 2011). Kaskat ağları basamaklı iletim ağları oluşturur. Örneğin, üç katmanlı bir ağın katman 1'den katman 2'ye, katman 2'den katman 3'e ve katman 1'den katman 3'e bağlantıları vardır. Üç katmanlı ağ ayrıca girişten üç katmanın tümüne bağlantıları vardır. Kullanılan ek bağlantılar ağın istenen ilişkiyi öğrenme hızını artırabilir (Goyal ve Goyal, 2011). Kaskat ağları, ağırlıkların güncellenmesi için ileri beslemeli geri yayılım sinir ağına benzer ve farklı olarak önceki tüm nöron katmanıyla ilişkili olmasıdır (Goyal ve Goyal, 2011). Böylece daha fazla katmana sahip ileri beslemeli ağlar çok yönlü ilişkileri öğrenebilir (Goyal ve Goyal, 2011). Şekil 3.32'de kaskat ileri beslemeli geri yayımlı ağların yapısı gösterilmiştir.

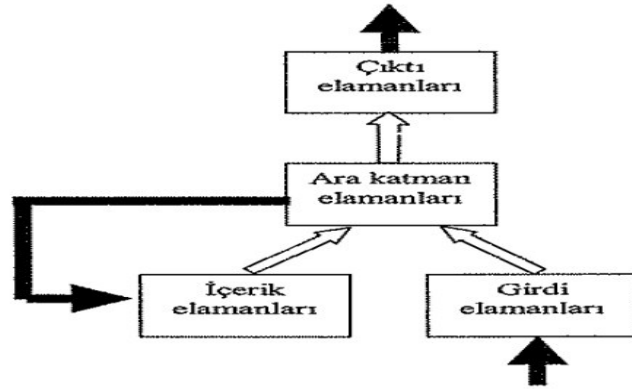


Şekil 3.32. Kaskat ileri beslemeli geri yayımlı ağlar

3.6.17. Elman geri beslemeli ağılar

Elman ağı ÇKA benzer şekilde YSA öğrenme kuralları uygulanmaktadır. Elman ağı dört aşamadan oluşur. Bunlar giriş katmanı, gizli katman, çıkış katmanı ve içerik katmanıdır. Elman ağısının yapısı Şekil 3.33’de gösterilmiştir (Öztemel, 2012). Elman ağının ÇKA’dan farklı olarak içerik katmana sahiptir. İçerik katmanı gizli katman elemanlarının önceki aktive değerlerini hatırlatmak için kullanılır (Öztemel, 2012). Elman ağındaki, herhangi bir t zamanında hem t zamanındaki girdi değerleri hem de gizli katmanlarının $t-1$ zamandaki aktive değerleri ağı giriş olarak verilmektedir. Ağı girişleri belirlendikten sonra ileri beslemeli ÇKA’a dönüşmektedir.

Bu ağılar zamana bağlı olayları kullanabilme ve önceki zamanlardan elde edilen sonuçları bir sonraki zamana taşıyabilme yeteneğine sahip olması en önemli özelliğidir (Öztemel, 2012).



Şekil 3.33. Elman geri beslemeli ağılar

3.7. Görüntü İşleme Yöntemi

Görüntü işleme günümüzde bilgisayar bilimlerinin en önemli alanlarından biri olmuştur. Teknolojinin ilerlemesiyle güçlenen bilgisayar donanımları ve yazılımları görüntü ile ilgili yapılan çalışmaları kolaylaştırmış, bu konularla ilgili çalışmaları arttırmıştır. Görüntü işleme yöntemi tıp, güvenlik, üretim, bilim, mühendislik alanlarında yenilikler ve kolaylıklar sağlamaktadır.

Görüntü işleme dijital ortama aktarılmış görseller üzerinden ilgili ihtiyaca göre faydalı bilgiler elde etmek için farklı tekniklerle uygulanan bir yöntemdir. Görüntü

işleme sistemlerinin tasarımı ve analizinde işlem görecektir görüntü matematiksel olarak ifade edilirler.

3.7.1. MATLAB ile görüntü işleme uygulamaları

MATLAB'ın görüntü işlemeye yönelik fonksiyonları ve gereçleri mevcuttur. Bu gereçler sayesinde MATLAB görüntü işleme uygulamaları geliştirilmesinde en çok tercih edilen uygulamalardan birisidir. MATLAB hazır fonksiyonlar ve programlama yoluyla birçok alandaki yoğun matematiksel işlemlerin ve algoritmaların gerçekleştirilmesini sağlayan bir matematiksel çözüm ortamıdır (Demir, 2006). MATLAB ile matematiksel hesaplamalar, algoritma geliştirme, modelleme ve benzetim, veri elde etme, veri analizi, bilimsel grafikleme ve uygulama geliştirme gibi birçok işlem yapabilmek mümkündür (Demir, 2006). MATLAB geliştirme ortamının sağladığı özellikler kullanılarak görüntü işlemeye yönelik birçok uygulama gerçekleştirilebilir.

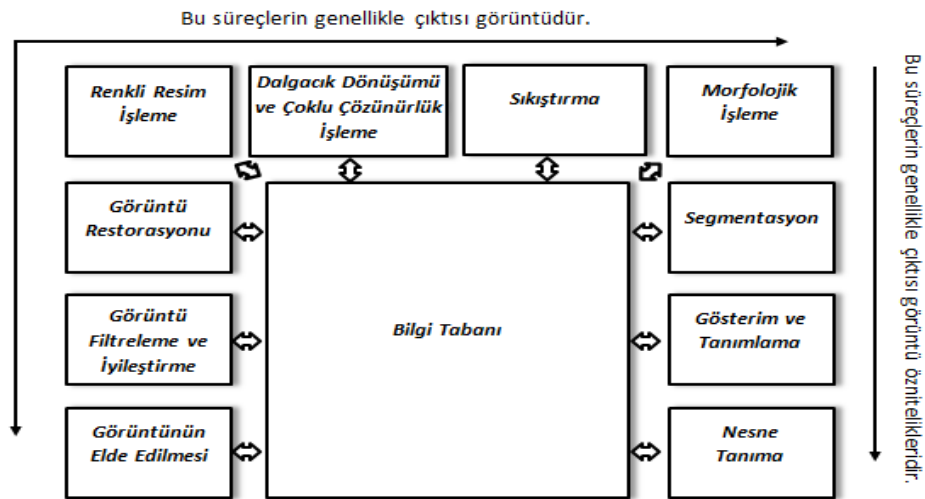
MATLAB görüntü işleme fonksiyonları işlevlerine göre şu şekilde kullanılabilir (Demir, 2006);

- Görüntü yükleme fonksiyonları: Görüntü dosyalarını MATLAB ortamına aktarılmasını sağlarlar.
- Görüntü fonksiyonları: Görüntü matrislerini ekranda resim olarak görüntülenmesini sağlarlar.
- Görüntü yazma fonksiyonları: Görüntü matrisini dosya olarak kaydedilmesini sağlarlar.
- Görüntü düzenleme ve iyileştirme fonksiyonları: Görüntüleri iyileştirmeyi sağlarlar.
- Görüntü dönüşüm fonksiyonları: Görüntü türlerini birbirine dönüştürülmesini sağlarlar.
- Görüntü analizi ve istatistik fonksiyonları: Görüntü analizi gerçekleştirilmesini ve istatistik değerler çıkarılmasını sağlarlar.
- Görüntü aritmetiği fonksiyonları: Görüntüler için aritmetiksel işlemler yapılmasını sağlarlar.
- Doğrusal filtreleme ve dönüşüm fonksiyonları: Doğrusal filtre oluşturma ve uygulamak için kullanılırlar.

- Biçimsel işlem fonksiyonları: Görüntü türüne göre biçimsel işlemler yapılmasını sağlarlar.
- Blok işlem fonksiyonları: Görüntünün bir bölümü için işlem yapılmasını sağlarlar.
- Renk haritası fonksiyonları: Renk haritaları ile ilgili işlemleri gerçekleştirmeyi sağlarlar.

3.7.2. Görüntü işleme süreçleri

Görüntü işleme süreci üç aşamadan oluşur. Görüntünün girişi, görüntünün işlenmesi ve görüntünün çıkışı aşamalarından oluşmaktadır. Burada görüntü işleme sonucunda elde edilecek çıktı, görüntü olabileceği gibi görüntünün öz nitelikleri de olabilir. Şekil 3.34’de temel olarak kullanılan görüntü işleme adımları gösterilmektedir (Şalvarcı, 2017). Şekilde gösterilen adımların hepsinin uygulanmasına gerek yoktur. İhtiyaç duyulan probleme göre gerekli adımlar uygulanabilir (Gonzalez ve ark., 2008).



Şekil 3.34. Görüntü işleme adımları

Bu tez çalışmasında MATLAB’da uygulanan görüntü işlemede hedeflenen amaç ve ihtiyaç duyulan adımlar sonraki başlıklarda verilmiştir.

3.7.3. Görüntü okuma

MATLAB ile bir görüntü dosyası matris olarak alınır. Bu matris üzerinde yapılan işlemler resim olarak görüntülenebilir. Bir görüntünün temel bileşeni piksel-resim elemanıdır. Piksel; sürekli zamanda temsil edilen bir resmin uygun örnekleme frekansı ile sayısallaştırılmasıdır. Piksel fonksiyonu resmin iki boyutlu olmasından dolayı x,y cinsinden ifade edilir. Dolayısı ile görüntü a x b boyutlu piksellerden oluşan bir matristen meydana gelir.

Sayısal görüntüde, her piksele yerleştirilen sayı, o noktadaki parlaklığı göstermektedir. Her piksel için görüntünün parlaklığı sayısal olarak değerlendirilir. Her piksel o noktadaki parlaklık ya da karanlık ifade eder. Bu işlem tüm pikseller için gerçekleştirildiğinde görüntü dörtgen matris bir şekilde gösterilmiş olur. Her piksel, satır ve sütun numarasıyla grilik seviyesi denen tam sayı değerine sahiptir. Bu tam sayı değerleri bilgisayarda işlenmek için uygun bir hale gelir (Çankaya, 2013).

3.7.4. Görüntü normalleştirme

Görüntünün işlemeye tabi tutmadan önceki yapılan süreçlerdir. Elde edilen görüntülerin boyutları büyük ve gereksiz kısımlarıyla görüntü işleme yapılırsa YSA'da öğrenme ve test aşamalarının uzun zaman alması neden olur. Ayrıca büyük boyutlar kullanılması işlem sürecini arttırmakta ve performansı düşürmektedir. Görüntü üzerinde boyutlandırma işlemi resmi eksenler boyunca büyütme, küçültme ve kesmektir. Boyutlandırma büyütme yönündeyse görüntü de bozulmalar meydana gelebilir. Bunun nedeni büyütme işleminde piksellerin kendi boyutları verilen yatay ve dikey oranlarla büyütüleceğinden pikseller tek tek seçilebilecek hale gelir. Bu işlemin tersi yani küçültme işlemi büyük resimler için kullanılabilir. Bu çalışmada görüntülerin çalışma alanı dışındaki kısımları kesilerek uygun görüntüler elde edilmiştir.

3.7.5. Görüntü eşikleme

Görüntü işlemede kullanılan temel tekniklerden birisidir. Sayısal bir görüntünün eşikleme işlemindeki amaç, görüntünün özelliklerini belirlemede kolaylık sağlamaktır. Değişik gri ton seviyelerine sahip bir resmi binary hale yani siyah ve beyaz renkte göstermek üzere görüntü iki renkle ifade edilebilir formata getirilir. Görüntüyü eşikleme

işlemine tabi tutmadan önce bir eşik değeri belirlenir. Eşik değerinden daha yüksek gri seviye değerine sahip olan piksellere 1 değeri daha küçük değerlere sahip olan piksellere ise 0 değeri belirlenerek, görüntü daha basit bir biçime siyah ve beyaza dönüştürülmüş olur (Çelik, 2014).

3.7.6. Gri seviyeli sayısal görüntü

Renkli görüntüler gri seviyeli görüntülere dönüştürülür ve görüntü farklı gri seviye değerlerinden oluşur. Gri değer aralıkları: $G=0,1,2,...,255$ şeklinde ifade edilir. Bilgisayarda en düşük veri depolaması byte olarak ifade edilir ve bir byte 8 bittir. Bir karakter 8 bit olarak temsil edilir (1 Byte=8 Bit ve 28 Byte=256 Bit). Bir gri seviyeli görüntüde 256 tane farklı gri ton değeri bulunabilir. 0 gri değeri siyah renge, 255 gri değeri ise beyaza denk gelir. Bu değerler arasında ise gri renk seviyeleri oluşur (Çankaya, 2013).

3.7.7. Double sayısal görüntü

Gri seviyeli görüntü elde edildikten sonra görüntü 0-255 arasında değerlerden oluşur. Bu sayısal değerleri 0-1 arasında ölçeklendirmek için double veri tipine dönüştürülür. Double tipinde görüntüde 0 değeri siyah renge, 1 değeri ise beyaz renge karşılık gelir. Bu değerler arasında ise gri renk seviyeleri oluşur.

3.7.8. Özellik çıkarma

Görüntüler görüntü işleme yöntemi kullanılarak sayısallaştırıldığında, büyük boyutta bir matris formu elde edilir. Bu boyuttaki bir matrisin eğitme aşamalarında işlem süresi olağandan uzun ve doğruluk derecesi de oldukça azdır. Bu sebeple bir takım istatistiksel yöntemler uygulanarak matris boyutu küçültülür işlem süresi ve hata oranı düşürülür. Özellik çıkarma işleminde kullanılan bazı istatistiksel yaklaşımlar vardır.

Gri seviye eş oluşum matrisleri (GLCM) ile her görüntü için farklı istatistiksel özellikler elde edebilir. Bunlar ortalama, varyans, entropi, farklılık, kontrast, ters fark momenti, kolerasyon, enerji, küme gölgesi, küme önemi, toplam entropi, toplam ortalama, fark entropi, toplam varyans, homojenlik, maksimum olasılık, oto kolerasyon

ve ters fark normalizasyonu değerleridir. Gri seviye eş oluşum matrisleri belli bir yönde ve aralarında belli bir uzaklık bulunan bir çift gri seviyeli pikselin birbirlerine göre oluşma sıklıklarının ifade eden matrislerdir. Her bir görüntü için 1x20 boyutunda görüntünün istatistiksel özellikleri çıkarılabilir.

Gri seviye eş oluşum matrisi Denklem 3.27 ile hesaplanır (Kekre ve ark., 2010).

$$P(i, j) = \frac{v_{i,j}}{\sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} v_{i,j}} \quad (3.27)$$

Burada i satır sayısını, j sütun sayısını, G görüntüde kullanılan gri düzeylerin sayısını ve V (i, j) her bir matris elemanını ifade etmektedir.

Gri seviye eş oluşum matrislerinden çıkarılan özellikler, ortalama değerleri Denklem 3.28 ve Denklem 3.29'da, varyans değerleri Denklem 3.30 ve Denklem 3.31'de, entropi değeri Denklem 3.32'de, farklılık değeri Denklem 3.33'de, kontrast değeri Denklem 3.34'de, ters fark moment değeri Denklem 3.35'de, kolerasyon değeri Denklem 3.36'da, enerji değeri Denklem 3.37'de, küme gölgesi değeri Denklem 3.38'de, küme önemi değeri Denklem 3.39'da, toplam entropi değeri Denklem 3.40'da, toplam ortalama değeri Denklem 3.41'de, fark entropi değeri Denklem 3.42'de, toplam varyans değeri Denklem 3.43'de, homejenlik değeri Denklem 3.44'de, maksimum olasılık değeri Denklem 3.45'de, oto kolerasyon değeri Denklem 3.46'da ve ters fark normalizasyonu Denklem 3.47'de verilmiştir. (Kekre ve ark., 2010; Milosevic ve ark., 2014):

$$\mu_i = \sum_{i,j=0}^{G-1} i P(i, j) \quad (3.28)$$

$$\mu_j = \sum_{i,j=0}^{G-1} j P(i, j) \quad (3.29)$$

$$\sigma_i = \sum_{i,j=0}^{G-1} (i - \mu_i) P(i, j) \quad (3.30)$$

$$\sigma_j = \sum_{i,j=0}^{G-1} (j - \mu_j) P(i, j) \quad (3.31)$$

$$E = - \sum_{i,j=0}^{G-1} P(i, j) \log(P(i, j)) \quad (3.32)$$

$$F = \sum_{i,j=0}^{G-1} |i - j| P(i, j) \quad (3.33)$$

$$K = \sum_{i,j=0}^{G-1} (i - j)^2 P(i, j) \quad (3.34)$$

$$TFM = \sum_{i,j=0}^{G-1} \frac{P(i, j)}{1 + (i - j)^2} \quad (3.35)$$

$$KO = \sum_{i,j=0}^{G-1} \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j) P(i, j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad (3.36)$$

$$EN = \sum_{i,j=0}^{G-1} P(i,j)^2 \quad (3.37)$$

$$KG = \sum_{i,j=0}^{G-1} (i+j-\mu i-\mu j)^3 P(i,j) \quad (3.38)$$

$$K\ddot{O} = \sum_{i,j=0}^{G-1} (i+j-\mu i-\mu j)^4 P(i,j) \quad (3.39)$$

$$TE = -\sum_{i=0}^{2G-1} P_{x+y}(i) \log(P_{x+y}(i)) \quad (3.40)$$

$$TO = \sum_{i=0}^{2G-1} i P_{x+y}(i) \quad (3.41)$$

$$FE = -\sum_{i=0}^{G-1} P_{x+y}(i) \log(P_{x+y}(i)) \quad (3.42)$$

$$TV = -\sum_{i=0}^{2G-2} (i-TE) P_{x+y}(i) \quad (3.43)$$

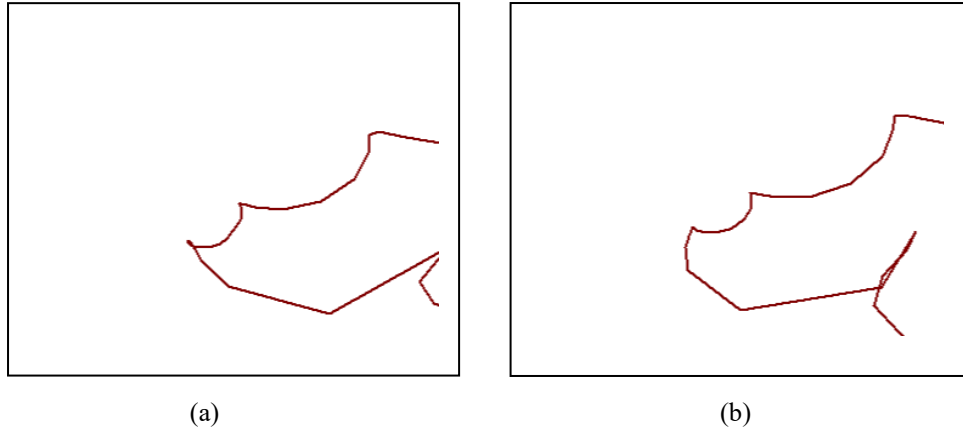
$$H = \sum_{i,j=0}^{G-1} \frac{1}{1+(i-j)^2} P(i,j) \quad (3.44)$$

$$MO = \text{Max} P_{x+y}(i,j) \quad (3.45)$$

$$OK = \sum_{i,j=0}^{G-1} (i,j) P(i,j) \quad (3.46)$$

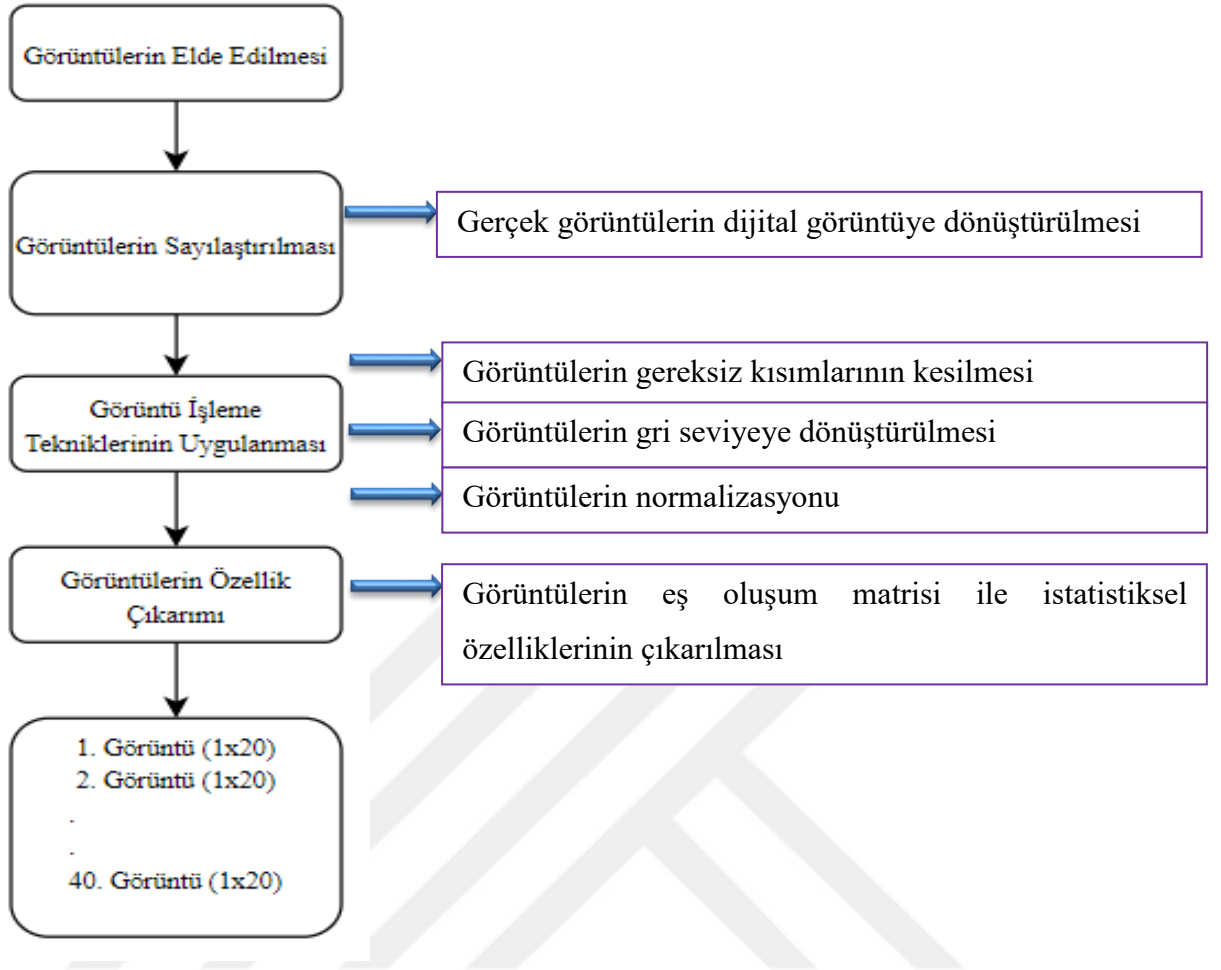
$$TFN = \sum_{i,j=0}^{G-1} \frac{P(i,j)}{1+(i-j)N_g^2} \quad (3.47)$$

Bu çalışmada PSCADTM / EMTDCTM benzetim programında oluşturulan iletim hattı modelinden kısa devre anında elde edilen mesafe koruma rölesi R-X empedans diyagramı örnek görüntüleri Şekil 3.35’de gösterilmektedir.



Şekil 3.35. Farklı mesafelerde oluşturulan kısa devre arızalarının görüntüleri (a) 20. Km oluşan kısa devre arızası görüntüsü (b) 50. Km oluşan kısa devre arızası görüntüsü

Elde edilen görüntüler görüntü işleme yöntemleriyle eğitim veri seti oluşturulmuştur. Uygulanan görüntü işleme adımları akış diyagramında Şekil 3.36’da gösterilmiştir.



Şekil 3.36. Uygulanan görüntü işleme adımları

3.8. Normalizasyon

Normalizasyon, veri setindeki her bir verinin kullanılan aktivasyon fonksiyonunun alt ve üst sınırları arasına sıkıştırılmasıdır (Öztemel, 2012). Bu normalizasyon işlemi sayesinde YSA eğitimi için kullanılan veriler birbirlerinden farklı sayısal değerler olmasına rağmen normalizasyon sonucu daha verimli hale getirilmiş olur. Normalizasyon işlemi kullanmak için literatürde Min-Max, Medyan, Sigmoid, D-Min-Max ve Z-Score gibi birçok kural vardır (Yavuz ve Deveci, 2012), (Jayalakshmi ve Santhakumaran, 2011).

Literatürde yapılan normalizasyon çalışmaları ile ilgili değerlendirmeler incelendiğinde D-Min-Max normalizasyon yönteminin uygun olduğu belirlenmiştir. D-Min-Max normalizasyon yöntemi için Denklem 3.44 kullanılır. (Yavuz ve Deveci, 2012).

$$X' = 0.8 * \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} + 0.1 \quad (3.44)$$

Bu eşitlikte, X' normalize edilmiş veriyi, X_i giriş değerini, X_{min} giriş seti içinde yer alan en küçük sayıyı ve X_{max} giriş veri seti içinde yer alan en büyük sayıyı göstermektedir.

3.9. Performans Değerlendirilmesi

Tahmin etme yönteminde iki önemli adım bulunmaktadır; birincisi veriyi tahmin etmek için hazırlama aşamasıdır. İkincisi ise farklı tahmin edici modellerle karşılaştırılma aşamasıdır. Modelleri karşılaştırma ölçütleri olarak doğruluk, hız, sağlamlık, ölçeklenebilirlik ve yorumlanabilirlik gibi ölçütler dikkate alınır. YSA ve makine öğrenmesi yöntemlerinin performans değerlendirmelerinde literatürde kullanılan temel performans ölçütleri vardır. Bunlar ortalama kare hatası (MSE), ortalama mutlak hata (MAE), kök ortalama karesel hata (RMSE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE)'dir.

Bu çalışmada RMSE ve yüzde hata değeri kullanılmıştır. RMSE değeri her zaman pozitif bir değerdir ve sıfıra yakın en küçük değer en iyi değerdir. Denklem 3.45 ve Denklem 3.46'da sırasıyla yüzde hata değeri, RMSE hesaplamaları yer almaktadır. RMSE ve yüzde hata değeri ne kadar küçük olursa hata oranı da o kadar azaldığını göstermektedir (Karasu ve ark., 2018).

$$\%Hata = \frac{Gerçek\ arıza\ yeri - Hesaplanan\ arıza\ yeri}{Hattın\ toplam\ uzunluğu} * 100 \quad (3.45)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (3.46)$$

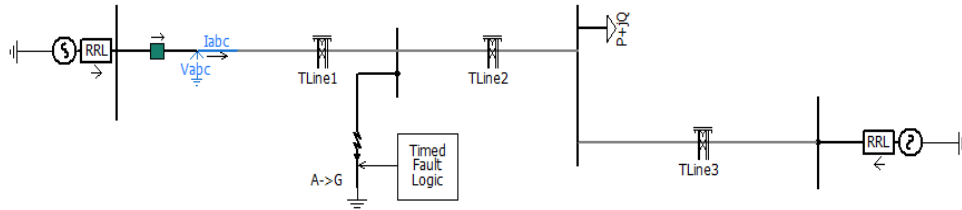
Bu eşitlikte, x_i Gerçek arıza yerini ve y_i de tahmin edilen arıza yerini ifade etmektedir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Yüksek Empedanslı Arızaların Benzetimi ve Test Sonuçları

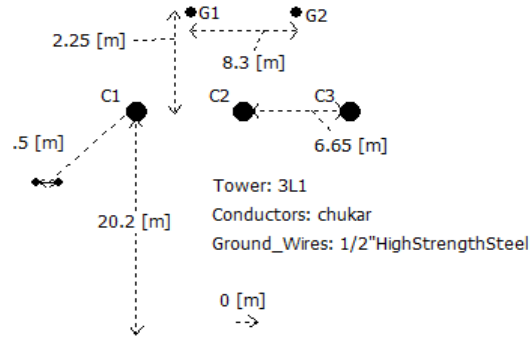
Havai iletim hatları PSCAD TM / EMTDC TM benzetim programında modellenerek mesafe koruma rölesinin YEA'ların çalışması incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda mesafe koruma rölesi arızayı ve arızanın yerini hatalı tespit etmektedir. YEA'ları tespit etmek için mesafe koruma rölesinden elde ettiğimiz R-X empedans diyagramı görüntülerine görüntü işleme teknikleri ve YSA kullanılarak akıllı sistem tabanlı yeni yaklaşım önerilmektedir (Budak ve Akbal, 2019).

PSCAD TM / EMTDC TM benzetim programında modellenen 154 kV, 50 Hz, 200 km havai iletim hattı tek hat şeması Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Sistemde akım ve gerilim transformatörleri, kesici ve mesafe koruma rölesi kullanarak farklı empedans arızalarında mesafe koruma rölesinin çalışması incelenmiştir (Budak ve Akbal, 2019).



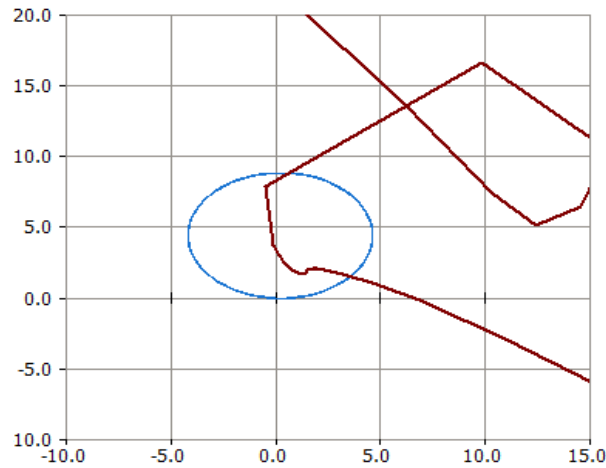
Şekil 4.1. İletim hattı modeli

Havai iletim hatlarının benzetimi yapılırken yüksek gerilim iletim hatlarında kullanılan 154 kV tek devre enerji iletim hattı direklerinden 1272 MCM kesitli 'PB' direk tipi ana hat ölçüleri kullanılarak modellenmiştir. Şekil 4.2'de tasarlanan model verilmiştir.

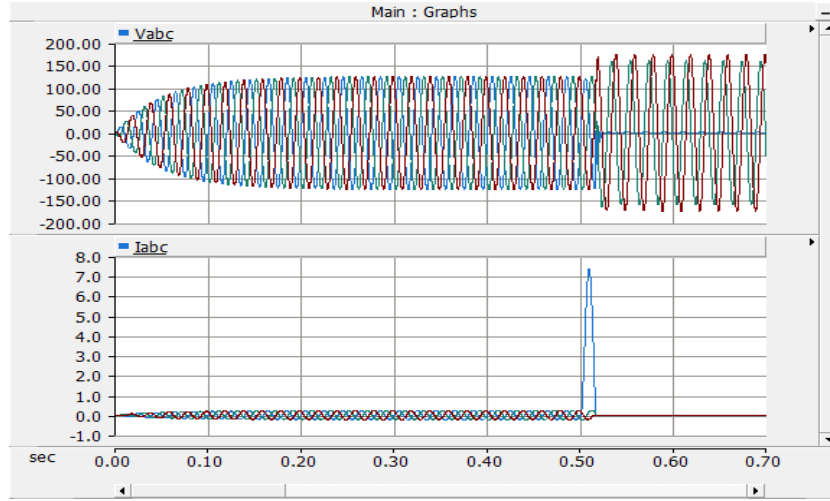


Şekil 4.2. 1272 MCM tek devre iletim hattı

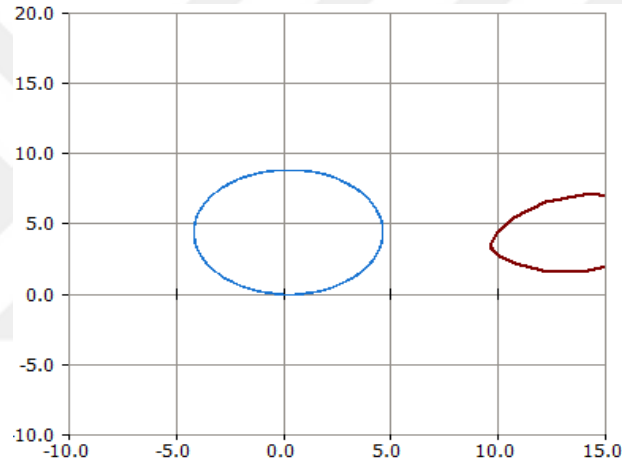
Normal kısa devre arızalarında empedans tabanlı mesafe koruma rölesi empedansı hesaplayarak, koruma bölgesi olarak ayarlanan R-X empedans diyagramına göre kesiciye açma sinyali gönderir ve arızanın yerini tespit eder. Yüksek empedans arıza hatası olması durumunda empedans röleleri hatayı tespit edemez ve bu tespitin başarısız olması ciddi sorunlara yol açar. Şekil 4.3’de düşük empedanslı arızanın koruma bölgesine giren arızanın tespiti yapılır ve Şekil 4.4’de kısa devre anında oluşan gerilim-akım grafiğinde görüldüğü gibi mesafe koruma rölesi kesiciye açma sinyali göndererek arızanın temizlenmesini sağlamaktadır (Budak ve Akbal, 2019). Şekil 4.5’de ise yüksek empedanslı arızanın koruma bölgesine girmediği ve Şekil 4.6’da kısa devre anında oluşan gerilim-akım grafiğinde kesicinin çalışmadığı ve kısa devre gerçekleşen hatta akım dalgalanması olduğu görülmektedir (Budak ve Akbal, 2019).



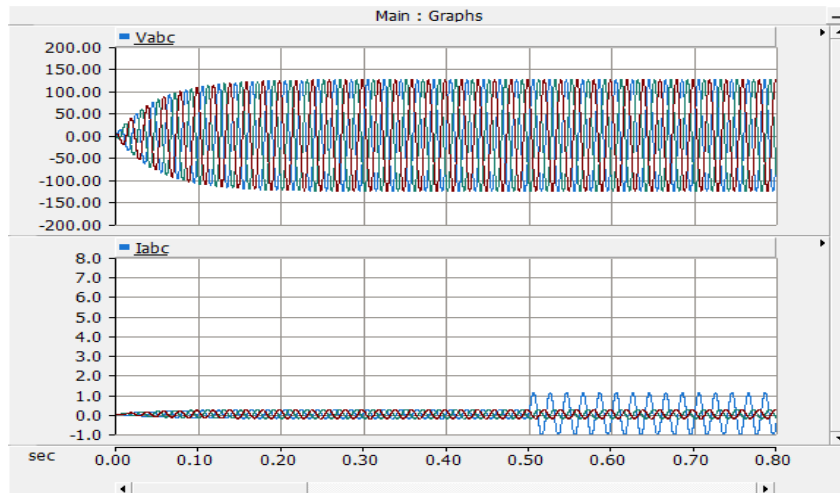
Şekil 4.3. Düşük empedanslı kısa devre arızası anında empedans diyagramı



Şekil 4.4. Düşük empedanslı kısa devre arızası anında gerilim-akım grafiği



Şekil 4.5. Yüksek empedanslı kısa devre arızası anında empedans diyagramı



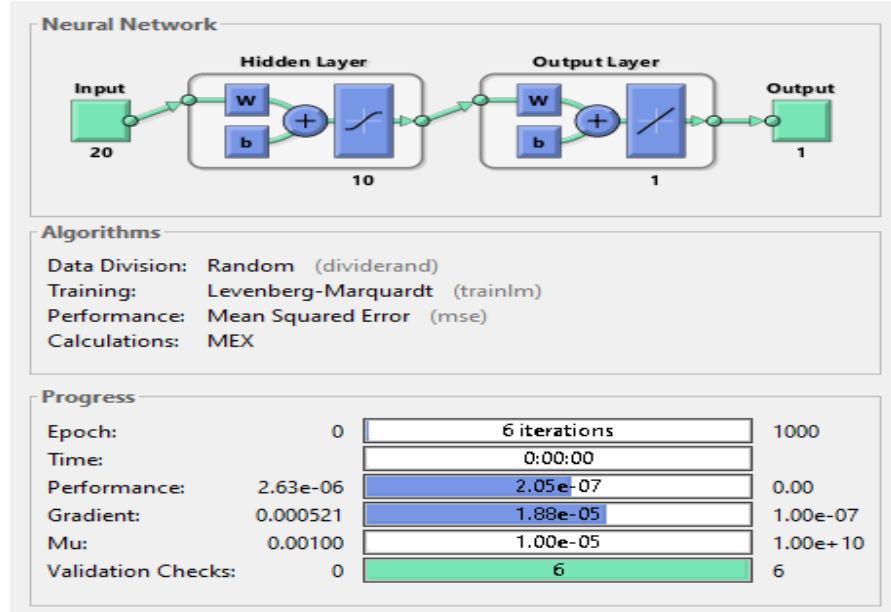
Şekil 4.6. Yüksek empedanslı kısa devre arızası anında gerilim-akım grafiği

Mesafe koruma röleleri empedans tabanlı koruma yaptıklarından dolayı yüksek empedanslı arızalarda gerçekleşen empedans ölçümü farklı çıkmaktadır. Bu yüzden koruma bölgesine girmeyen arızalarda arıza ve arıza yeri tespiti doğru yapılamamaktadır. Benzetim programında oluşturulan farklı empedansta arızalar mesafe koruma rölesinin çalışmasını ciddi oranda etkilediği görülmektedir (Budak ve Akbal, 2019). Enerji iletim hatlarında yüksek empedanslı arızalar genellikle faz-toprak kısa devre arızalarında meydana gelir. Üç farklı faz-toprak kısa devre arızası (faz a-toprak, faz b-toprak ve faz c-toprak) olabilir. Bu üç arıza tipi birbirine aynı özellikler gösterdiğinden dolayı çalışmalarda bir tanesi kullanılabilir. PSCAD™ / EMTDC™ kullanılarak benzetimi yapılan havai enerji iletim hattının 5,10,15, ... 200 km'lerinde 40 adet faz a-toprak arızaları oluşturulmuştur. Bu km'lerin her birinde 1, 10, 25 ve 75 ohm arıza dirençleri kullanılarak arıza benzetimi yapılmıştır. Bu çalışmada farklı arıza empedanslarında oluşan R-X empedans diyagramından alınan görüntüler görüntü işleme adımları uygulanarak veri seti oluşturulmuştur. Hazırlanan veri seti ile çeşitli ağ tipleri, öğrenme fonksiyonları, eğitim fonksiyonları ve performans fonksiyonları denenerek probleme en uygun ağ yapısı belirlenmiştir. Faz a-toprak arızaları için arıza yeri belirlenmesi problemi ileri beslemeli geri yayımlı, kaskat bağlı ileri beslemeli geri yayımlı ve Elman geri beslemeli üç farklı ağ tipi ile Levenberg-Marquardt (LM), Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts (CGB), One Step Secant (OSS), Variable Learning Rate Backpropagation (GDX), ve Scaled Conjugate Gradient (SCG) beş farklı eğitim fonksiyonu kullanılarak yapılmıştır. YSA modelinde gizli katman sayısı, gizli katmanlardaki nöronların sayısı ve gizli katmanlarda hangi aktivasyon fonksiyonunun kullanılacağı deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Belirlenen ağın giriş ve gizli katmanında tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu, çıkış katmanında ise lineer aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Bu katmanlara ait nöron sayıları ise sırasıyla 1,10 ve 1 olarak belirlenmiştir. İterasyon sayısı 1000 olarak belirlenmiştir. Veri setindeki 40 arızanın 32 tanesi eğitim setinde, 8 tanesi test setinde kullanılmıştır. Çizelge 4.1'de 1 ohm arıza direnci benzetimi yapılarak YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları verilmiştir.

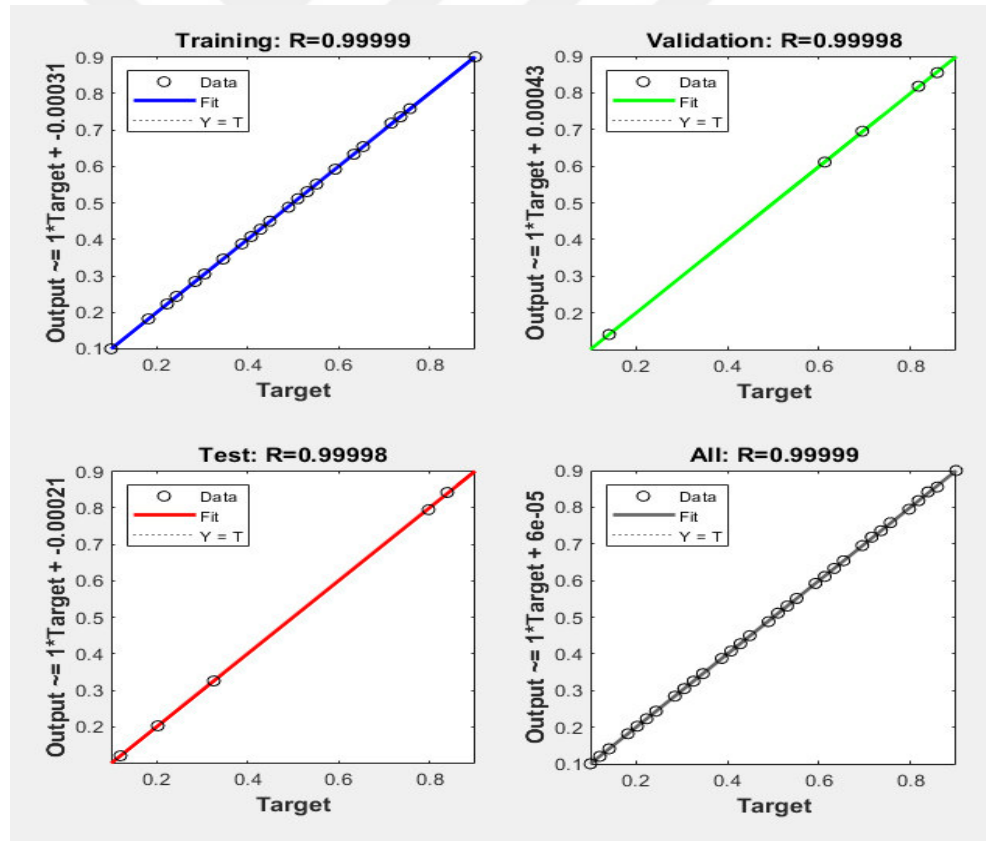
Çizelge 4.1. YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları

Kullanılan Yöntem	RMSE
İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ	LM 0.0105
	CGB 0.0199
	OSS 0.0195
	GDX 0.0269
	SCG 0.0228
Kaskat Bağlı İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ	LM 0.0929
	CGB 0.0798
	OSS 0.0379
	GDX 0.0711
	SCG 0.0820
Elman Geri Beslemeli Ağ	LM 0.0477
	CGB 0.0687
	OSS 0.0559
	GDX 0.0832
	SCG 0.0663

Çizelge 4.1’de kullanılan yöntemler ve eğitim hatalarına bakıldığında eğitim hatası en düşük yöntem ileri beslemeli geri yayılımlı LM yöntemi seçilmiştir. Şekil 4.7’de seçilen ağın MATLAB/nnTool ile tasarlanan genel yapısı ve Şekil 4.8’de eğitim, onaylama, test ve tüm verilerini bir arada bulunduran ve MATLAB/nnTool çıktısı olan regresyon grafikleri verilmiştir. Çizelge 4.2’de ileri beslemeli geri yayılımlı LM yöntemi kullanılarak arıza yeri tahminleri gösterilmektedir. Şekil 4.9’da gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği verilmiştir.



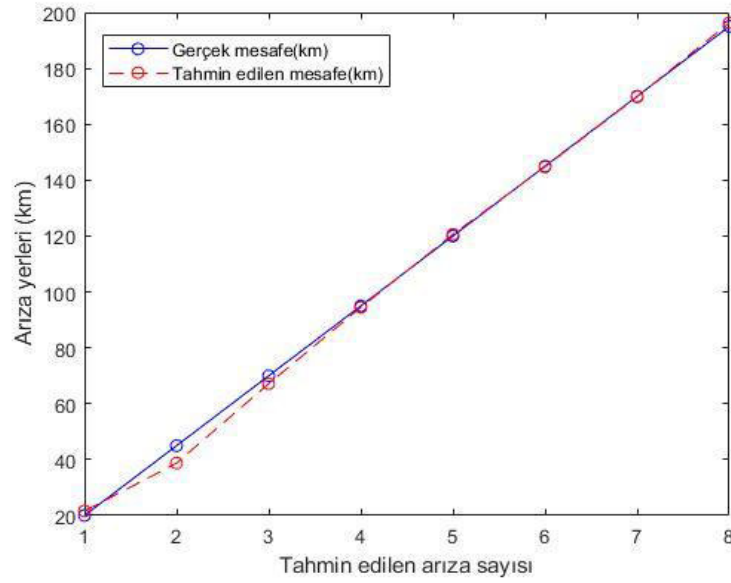
Şekil 4.7. Seçilen ağın MATLAB/nnTool ile modellenen genel yapısı



Şekil 4.8. Eğitim, onaylama, test ve tüm verilerin MATLAB/nnTool çıktısı regresyon grafikleri

Çizelge 4.2. Arıza direnci 1 ohm olduğunda tahmin edilen (km) arıza yerleri ve yüzde hata değerleri

Kullanılan Yöntem	Gerçek Arıza Mesafesi (km)	Tahmin edilen Arıza mesafesi (km)	Yüzde Hata Değeri (%)
İleri Beslemeli Geri Yayılımlı LM	20	21.62375	0.8118
	45	38.75938	3.1203
	70	67.15625	1.4218
	95	94.48063	0.2596
	120	120.6106	0.3053
	145	144.7419	0.1290
	170	169.8238	0.0881
	195	196.2950	0.6475

**Şekil 4.9.** Gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği

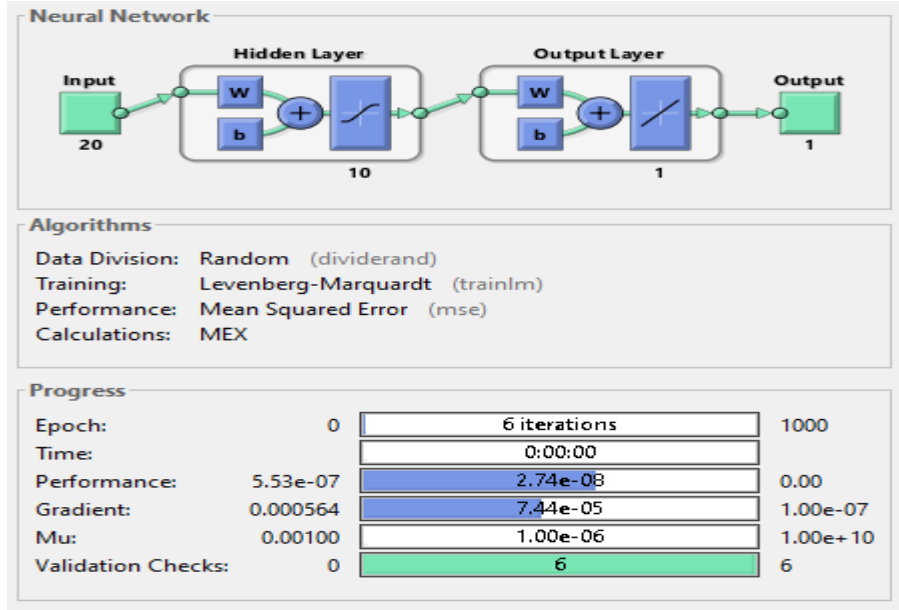
Test sonuçlarına göre eğitim hatası RMSE değeri 0.0105, en düşük tahmin hatası %0.0881, en yüksek tahmin hatası %3.1203 ve tüm eğriler için R değeri 0.99999'dur. Bu sonuçlara göre algoritmanın doğruluğu oldukça iyidir ve arıza direnci arıza yeri tahminini etkilememektedir.

Çizelge 4.3'de 10 ohm arıza direnci benzetimi yapılarak YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları verilmiştir.

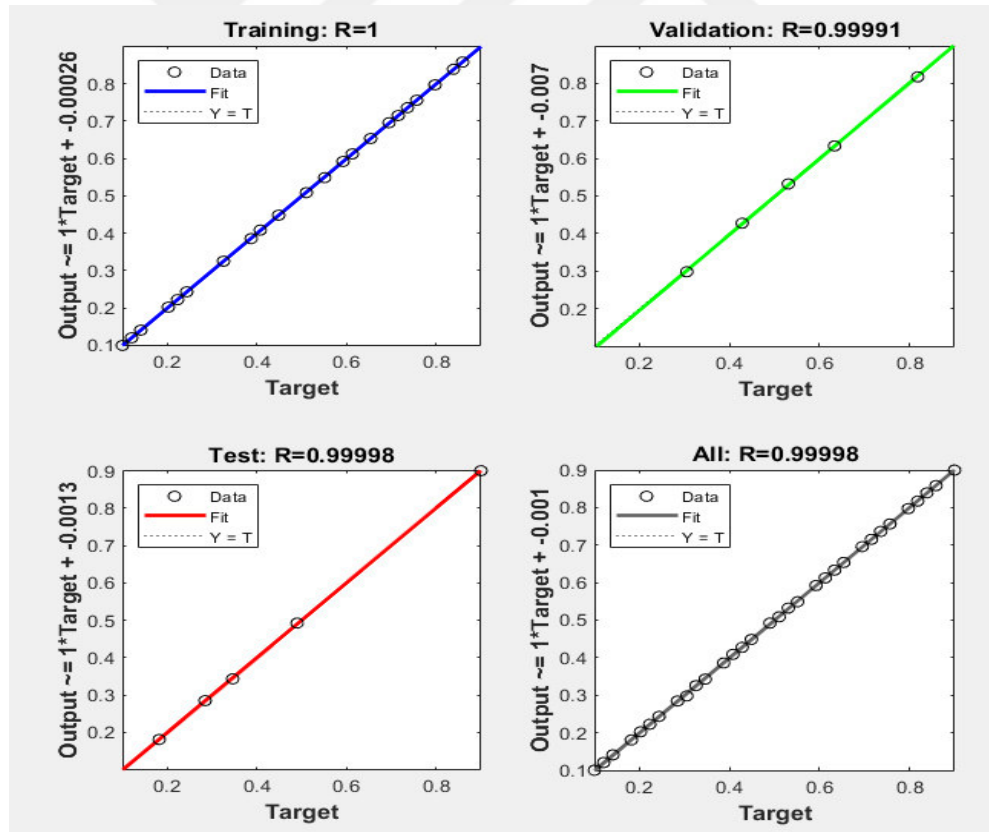
Çizelge 4.3. YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları

Kullanılan Yöntem		RMSE
İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ	LM	0.0062
	CGB	0.0192
	OSS	0.0212
	GDX	0.0971
	SCG	0.0211
Kaskat Bağlı İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ	LM	0.0558
	CGB	0.0165
	OSS	0.0535
	GDX	0.0318
	SCG	0.0216
Elman Geri Beslemeli Ağ	LM	0.0129
	CGB	0.0090
	OSS	0.0244
	GDX	0.0285
	SCG	0.0071

Çizelge 4.3’de kullanılan yöntemler ve eğitim hatalarına bakıldığında eğitim hatası en düşük yöntem ileri beslemeli geri yayılımlı LM yöntemi seçilmiştir. Şekil 4.10’da seçilen ağın MATLAB/nnntool ile tasarlanan genel yapısı ve Şekil 4.11’de eğitim, onaylama, test ve tüm verilerini bir arada bulunduran ve MATLAB/nnntool çıktısı olan regresyon grafikleri verilmiştir. Çizelge 4.4’de ileri beslemeli geri yayılımlı LM yöntemi kullanılarak arıza yeri tahminleri gösterilmektedir. Şekil 4.12’de gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği verilmiştir.



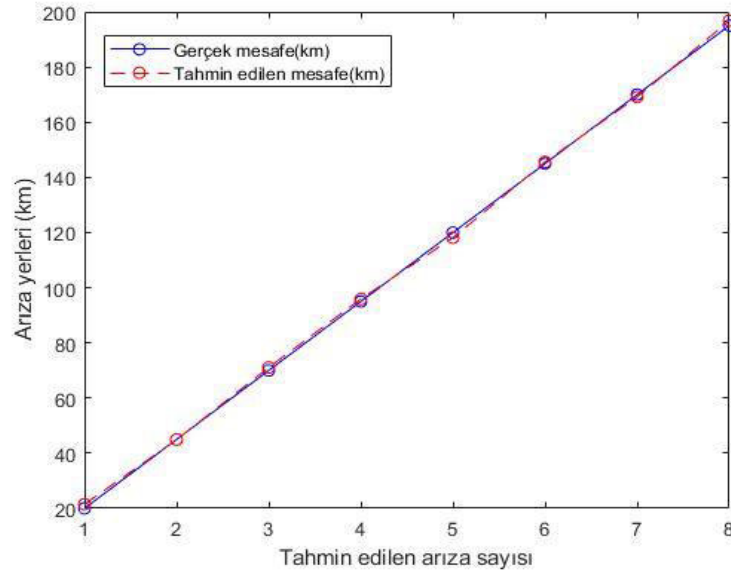
Şekil 4.10. Seçilen ağı MATLAB/nnTool ile modellenen genel yapısı



Şekil 4.11. Eğitim, onaylama, test ve tüm verilerin MATLAB/nnTool çıktısı regresyon grafikleri

Çizelge 4.4. Arıza direnci 10 ohm olduğunda tahmin edilen (km) arıza yerleri ve yüzde hata değerleri

Kullanılan Yöntem	Gerçek Arıza Mesafesi (km)	Tahmin edilen Arıza mesafesi (km)	Yüzde Hata Değeri (%)
İleri Beslemeli Geri Yayımlı LM	20	21.50188	0.7509
	45	44.92625	0.0368
	70	71.08063	0.5403
	95	95.91875	0.4593
	120	118.1244	0.9378
	145	145.5950	0.2975
	170	169.1169	0.4415
	195	196.7825	0.8912

**Şekil 4.12.** Gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği

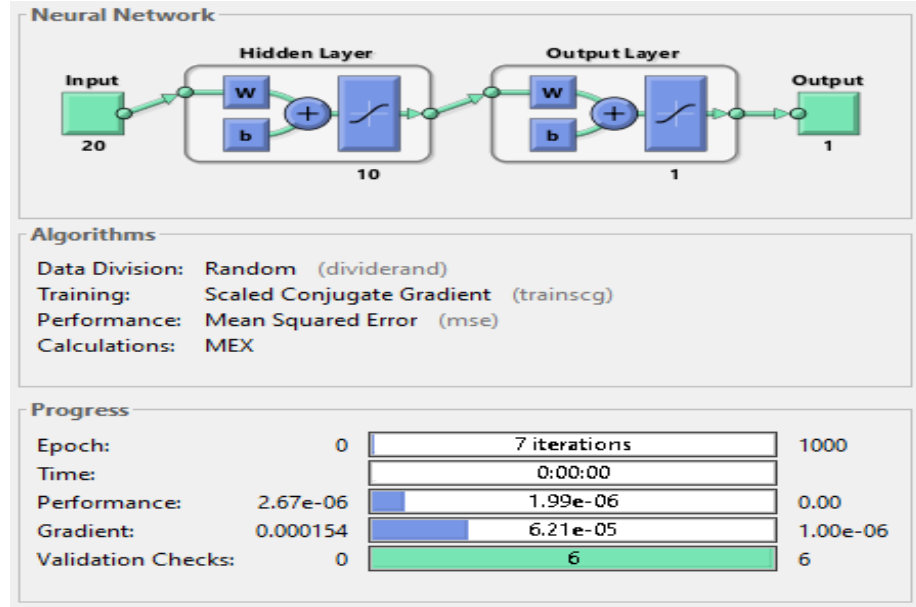
Test sonuçlarına göre eğitim hatası RMSE değeri 0.0062, en düşük tahmin hatası %0.0368, en yüksek tahmin hatası %0.9378 ve tüm eğriler için R değeri 0.99998'dir. Bu sonuçlara göre algoritmanın doğruluğu oldukça iyidir ve arıza direnci arızanın arıza yeri tahminini etkilememektedir.

Çizelge 4.5'de 25 ohm arıza direnci benzetimi yapılarak YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları verilmiştir.

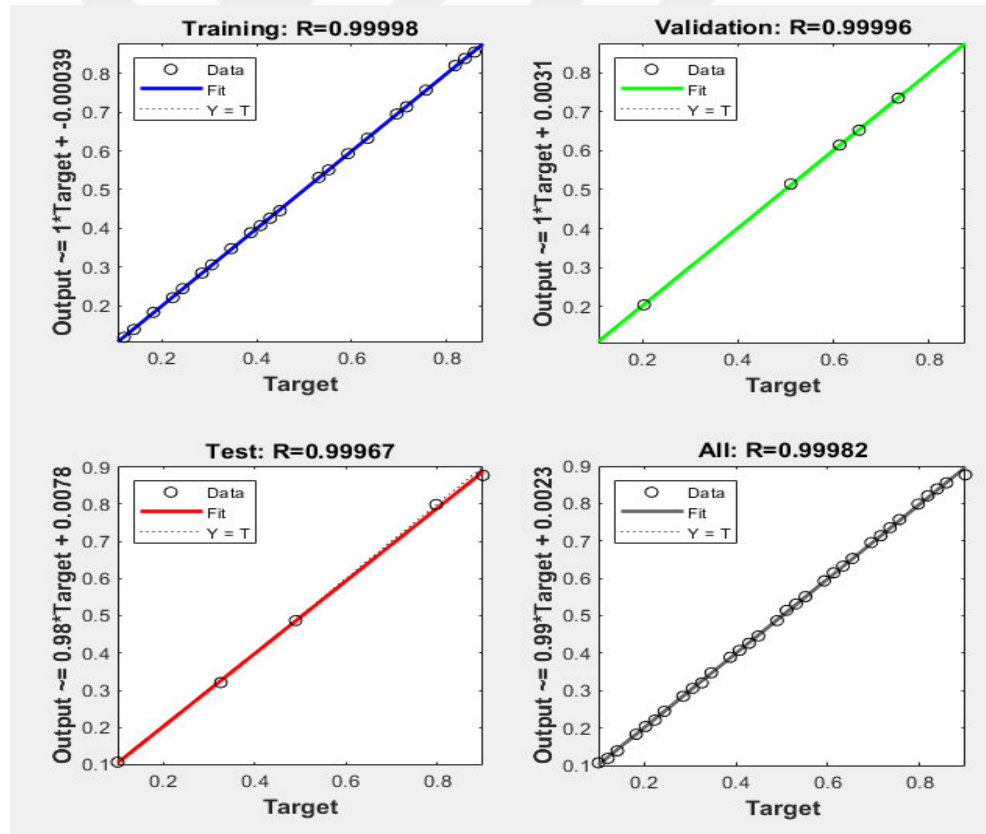
Çizelge 4.5. YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları

Kullanılan Yöntem		RMSE
İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ	LM	0.0079
	CGB	0.0132
	OSS	0.0110
	GDX	0.0213
	SCG	0.0042
Kaskat Bağlı İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ	LM	0.0109
	CGB	0.0088
	OSS	0.0094
	GDX	0.0165
	SCG	0.0060
Elman Geri Beslemeli Ağ	LM	0.0046
	CGB	0.0094
	OSS	0.0074
	GDX	0.0162
	SCG	0.0071

Çizelge 4.5’de kullanılan yöntemler ve eğitim hatalarına bakıldığında eğitim hatası en düşük yöntem ileri beslemeli geri yayılımlı SCG yöntemi seçilmiştir. Şekil 4.13’de seçilen ağın MATLAB/nnTool ile tasarlanan genel yapısı ve Şekil 4.14’de eğitim, onaylama, test ve tüm verilerini bir arada bulunduran ve MATLAB/nnTool çıktısı olan regresyon grafikleri verilmiştir. Çizelge 4.6’da ileri beslemeli geri yayılımlı SCG yöntemi kullanılarak arıza yeri tahminleri gösterilmektedir. Şekil 4.15’de gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği verilmiştir.



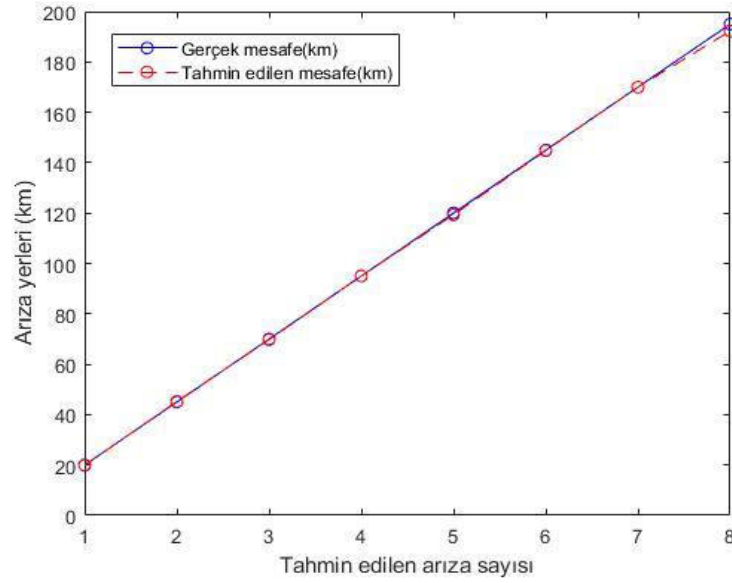
Şekil 4.13. Seçilen ağı MATLAB/nnTool ile modellenen genel yapısı



Şekil 4.14. Eğitim, onaylama, test ve tüm verilerin MATLAB/nnTool çıktısı regresyon grafikleri

Çizelge 4.6. Arıza direnci 25 ohm olduğunda tahmin edilen (km) arıza yerleri ve yüzde hata değerleri

Kullanılan Yöntem	Gerçek Arıza Mesafesi (km)	Tahmin edilen Arıza mesafesi (km)	Yüzde Hata Değeri (%)
İleri Beslemeli Geri Yayımlı SCG	20	19.8200	0.0900
	45	45.24313	0.1215
	70	69.7400	0.1300
	95	95.04125	0.0206
	120	119.3188	0.4340
	145	144.7906	0.1047
	170	169.9700	0.0150
	195	192.2488	1.3356

**Şekil 4.15.** Gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği

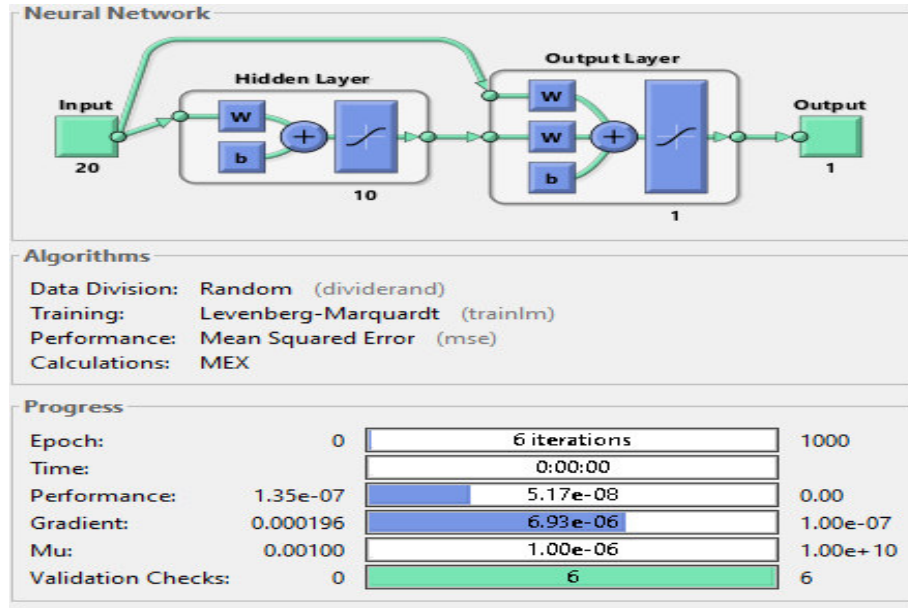
Test sonuçlarına göre eğitim hatası RMSE değeri 0.0042, en düşük tahmin hatası %0.0150, en yüksek tahmin hatası %1.3356 ve tüm eğriler için R değeri 0.99982'dir. Bu sonuçlara göre algoritmanın doğruluğu oldukça iyidir ve arıza direnci arıza yeri tahminini etkilememektedir.

Çizelge 4.7'de 75 ohm arıza direnci benzetimi yapılarak YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları verilmiştir.

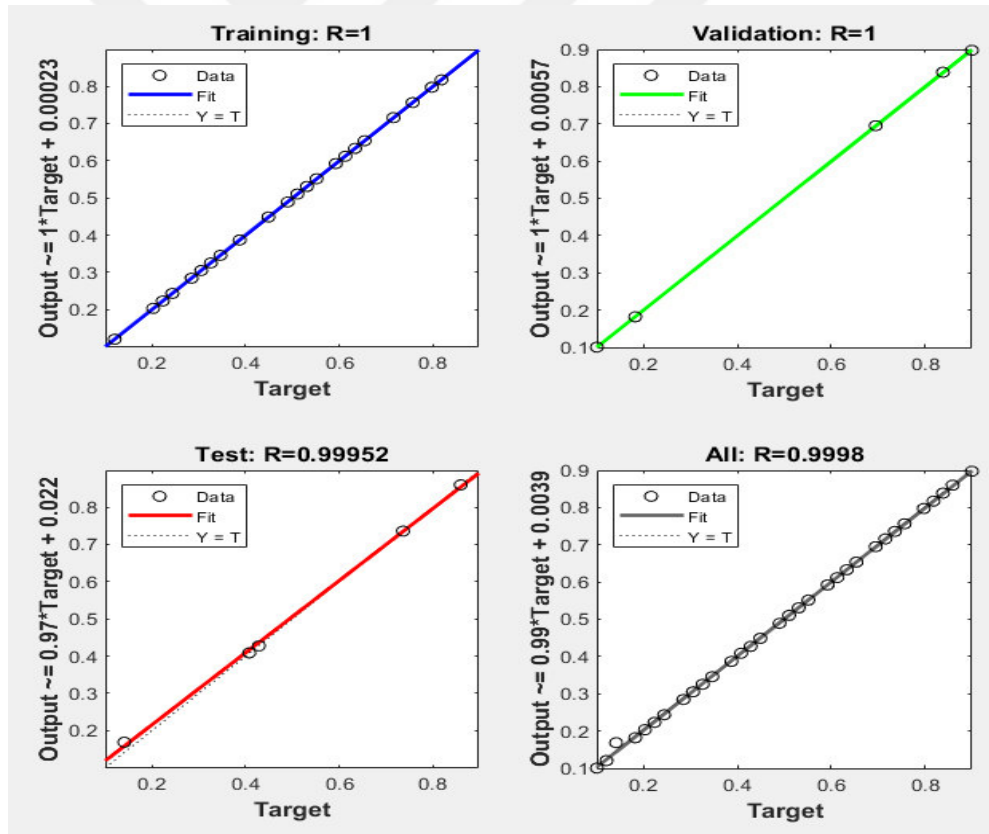
Çizelge 4.7. YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları

Kullanılan Yöntem		RMSE
İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ	LM	0.0080
	CGB	0.0052
	OSS	0.0091
	GDX	0.0073
	SCG	0.0046
Kaskat Bağlı İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ	LM	0.0032
	CGB	0.0036
	OSS	0.0049
	GDX	0.0093
	SCG	0.0039
Elman Geri Beslemeli Ağ	LM	0.0038
	CGB	0.0056
	OSS	0.0084
	GDX	0.0092
	SCG	0.0044

Çizelge 4.7’de kullanılan yöntemler ve eğitim hatalarına bakıldığında eğitim hatası en düşük yöntem kaskat bağlı ileri beslemeli geri yayılımlı LM yöntemi seçilmiştir. Şekil 4.16’da seçilen ağın MATLAB/nnTool ile tasarlanan genel yapısı ve Şekil 4.17’de eğitim, onaylama, test ve tüm verilerini bir arada bulunduran ve MATLAB/nnTool çıktısı olan regresyon grafikleri verilmiştir. Çizelge 4.8’de kaskat bağlı ileri beslemeli geri yayılımlı LM yöntemi kullanılarak arıza yeri tahminleri gösterilmektedir. Şekil 4.18’de gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği verilmiştir.



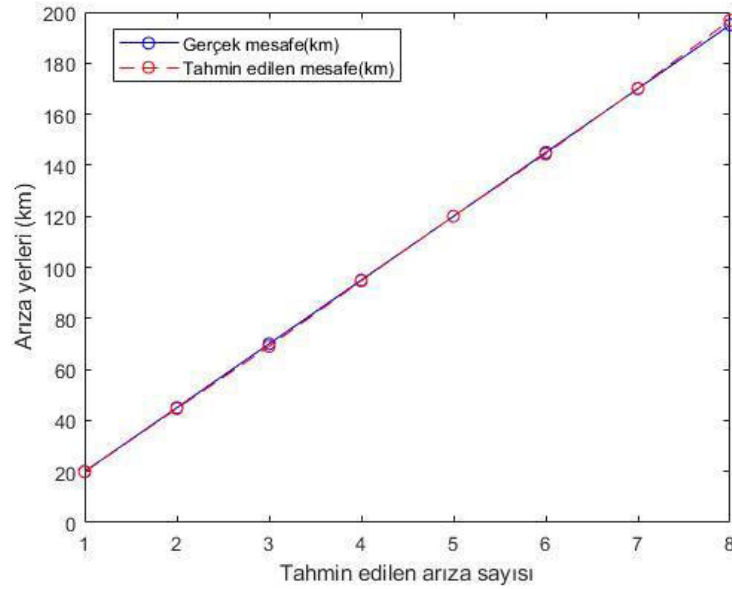
Şekil 4.16. Seçilen ağı MATLAB/nnTool ile modellenen genel yapısı



Şekil 4.17. Eğitim, onaylama, test ve tüm verilerin MATLAB/nnTool çıktısı regresyon grafikleri

Çizelge 4.8. Arıza direnci 75 ohm olduğunda tahmin edilen (km) arıza yerleri ve yüzde hata değerleri

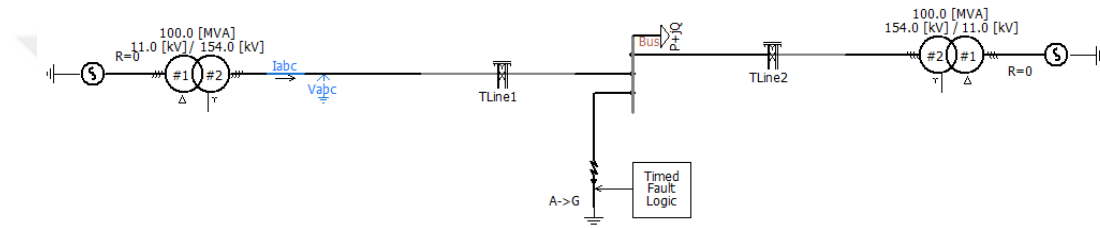
Kullanılan Yöntem	Gerçek Arıza Mesafesi (km)	Tahmin edilen Arıza mesafesi (km)	Yüzde Hata Değeri (%)
	20	19.84438	0.0778
	45	44.65813	0.1709
Kaskat Bağlı İleri	70	69.00875	0.4956
Beslemeli Geri	95	94.70000	0.1500
Yayımlı	120	120.0256	0.0128
LM	145	144.4494	0.2753
	170	170.1894	0.0947
	195	196.8313	0.9156

**Şekil 4.18.** Gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği

Test sonuçlarına göre eğitim hatası RMSE değeri 0.0032, en düşük tahmin hatası %0.0128, en yüksek tahmin hatası %0.9156 ve tüm eğriler için R değeri 0.9998'dir. Bu sonuçlara göre algoritmanın doğruluğu oldukça iyidir ve arıza direnci arıza yeri tahminini etkilememektedir.

4.2. Transformatör Topraklamasının Benzetimi ve Test Sonuçları

Havai iletim hattı PSCAD™ / EMTDC™ benzetim programında modellenen 154 kV, 50 Hz, 200 km tek hat şeması Şekil 4.19'da gösterilmektedir. İletim hattı üç fazlı iki güç transformatörüne bağlı iki jeneratör üretim kaynağından oluşur. İletim hatları için kabul edilen model, 154 kV tek devre enerji iletim hattı 1272 MCM iletkenin kesitleri ve direk tipi 'PB' kullanılmıştır. Transformatörlerin bağlantılarında düşük gerilim tarafı 11 kV üçgen, yüksek gerilim tarafı 154 kV yıldız olarak seçilmiştir. Sistemde 25 MW'lık sabit bir yük kullanılmıştır.



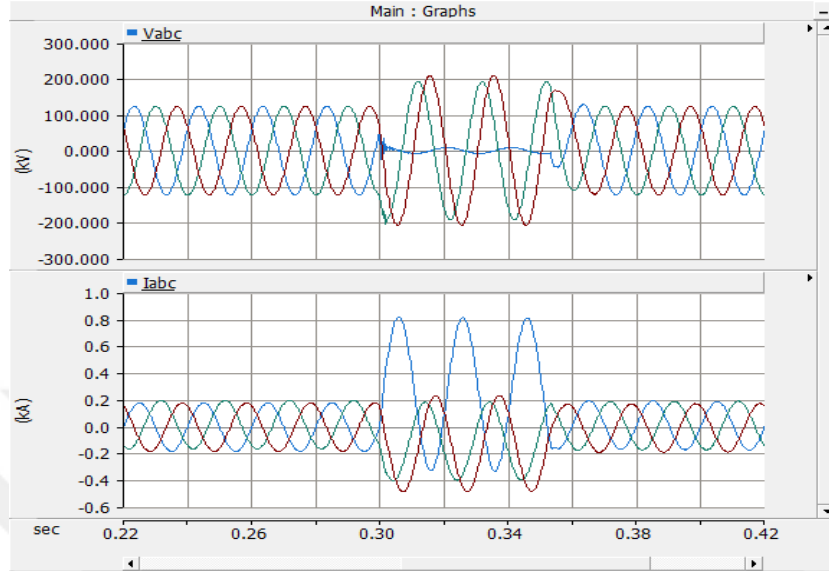
Şekil 4.19. İletim hattı modeli

PSCAD™ / EMTDC™ benzetim programında havai iletim hattı modellenerek tek faz-toprak arızası sırasında transformatör topraklamasının etkisi gösterilmiştir. Yapılan çalışmada üç farklı şekilde topraklanmamış, doğrudan topraklanmış ve empedansla topraklanmış transformatör kullanılarak iletim hattında oluşan kısa devre arızalarının durumu gözlenmiştir. Hata empedansı sabit $Z_f=1 \Omega$ olarak alınmıştır. Kısa devre arızası sabit sürelerde sistem çalıştıktan sonra 0.3 saniye sonra ve 0.05 saniye boyunca devam etmektedir. Çalışmalar en sık karşılaştığımız faz a-toprak kısa devresi oluşturularak yapılmıştır.

4.2.1. Topraklanmamış sistem

Topraklanmamış sistemlerde güç transformatörleri ile toprak arasında bağlantı yoktur. Yıldız noktası sıfır bileşen akımının akmasına izin vermez. Dolayısıyla, tek fazdan toprağa arıza akımı düşüktür ve sisteme sorun oluşturmazlar. Kısa devre anında Şekil 4.20'de görülebileceği gibi kısa devre olmayan fazlarda faz-toprak aşırı gerilimler oluşmuştur. Kısa devre anında kısa devre yapılan a-fazında yüksek kısa devre akımı

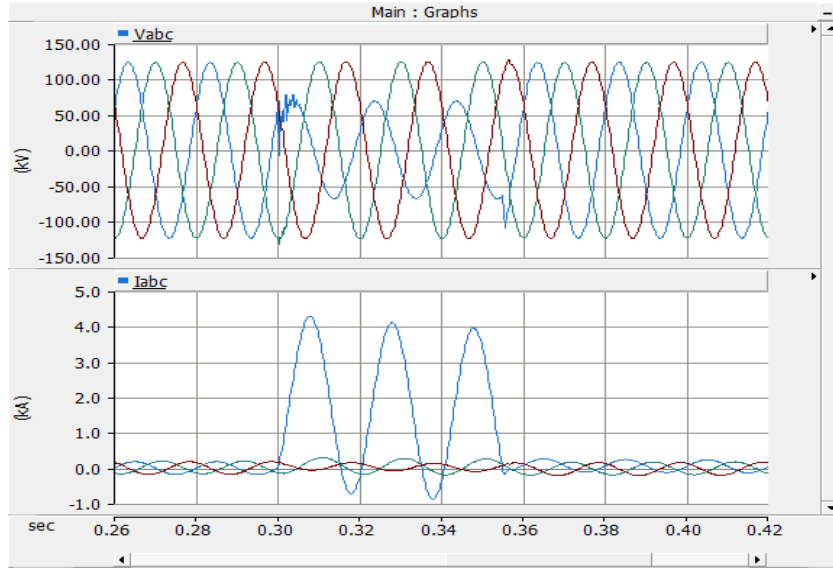
oluşturmuştur ve sağlam fazlarda akım artışı olmuştur. Bu tip topraklanmamış sistemlerde kısa devre akımı çok yüksek olmamasına karşı sağlam fazlarda yüksek gerilimler oluşması iletim hattı için istenmeyen durumdur.



Şekil 4.20. Topraklanmamış sistemde kısa devre anında oluşan gerilim-akım grafiği

4.2.2. Doğrudan topraklanmış sistem

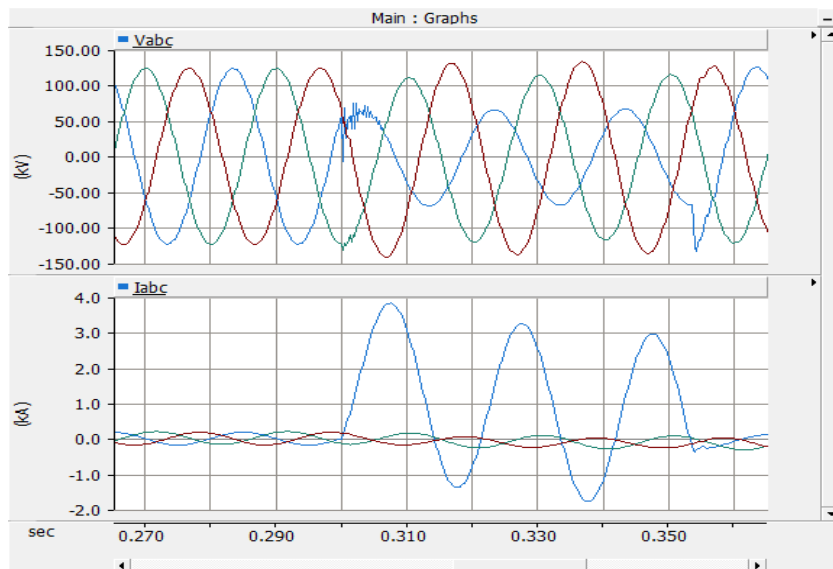
Doğrudan topraklanmış sistemlerde transformatörün nötr noktası doğrudan topraklanır. Şekil 4.21’de gösterilen gerilim akım grafiğinde doğrudan topraklanmış sistemin çok yüksek seviyelerde arıza akımı ve kısa devre yapılan hatta gerilim düşmesi gözlemlenmektedir. Sağlam fazlarda gerilim değeri değişmemektedir. Bu nedenle, doğrudan topraklanmış sistemlerde geçici aşırı gerilimlerin oluşmamasını sağlar, ancak yüksek seviyede bir arıza akımı oluşmaktadır ve yüksek arıza akımının oluşması istenmeyen bir durumdur.



Şekil 4.21. Doğrudan topraklanmış sistemde kısa devre anında oluşan gerilim-akım grafiği

4.2.3. Empedans ile topraklanmış sistem

Empedans ile topraklanmış sistemlerde transformatörün nötr noktası bir empedans ile topraklanır. Bu çalışmada transformatörün toprak bağlantısı $R = 5$ ohm empedans ile toprağa bağlanmıştır. Şekil 4.22’de kısa devre yapılan hatta gerilim düşmesi gözlemlenmektedir. Sağlam fazlarda gerilim değeri değişmemektedir. Kısa devre arıza akımının, doğrudan topraklanmış sisteme göre empedans nedeniyle daha az olduğunu görülmüştür.



Şekil 4.22. Empedans ile topraklanmış sistemde kısa devre anında oluşan gerilim-akım grafiği

Yapılan çalışmada transformatör nötr noktası doğrudan toprağa bağlandığında, geçici aşırı gerilimlerin oluşmadığı ve yüksek arıza akımı oluştuğu için hatanın koruma rölesi tarafından hızlıca tespit edilebilir. Fakat yüksek hata akımına sebep olur. Yüksek hata akımları aşırı kuvvetlerin, fazlarda gerilim ve akım dengesizliği, aşırı ısınma, izolatörlerde, baralarda ve diğer bağlantı donanımlarında ark olayı ve kesici arızaları gibi istenmeyen durumlar meydana getirebilir.

Topraklanmamış sistemlerde, arıza akımı düşüktür, ancak daha önemli yüksek gerilim dalgalanmaları oluşturur. Oluşan yüksek gerilim hava hattı izolatörleri, kesiciler, baralar ve cihazların yalıtkanlığı için tehlikeli olabilir ve tesis de ciddi zararlara yol açabilir. Empedans ile topraklanmış sistemlerinin geçici gerilimin ve arıza akımının büyüklüğünü sınırlandırması ve böylece donanımların hasar görmesini azaltması sağlar. Ancak topraklanmış sistem kuruluysa, yatırım maliyetli olacaktır. Bu nedenle, topraklama tipi, tek fazdan toprağa arıza akımının seviyesini etkiler ve sadece toprağa bir bağlantı olduğunda arıza akımının akışını kolaylaştırır.

Dengesiz kısa devre arızalarında sıfır bileşen akımı iletim hattında yüksek frekans ve harmonikler oluşturması nedeniyle mesafe koruma rölesinin doğru çalışmasını etkilemektedir. Bundan dolayı bu çalışmada transformatör topraklamasının mesafe koruma rölesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

İletim hatlarında güç transformatörün topraklama tipine göre farklı kısa devre arızalarına etkisi altında kalmaktadır. Transformatör topraklama tipine göre sıfır bileşen akımların ve gerilim dalgalanmaların oluşması mesafe koruma rölesinin arızayı ve arıza yerini doğru tahmin etmesini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada transformatör nötr topraklaması olarak topraklanmamış, doğrudan topraklanmış ve empedans ile topraklanmış sistemleri oluşturulmuş ve mesafe koruma rölesinin R-X empedans diyagramından alınan görüntülere görüntü işleme teknikleri uygulanarak veri seti oluşturulmuştur. PSCAD™ / EMTDC™ kullanılarak benzetimi yapılan havai enerji iletim hattının 5,10,15, ... 200 km'lerinde faz a-toprak arızaları oluşturulmuştur. Hazırlanan veri seti ile çeşitli ağ tipleri, öğrenme fonksiyonları, eğitim fonksiyonları ve performans fonksiyonları denenerek probleme en uygun ağ yapısı belirlenmiştir. Faz a-toprak arızaları için arıza yeri belirlenmesi problemi ileri beslemeli geri yayımlı, kaskat bağlı ileri beslemeli geri yayımlı ve Elman geri beslemeli üç farklı ağ tipi ile LM, CGB, OSS, GDX, ve SCG beş farklı eğitim fonksiyonu kullanılarak yapılmıştır. YSA modelinde gizli katman sayısı, gizli katmanlardaki nöronların sayısı ve gizli katmanlarda hangi aktivasyon fonksiyonunun kullanılacağı deneme yanılma yöntemi ile

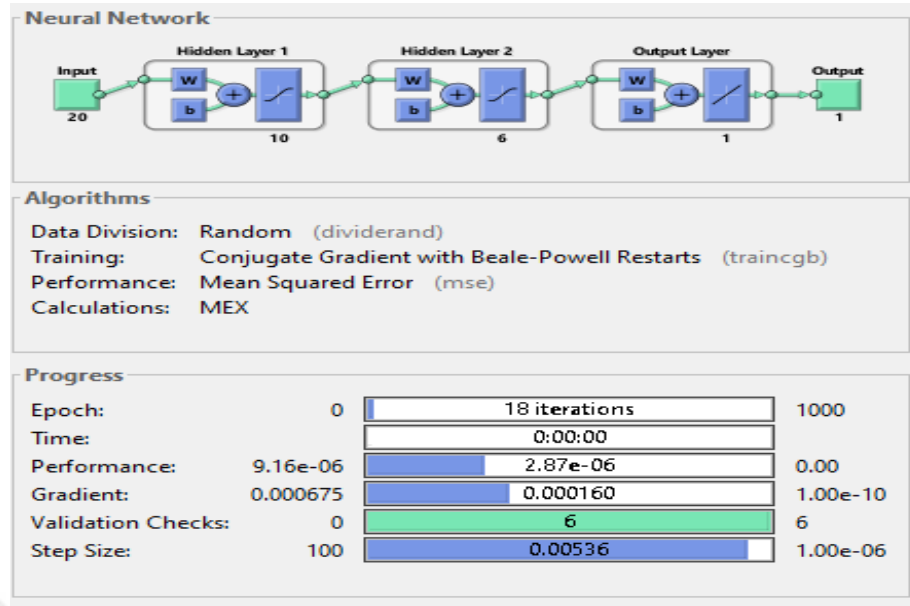
belirlenmiştir. Belirlenen ağı giriş ve gizli katmanlarında tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu, çıkış katmanında ise lineer aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Bu katmanlara ait nöron sayıları ise sırasıyla 1, 10, 6 ve 1 olarak belirlenmiştir. İterasyon sayısı 1000 olarak belirlenmiştir. Veri setindeki 40 arızanın 32 tanesi eğitim setinde, 8 tanesi test setinde kullanılmıştır.

Görüntü işleme yöntemiyle tasarlanan akıllı sistemde farklı topraklama tiplerinde ve farklı arıza noktalarında arıza ve arıza yeri tahmini yapılmıştır. Çizelge 4.9’da topraklanmamış sistem benzetimi yapılarak YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları verilmiştir.

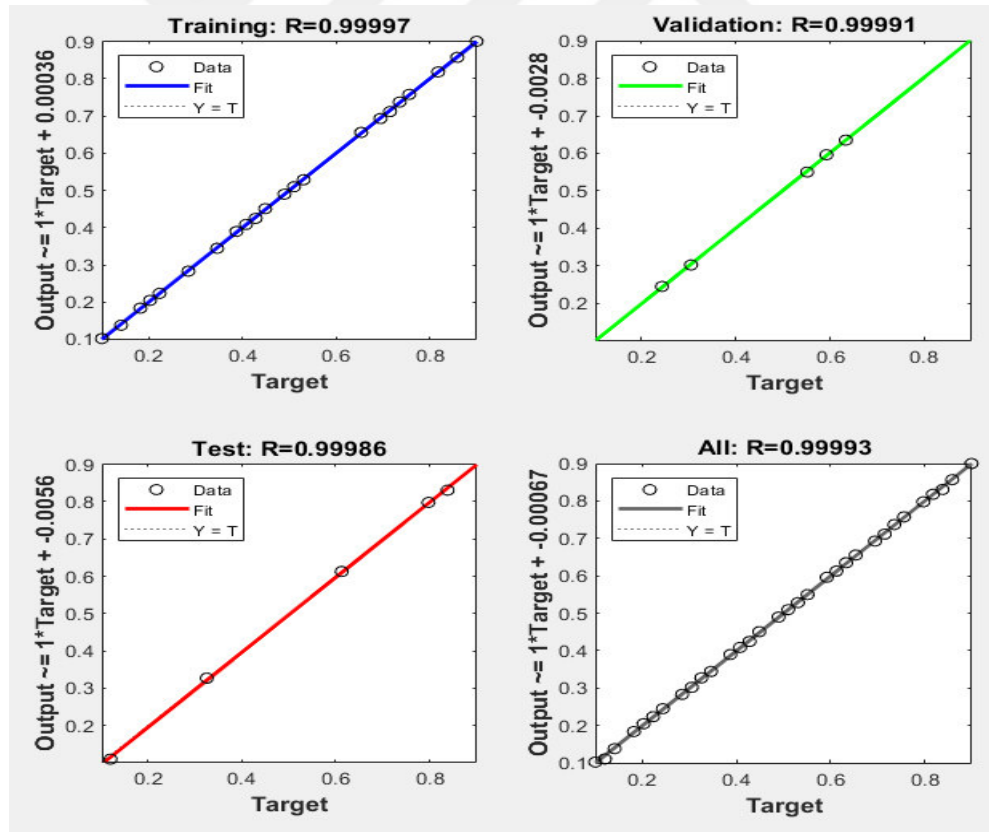
Çizelge 4.9. YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları

Kullanılan Yöntem		RMSE
İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ	LM	0.0018
	CGB	0.0017
	OSS	0.0104
	GDX	0.0085
	SCG	0.0109
Kaskat Bağlı İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ	LM	0.0067
	CGB	0.0025
	OSS	0.0192
	GDX	0.0078
	SCG	0.0086
Elman Geri Beslemeli Ağ	LM	0.0020
	CGB	0.0058
	OSS	0.0046
	GDX	0.0088
	SCG	0.0157

Çizelge 4.9’da kullanılan yöntemler ve eğitim hatalarına bakıldığında eğitim hatası en düşük yöntem ileri beslemeli geri yayılımlı CGB yöntemi seçilmiştir. Şekil 4.23’de seçilen ağın MATLAB/nnTool ile tasarlanan genel yapısı ve Şekil 4.24’de eğitim, onaylama, test ve tüm verilerini bir arada bulunduran ve MATLAB/nnTool çıktısı olan regresyon grafikleri verilmiştir. Çizelge 4.10’da ileri beslemeli geri yayılımlı CGB yöntemi kullanılarak arıza yeri tahminleri gösterilmektedir. Şekil 4.25’de gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği verilmiştir.



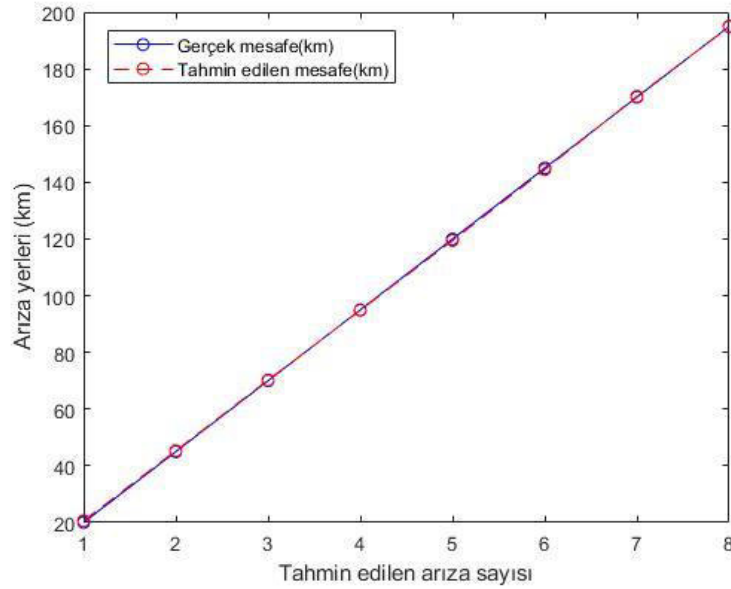
Şekil 4.23. Seçilen ağın MATLAB/nnntool ile modellenen genel yapısı



Şekil 4.24. Eğitim, onaylama, test ve tüm verilerin MATLAB/nnntool çıktısı regresyon grafikleri

Çizelge 4.10. Topraklanmamış sistemde tahmin edilen (km) arıza yerleri ve yüzde hata değerleri

Kullanılan Yöntem	Gerçek Arıza Mesafesi (km)	Tahmin edilen Arıza mesafesi (km)	Yüzde Hata Değeri (%)
İleri Beslemeli Geri Yayımlı CGB	20	20.62438	0.3121
	45	45.34063	0.1703
	70	70.25188	0.1259
	95	94.82188	0.0890
	120	119.4650	0.2675
	145	144.4250	0.2875
	170	170.2869	0.1434
	195	194.8325	0.0837



Şekil 4.25. Gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği

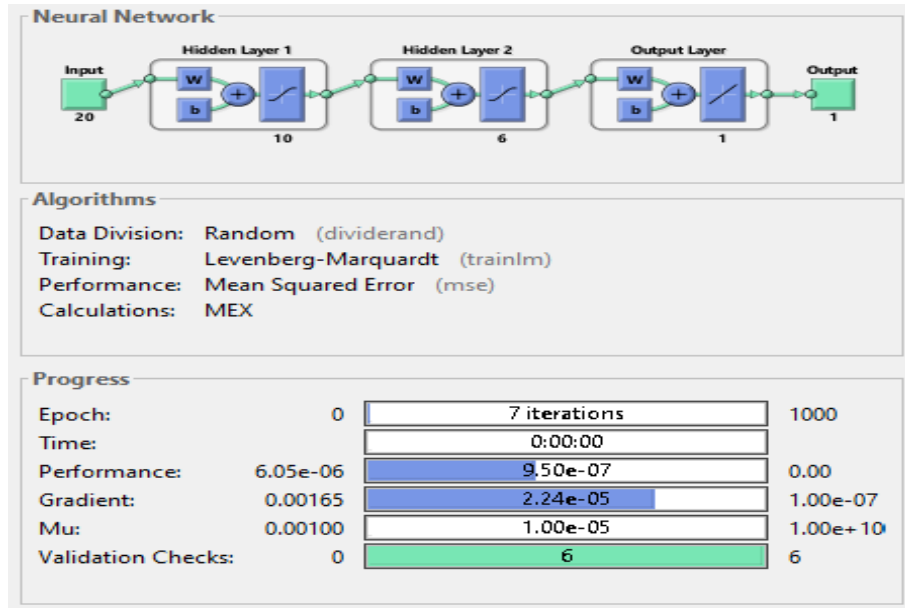
Test sonuçlarına göre eğitim hatası RMSE değeri 0.0017, en düşük tahmin hatası %0.0837, en yüksek tahmin hatası %0.3121 ve tüm eğriler için R değeri 0.99993'dür. Bu sonuçlara göre algoritmanın doğruluğu oldukça iyidir ve topraklanmamış sistemde yapılan çalışmada arıza yeri tahminini etkilememektedir.

Çizelge 4.11'de Topraklanmış sistem benzetimi yapılarak YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları verilmiştir.

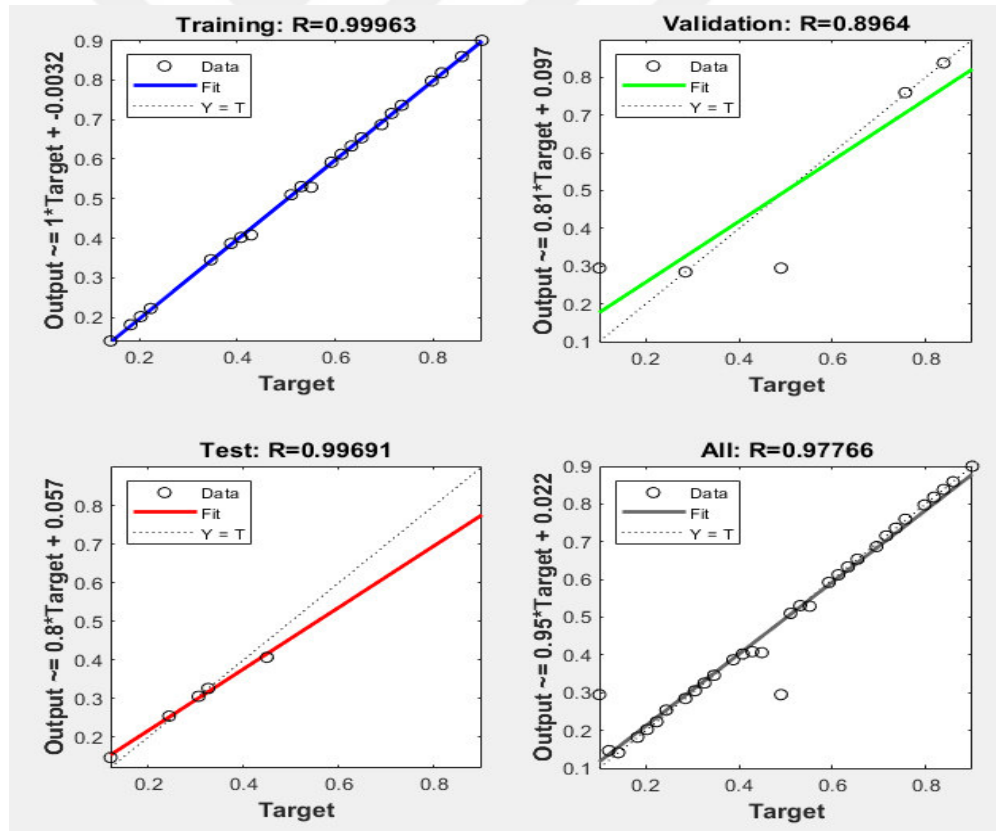
Çizelge 4.11. YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları

Kullanılan Yöntem		RMSE
İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ	LM	0.0036
	CGB	0.0498
	OSS	0.0232
	GDX	0.0128
	SCG	0.0133
Kaskat Bağlı İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ	LM	0.0057
	CGB	0.0164
	OSS	0.0290
	GDX	0.0489
	SCG	0.0473
Elman Geri Beslemeli Ağ	LM	0.0058
	CGB	0.0130
	OSS	0.0165
	GDX	0.0154
	SCG	0.0255

Çizelge 4.11’de kullanılan yöntemler ve eğitim hatalarına bakıldığında eğitim hatası en düşük yöntem ileri beslemeli geri yayılımlı LM yöntemi seçilmiştir. Şekil 4.26’da seçilen ağın MATLAB/nnntool ile tasarlanan genel yapısı ve Şekil 4.27’de eğitim, onaylama, test ve tüm verilerini bir arada bulunduran ve MATLAB/nnntool çıktısı olan regresyon grafikleri verilmiştir. Çizelge 4.12’de ileri beslemeli geri yayılımlı LM yöntemi kullanılarak arıza yeri tahminleri gösterilmektedir. Şekil 4.28’de gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği verilmiştir.



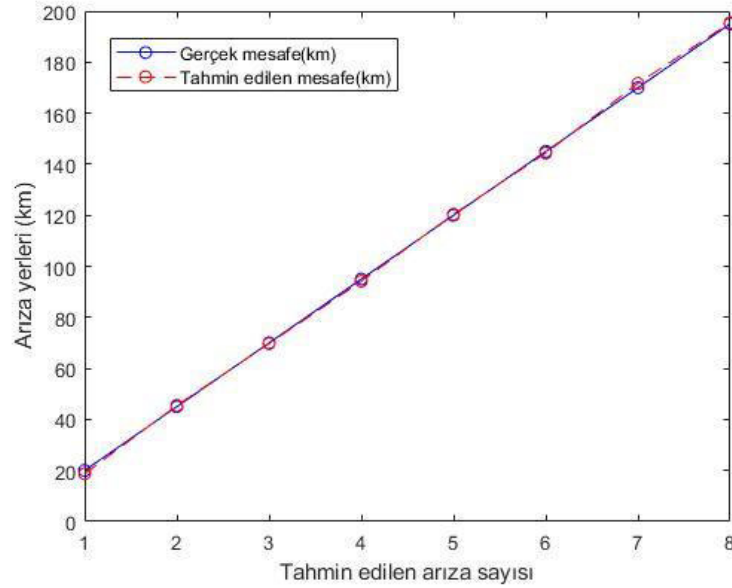
Şekil 4.26. Seçilen ağı MATLAB/nnTool ile modellenen genel yapısı



Şekil 4.27. Eğitim, onaylama, test ve tüm verilerin MATLAB/nnTool çıktısı regresyon grafikleri

Çizelge 4.12. Topraklanmış sistemde tahmin edilen (km) arıza yerleri ve yüzde hata değerleri

Kullanılan Yöntem	Gerçek Arıza Mesafesi (km)	Tahmin edilen Arıza mesafesi (km)	Yüzde Hata Değeri (%)
İleri Beslemeli Geri Yayılımlı LM	20	18.72313	0.6384
	45	45.48688	0.2434
	70	69.71563	0.1421
	95	94.16375	0.4181
	120	120.3669	0.1834
	145	144.3763	0.3118
	170	171.6763	0.8381
	195	195.4419	0.2209



Şekil 4.28. Gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği

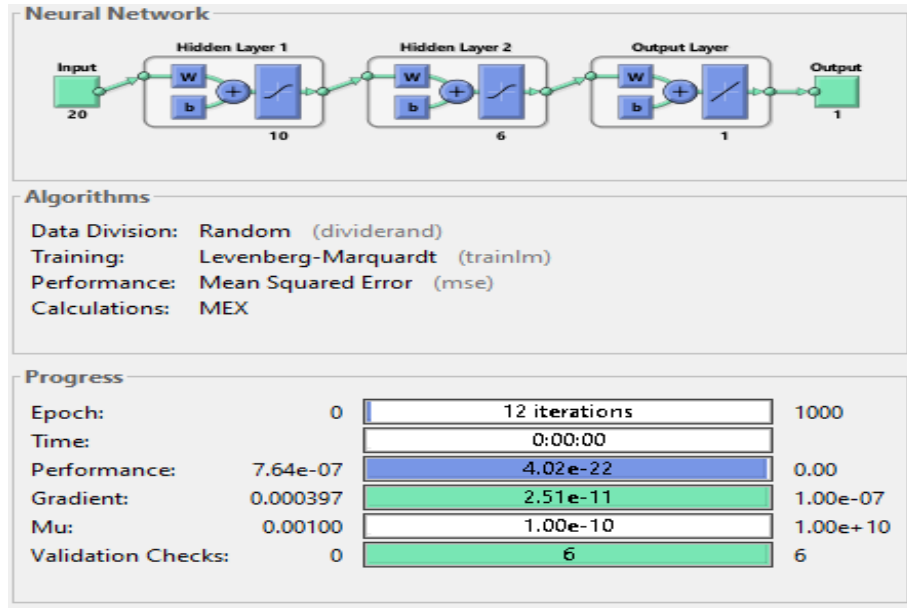
Test sonuçlarına göre eğitim hatası RMSE değeri 0.0036, en düşük tahmin hatası %0.1421, en yüksek tahmin hatası %0.8381 ve tüm eğriler için R değeri 0.97766'dır. Bu sonuçlara göre algoritmanın doğruluğu oldukça iyidir ve topraklanmış sistemde yapılan çalışmada arıza yeri tahminini etkilememektedir.

Çizelge 4.13'de 5 ohm empedans ile topraklanmış sistem benzetimi yapılarak YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları verilmiştir.

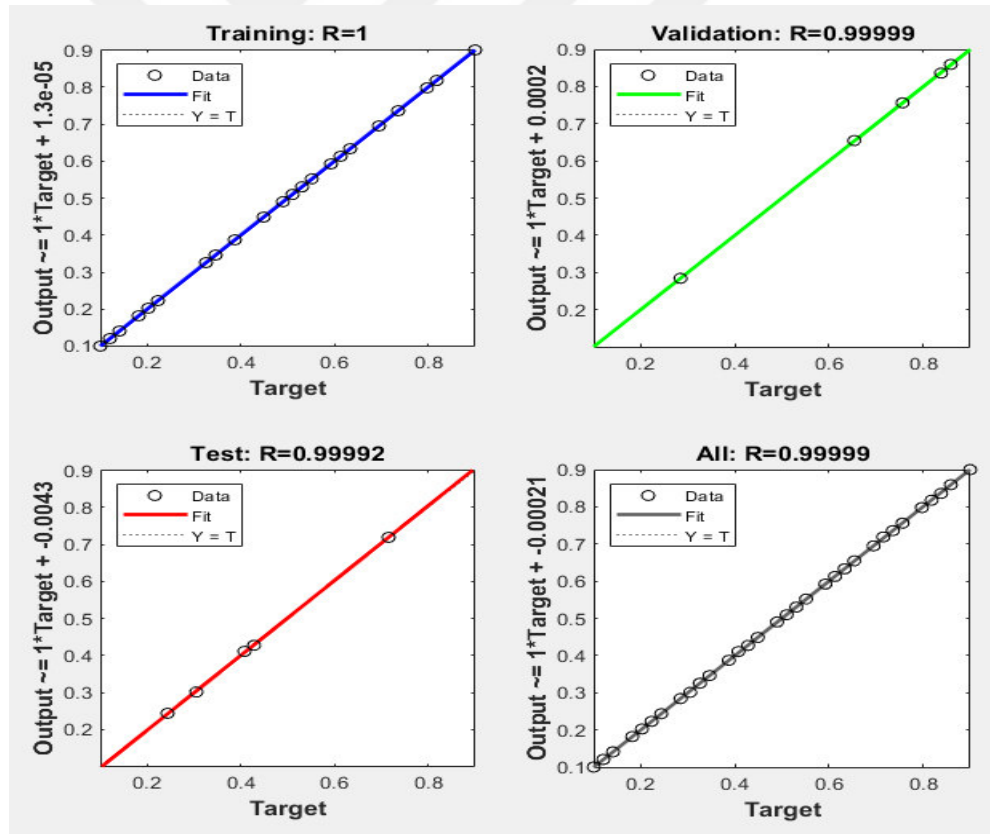
Çizelge 4.13. YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları

Kullanılan Yöntem		RMSE
İleri Beslemeli Geri Yayımlı Ağ	LM	0.0039
	CGB	0.0152
	OSS	0.0095
	GDX	0.0215
	SCG	0.0083
Kaskat Bağlı İleri Beslemeli Geri Yayımlı Ağ	LM	0.0060
	CGB	0.0199
	OSS	0.0107
	GDX	0.0241
	SCG	0.0143
Elman Geri Beslemeli Ağ	LM	0.0076
	CGB	0.0040
	OSS	0.0158
	GDX	0.0109
	SCG	0.0082

Çizelge 4.13’de kullanılan yöntemler ve eğitim hatalarına bakıldığında eğitim hatası en düşük yöntem ileri beslemeli geri yayımlı LM yöntemi seçilmiştir. Şekil 4.29’da seçilen ağın MATLAB/nnntool ile tasarlanan genel yapısı ve Şekil 4.30’da eğitim, onaylama, test ve tüm verilerini bir arada bulunduran ve MATLAB/nnntool çıktısı olan regresyon grafikleri verilmiştir. Çizelge 4.14’de ileri beslemeli geri yayımlı LM yöntemi kullanılarak arıza yeri tahminleri gösterilmektedir. Şekil 4.31’de gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği verilmiştir.



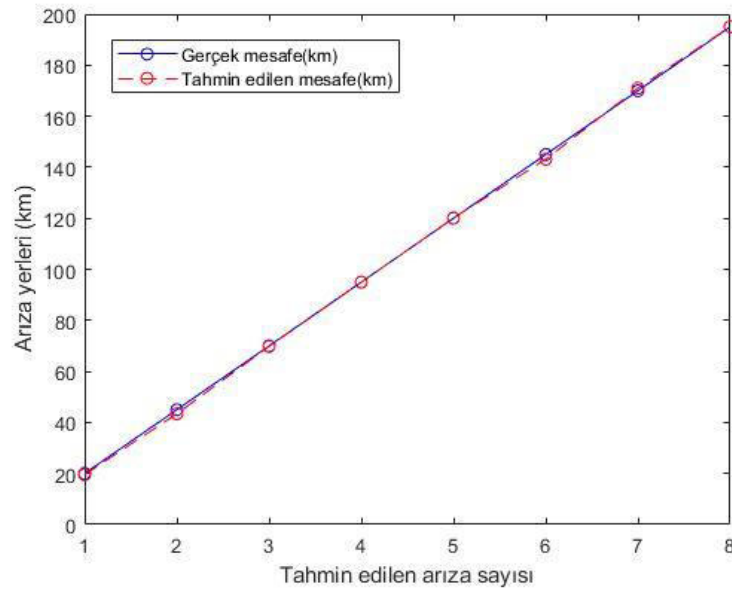
Şekil 4.29. Seçilen ağı MATLAB/nnTool ile modellenen genel yapısı



Şekil 4.30. Eğitim, onaylama, test ve tüm verilerin MATLAB/nnTool çıktısı regresyon grafikleri

Çizelge 4.14. 5 ohm empedans ile topraklanmış sistemde tahmin edilen (km) arıza yerleri ve yüzde hata değerleri

Kullanılan Yöntem	Gerçek Arıza Mesafesi (km)	Tahmin edilen Arıza mesafesi (km)	Yüzde Hata Değeri (%)
İleri Beslemeli Geri Yayılımlı LM	20	19.5275	0.2362
	45	43.39063	0.8046
	70	69.78875	0.1050
	95	94.91938	0.0403
	120	120.1231	0.0615
	145	143.1331	0.9334
	170	171.0181	0.5090
	195	195.0519	0.0259

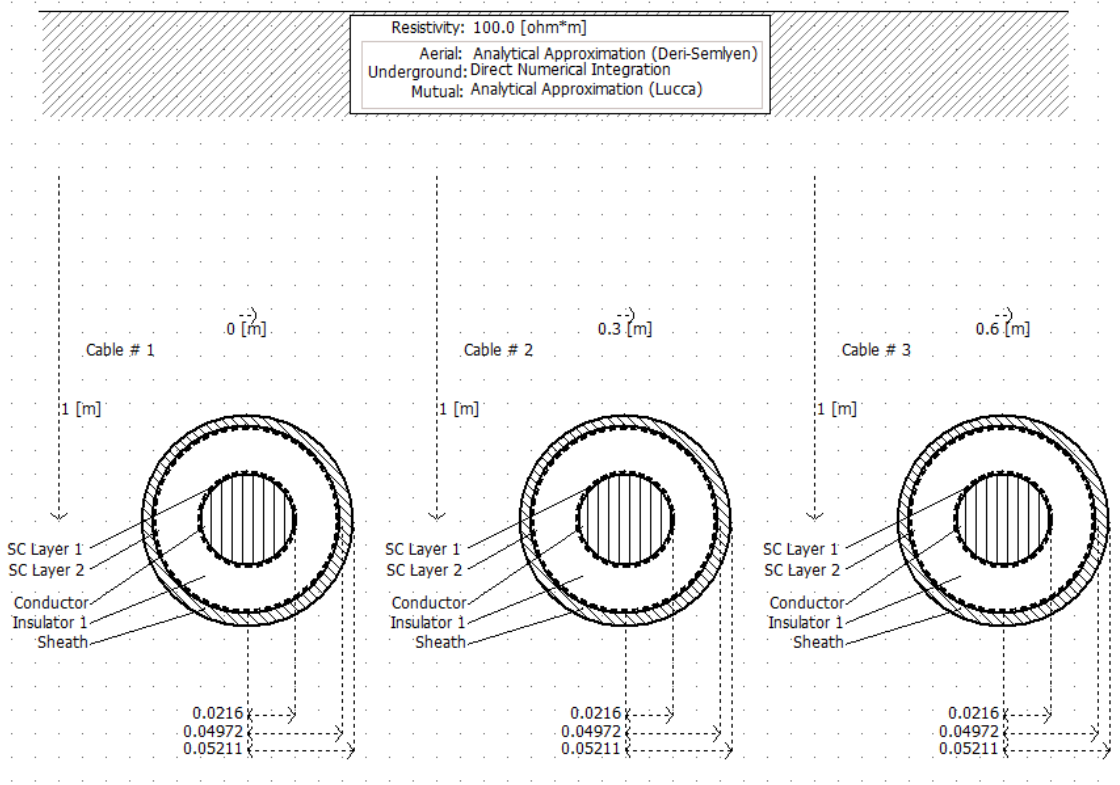


Şekil 4.31. Gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği

Test sonuçlarına göre eğitim hatası RMSE değeri 0.0039, en düşük tahmin hatası %0.0259, en yüksek tahmin hatası %0.9334 ve tüm eğriler için R değeri 0.99999'dur. Bu sonuçlara göre algoritmanın doğruluğu oldukça iyidir ve empedans ile topraklanmış sistemde arıza yeri tahminini etkilememektedir.

4.3. Karma İletim Hatlarının Benzetimi ve Test Sonuçları

PSCADTM / EMTDCTM benzetim programında modellenen yüksek gerilim yeraltı kablosu Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32. Yüksek gerilim yeraltı kablosu modeli

Güç sistemi için PSCADTM / EMTDCTM benzetim programında modellenen 154 kV, 50 Hz, 200 km ve 50 km iki havai iletim hattı ve havai hatlarının arasına 10 km yeraltı kablo hattı kullanılmaktadır. İletim hattı üç fazlı iki güç transformatörüne bağlı iki jeneratör üretim kaynağından oluşur. Havai iletim hattı için kabul edilen model, 154 kV tek devre enerji iletim hattı 1272 MCM iletkenin kesitleri ve direk tipi ‘PB’ kullanılmıştır. Yeraltı kablo iletim hattı için 2XS(FL)2Y 89/154 kV kablo tasarlanmıştır. Transformatörlerin bağlantılarında düşük gerilim tarafı 11 kV yıldız, yüksek gerilim tarafı 154 kV yıldız olarak seçilmiştir. Sistemde 25 MW’lık sabit bir yük kullanılmıştır.

Tasarlanan karma iletim hattında havai iletim hatlarının arasına yeraltı kablo iletim hattı kullanılmıştır. Yapılan çalışmada iki farklı şekilde havai iletim hattında ve

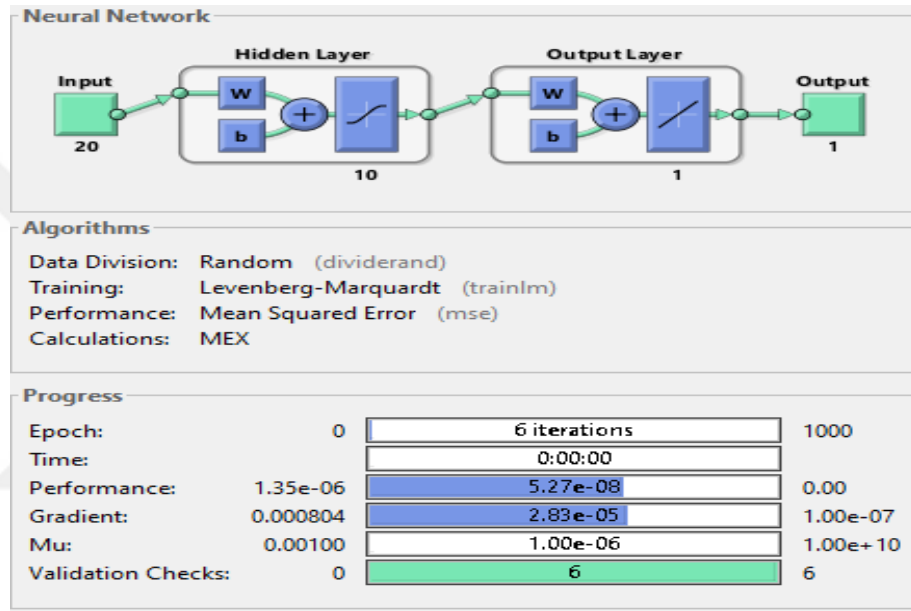
adet faz a-toprak arızaları oluşturulmuştur. Hazırlanan veri seti ile çeşitli ağ tipleri, öğrenme fonksiyonları, eğitim fonksiyonları ve performans fonksiyonları denenerek probleme en uygun ağ yapısı belirlenmiştir. Faz a-toprak arızaları için arıza yeri belirlenmesi problemi ileri beslemeli geri yayımlı, kaskat bağlı ileri beslemeli geri yayımlı ve Elman geri beslemeli üç farklı ağ tipi ile LM, CGB, OSS, GDX ve SCG beş farklı eğitim fonksiyonu kullanılarak yapılmıştır. YSA modelinde gizli katman sayısı, gizli katmanlardaki nöronların sayısı ve gizli katmanlarda hangi aktivasyon fonksiyonunun kullanılacağı deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Belirlenen ağın giriş ve gizli katmanında tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu, çıkış katmanında ise lineer aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Bu katmanlara ait nöron sayıları ise sırasıyla 1, 10 ve 1 olarak belirlenmiştir. İterasyon sayısı 1000 olarak belirlenmiştir. Havai iletim hattı veri setindeki 40 arızanın 32 tanesi eğitim setinde, 8 tanesi test setinde yeraltı kablo iletim hattında 50 arızanın 40 tanesi eğitim setinde, 10 tanesi test setinde kullanılmıştır.

Görüntü işleme yöntemiyle tasarlanan akıllı sistemde YSA ile arıza ve arıza yeri tahmini yapılmıştır. Çizelge 4.15’de havai ileti hattında YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları verilmiştir.

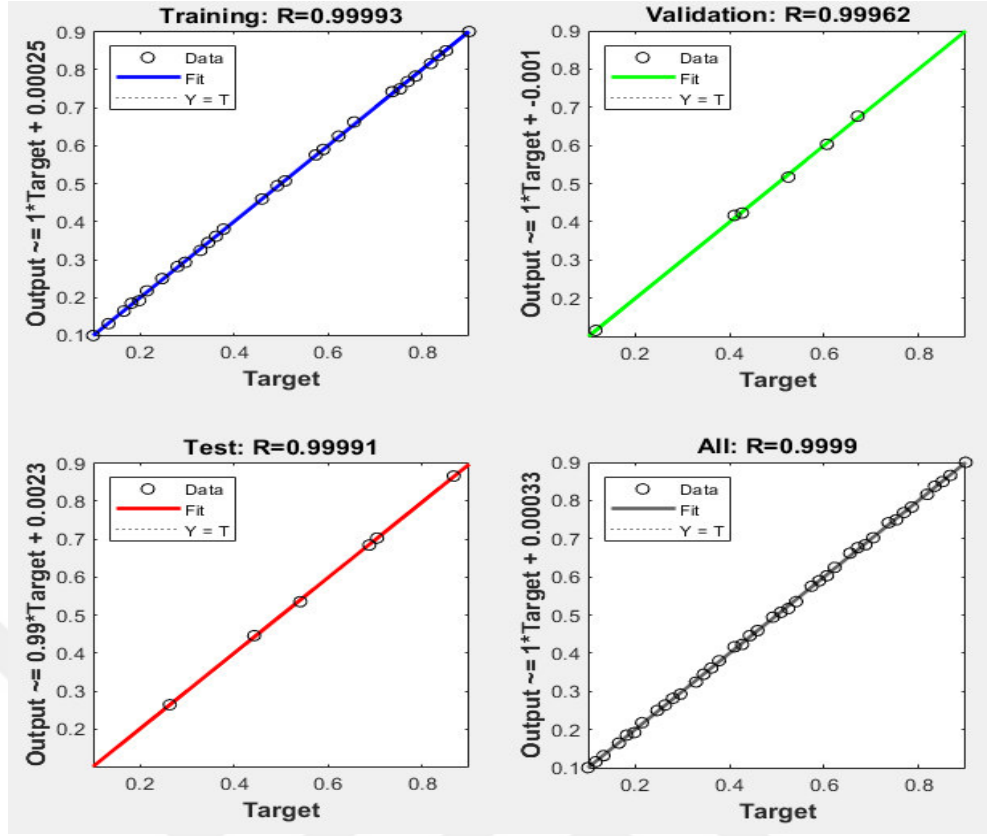
Çizelge 4.15. YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları

Kullanılan Yöntem		RMSE
İleri Beslemeli Geri Yayımlı Ağ	LM	0.0048
	CGB	0.0106
	OSS	0.0269
	GDX	0.0124
	SCG	0.0153
Kaskat Bağlı İleri Beslemeli Geri Yayımlı Ağ	LM	0.0096
	CGB	0.0106
	OSS	0.0411
	GDX	0.0400
	SCG	0.0163
Elman Geri Beslemeli Ağ	LM	0.0062
	CGB	0.0121
	OSS	0.0146
	GDX	0.0157
	SCG	0.0143

Çizelge 4.15’de kullanılan yöntemler ve eğitim hatalarına bakıldığında eğitim hatası en düşük yöntem ileri beslemeli geri yayımlı LM yöntemi seçilmiştir. Şekil 4.35’de seçilen ağın MATLAB/nnTool ile tasarlanan genel yapısı ve Şekil 4.36’da eğitim, onaylama, test ve tüm verilerini bir arada bulunduran ve MATLAB/nnTool çıktısı olan regresyon grafikleri verilmiştir. Çizelge 4.16’da ileri beslemeli geri yayımlı LM yöntemi kullanılarak arıza yeri tahminleri gösterilmektedir. Şekil 4.37’de gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği verilmiştir.



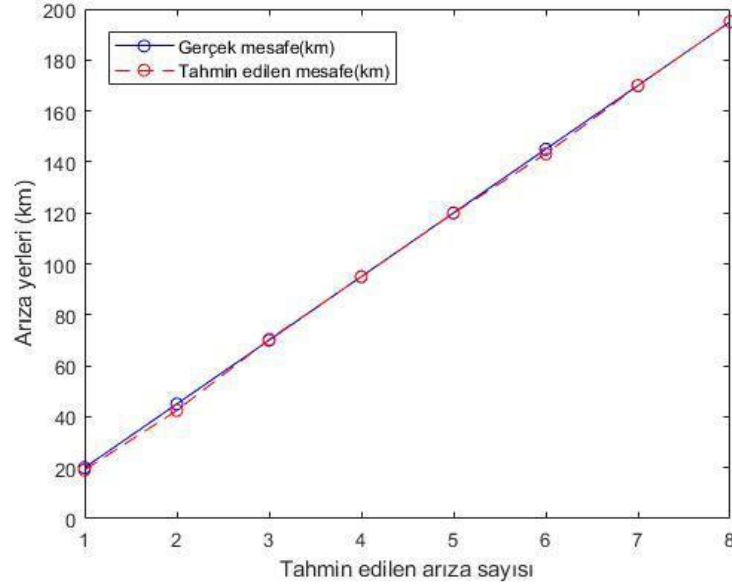
Şekil 4.35. Seçilen ağın MATLAB/nnTool ile modellenen genel yapısı



Şekil 4.36. Eğitim, onaylama, test ve tüm verilerin MATLAB/nnTool çıktısı regresyon grafikleri

Çizelge 4.16. Havai iletim hattında meydana gelen kısa devre sonucunda tahmin edilen (km) arıza yerleri ve yüzde hata değerleri

Kullanılan Yöntem	Gerçek Arıza Mesafesi (km)	Tahmin edilen Arıza mesafesi (km)	Yüzde Hata Değeri (%)
İleri Beslemeli Geri Yayımlı LM	20	19.1131	0.4434
	45	42.4400	1.2800
	70	70.3493	0.1746
	95	94.8706	0.0647
	120	119.8550	0.0725
	145	143.1575	0.9212
	170	169.8725	0.0637
	195	195.0762	0.0381



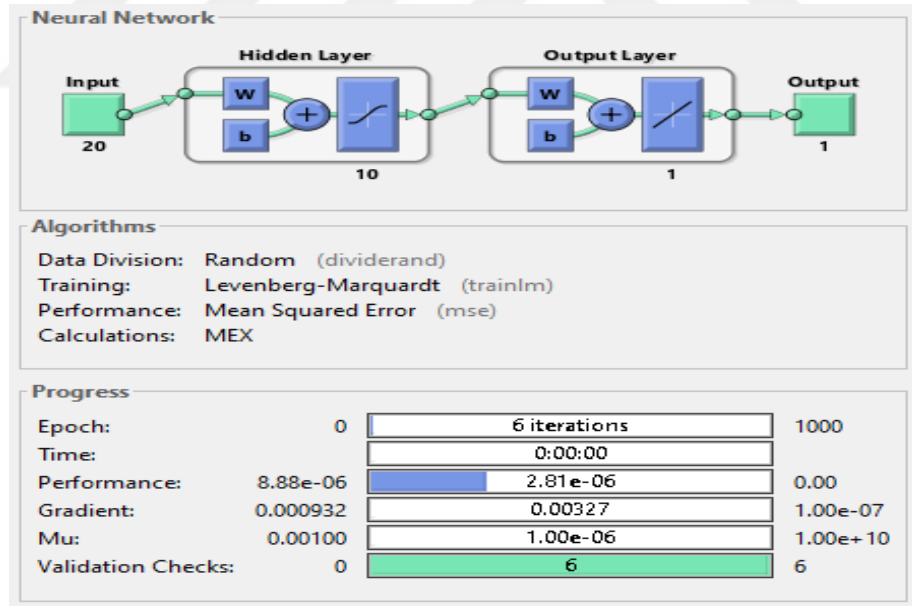
Şekil 4.37. Gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği

Test sonuçlarına göre eğitim hatası RMSE değeri 0.0048, en düşük tahmin hatası %0.0381, en yüksek tahmin hatası %1.28 ve tüm eğriler için R değeri 0.9999'dur. Bu sonuçlara göre algoritmanın doğruluğu oldukça iyidir ve karma iletim hatlarında havai hat kısmında olan arızaların arıza yeri tahminini etkilememektedir. Çizelge 4.17'de yeraltı kablo iletim hattında YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları verilmiştir.

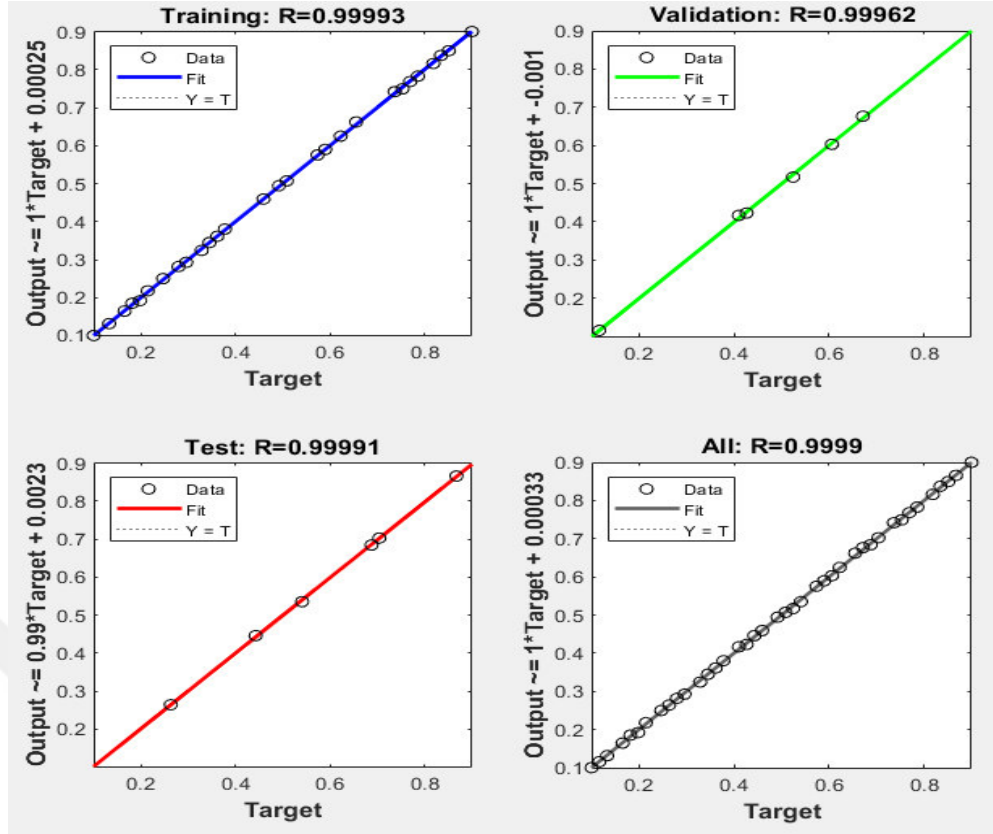
Çizelge 4.17'de kullanılan yöntemler ve eğitim hatalarına bakıldığında eğitim hatası en düşük yöntem ileri beslemeli geri yayımlı LM yöntemi seçilmiştir. Şekil 4.38'de seçilen ağın MATLAB/nnTool ile tasarlanan genel yapısı ve Şekil 4.39'da eğitim, onaylama, test ve tüm verilerini bir arada bulunduran ve MATLAB/nnTool çıktısı olan regresyon grafikleri verilmiştir. Çizelge 4.18'de ileri beslemeli geri yayımlı LM yöntemi kullanılarak arıza yeri tahminleri gösterilmektedir. Şekil 4.40'da gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.17. YSA uygulamasında kullanılan yöntemler ve eğitim hataları

Kullanılan Yöntem		RMSE
İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ	LM	0.0082
	CGB	0.0123
	OSS	0.0176
	GDX	0.0113
	SCG	0.0098
Kaskat Bağlı İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Ağ	LM	0.0139
	CGB	0.0162
	OSS	0.0159
	GDX	0.0144
	SCG	0.0151
Elman Geri Beslemeli Ağ	LM	0.0129
	CGB	0.0135
	OSS	0.0126
	GDX	0.0110
	SCG	0.0120



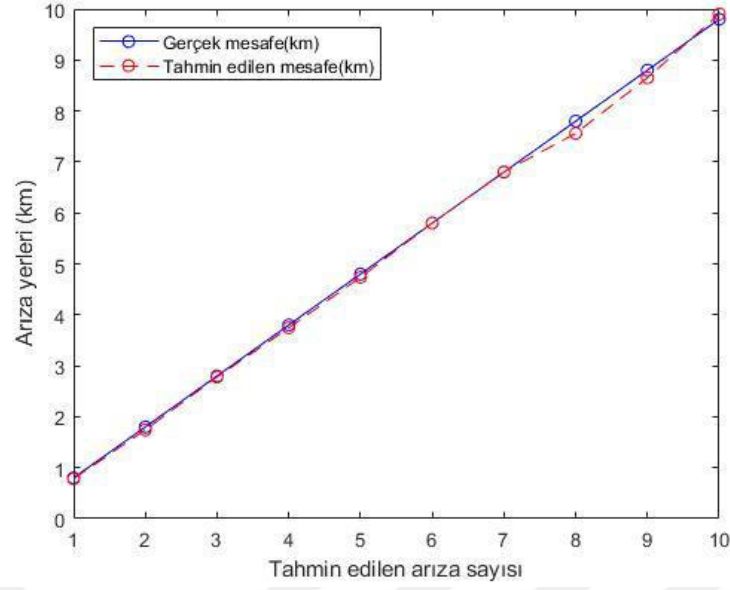
Şekil 4.38. Seçilen ağı MATLAB/nnTool ile modellenen genel yapısı



Şekil 4.39. Eğitim, onaylama, test ve tüm verilerin MATLAB/nnTool çıktısı regresyon grafikleri

Çizelge 4.18. Yeraltı kablo iletim hattında meydana gelen kısa devre sonucunda tahmin edilen (km) arıza yerleri ve yüzde hata değerleri

Kullanılan Yöntem	Gerçek Arıza Mesafesi (km)	Tahmin edilen Arıza mesafesi (km)	Yüzde Hata Değeri (%)
İleri Beslemeli Geri Yayılımlı LM	0.8	0.7831	0.169
	1.8	1.7422	0.578
	2.8	2.7798	0.202
	3.8	3.7439	0.561
	4.8	4.7374	0.626
	5.8	5.8019	0.019
	6.8	6.8076	0.076
	7.8	7.5610	2.390
	8.8	8.6512	1.488
	9.8	9.9020	1.020



Şekil 4.40. Gerçek ve tahmin edilen arıza mesafesi karşılaştırma grafiği

Test sonuçlarına göre eğitim hatası RMSE değeri 0.0082, en düşük tahmin hatası %0.019, en yüksek tahmin hatası %2.39 ve tüm eğriler için R değeri 0.9999'dur. Bu sonuçlara göre algoritmanın doğruluğu oldukça iyidir ve karma iletim hatlarında yeraltı kablo kısmında oluşturulan arızaların arıza yeri tahminini etkilememektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında elektrik enerjisi iletiminde kullanılan mesafe koruma rölesinin çalışması üzerinde ve çalışmasına etki eden durumlar üzerinde durulmuştur. İletim hatlarında meydana gelen kısa devre arızalarını ve arıza yerini yüksek doğrulukla tespit etmek amaçlanmıştır ve üç bölümden oluşan deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Literatürde, enerji iletim hatlarında arıza ve arıza yerini tespit etmek için birçok yöntem kullanılmıştır. Çalışmalar incelendikten sonra bu çalışmada görüntü işleme yöntemi ve YSA kullanılarak arıza ve arıza yeri belirleme problemi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Görüntü işleme yöntemi ve YSA ile, havai iletim hatlarında yüksek empedanslı arıza ve arıza yeri tespitinde, transformatör topraklaması farklılık göstermesi durumunda arıza ve arıza yeri tespitinde, karma iletim hatlarında oluşan arıza ve arıza yeri tespitinde yüksek doğrulukla tahmin ettiği görülmüştür. Ayrıca literatürde yapılan çalışmalara göre ek maliyet gerektirmemesi, iletim hattında oluşacak herhangi bir arızanın sürekli izlenerek anında müdahale yapılabilmesi, arıza ve arıza yerini kısa sürede tespit edebilmesi, değişen hat parametrelerinden etkilenmemesi ve özel tasarlanması gereken filtreler gerektirmemesi gibi durumlardan dolayı görüntü işleme yöntemi ile akıllı sistem tasarımı ön plana çıkmaktadır. YSA modelleri incelendiğinde 3 farklı ağ tipi ve 5 farklı eğitim fonksiyonu kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır ve eğitim hatası en az olan YSA modeli seçilmiştir.

Bu tez çalışmasında ilk olarak havai iletim hatlarında yüksek empedanslı arızalar incelenmiştir. Yüksek empedans arıza sırasında mesafe koruma rölesinin koruma bölgesine girmediği tespit edilmiştir. Görüntü işleme yöntemi ve YSA ile tasarlanan akıllı sistemde farklı empedanslarda ve farklı arıza noktalarında arıza ve arıza yeri tahmini yapılmıştır. Yüksek empedanslı arıza gerçekleştiğinde kullanılan yöntemler ve eğitim hatalarına bakıldığında en iyi sonuç ağ tipi kaskat bağlı ileri beslemeli geri yayımlı, eğitim fonksiyonu LM olduğu görülmüştür. Test sonuçlarına göre tahmin edilen mesafelerde ortalama mutlak hata (OMH) değeri %0.2740'dır. Bu sonuca göre seçilen algoritmanın OMH değeri %1'in altında olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında ikinci olarak iletim hatlarında güç transformatörün topraklama tipine göre farklı kısa devre arızalarına maruz kalmaktadır. Bu çalışmada transformatör topraklamasının mesafe koruma rölesi üzerindeki etkisi incelenerek

dengesiz kısa devre arızalarında sıfır bileşen akımı iletim hattında yüksek frekans ve harmonikler oluşturmaları mesafe koruma rölesinin doğru çalışmasını etkilemektedir. Görüntü işleme yöntemi ve YSA ile tasarlanan akıllı sistemde farklı topraklama tiplerinde ve farklı arıza noktalarında arıza ve arıza yeri tahmini yapılmıştır. Topraklama sistemi farklı olmasına rağmen kullanılan yöntemler ve eğitim hatalarına bakıldığında en iyi sonuç veren ağ tipi ileri beslemeli geri yayımlı, eğitim fonksiyonu LM olduğu görülmektedir. Test sonuçlarına göre farklı topraklama sistemlerinde tahmin edilen mesafelerde OMH değeri %0.2996'dur. Bu sonuca göre seçilen algoritmanın OMH değeri %1'in altında olduğu görülmüştür.

Bu tez çalışmasında üçüncü olarak mesafe koruma röleleri akım ve gerilim büyüklüklerine göre empedans tabanlı arıza ve arıza yeri tespiti yaptığı için karma iletim hatlarında birim uzunluk başına farklı empedans sebebiyle arıza yeri doğru tespit edilememektedir. Bu çalışmada havai iletim hattında ve yeraltı kablo iletim hattında meydana gelen kısa devre arızaları için görüntü işleme yöntemi ve YSA ile tasarlanan akıllı sistemde arıza ve arıza yeri tahmini yapılmıştır. Karma iletim hattında yapılan çalışmalar sonucunda kullanılan yöntemler ve eğitim hatalarına bakıldığında en iyi sonuç veren ağ tipi ileri beslemeli geri yayımlı ağ, eğitim fonksiyonu LM olduğu görülmüştür. Test sonuçlarına göre havai hat kısmında tahmin edilen mesafelerde OMH %0.3822'dir. Bu sonuca göre seçilen algoritmanın OMH %1'in altında olduğu görülmüştür. Test sonuçlarına göre yeraltı kablo hat kısmında tahmin edilen mesafelerde OMH %0.7112'dir. Bu sonuca göre seçilen algoritmanın OMH %1'in altında olduğu görülmüştür.

Uzun iletim hatlarında yüksek empedanslı, topraklama sistemi farklı olması durumunda ve karma iletim hatlarında kısa devre arızalarında arıza ve arıza yeri belirleme probleminde kullanılan ağ tipi ve eğitim fonksiyonları incelendiğinde ileri beslemeli geri yayımlı ağ ve eğitim fonksiyonu LM önerilmektedir.

Sonuç olarak uzun iletim hatlarında yüksek empedanslı, topraklama sistemi farklı olması ve karma iletim hatlarında kısa devre arızası durumunda mesafe koruma rölesinde elde ettiğimiz görüntüleri görüntü işleme yöntemiyle ve YSA kullanılarak gerçekçi ve yüksek tahmin değerleri uygulamalar ile gösterilmiştir.

5.2 Öneriler

Bu tez kapsamında, iletim hatlarında mesafe koruma rölesinin çalışması üzerinde incelemeler yapılmıştır. İncelemeler sonucunda mesafe koruma rölesinin çalışmasına etki eden sebepler yüksek empedanslı arızalar, transformatör nötr topraklaması ve karma iletim hatları olduğu belirlenmiştir ve benzetim çalışmaları yapılmıştır. PSCAD™ / EMTDC™ benzetim programında mesafe koruma rölesinin R-X empedans diyagramında kısa devre anında oluşan görüntüler kayıt altına alınmıştır. Elde edilen görüntüler görüntü işleme yöntemiyle YSA kullanılarak arıza yeri tahmini için en doğru sonuç veren algoritma deneme-yanılma yöntemi ile bulunmuştur.

Elektrik enerjisini kaliteli ve kesintisiz üretilmesi, iletilmesi ve dağıtılması büyük önem taşımaktadır. Tüm bu çalışmaların amacı uzun iletim hatlarında kısa devre arızası olduğunda arızayı ve arıza yerinin hızlı ve güvenilir bir şekilde tespit edebilmektir. Uzun iletim hatlarında arıza yerinin yüksek doğrulukla tahmin etmek arızayı hızlıca müdahale etme imkânı sağlar ve bu sayede arıza yerini belirleme masraflarını düşürecek, arızanın onarımı ve iletim hattının tekrar devreye alınması gibi hızlı yapılması gereken işlemleri hızlandıracak ve kesintilerden dolayı üretim, kullanım ve gelir kayıplarını azaltacaktır. Bu nedenle arızanın hızlı ve doğru bir şekilde tahmini ve belirlenmesi, sistemin işletilme devamlılığı, işletme maliyeti ve işletme güvenliği açısından çok önemlidir. Ayrıca yapılan çalışmada iletim hattında oluşacak herhangi bir arızanın sürekli izlenerek R-X empedans diyagramında oluşan görüntüye göre anında müdahale edilebilir ve değişen hat parametrelerinden etkilenmemesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada mesafe koruma rölesine etki eden üç sebep üzerinde çalışmalar yapılmıştır. İleride gerçekleştirilecek çalışmalarda farklı sebepler üzerinde durulabilir.

YSA modeli olarak 3 farklı ağ tipi ve 5 farklı eğitim fonksiyonu kullanılmıştır. İleride gerçekleştirilecek çalışmalarda farklı ağ tipi ve farklı eğitim fonksiyonları kullanılabilir.

Bu çalışmada 40 görüntü üzerinde çalışmalar yapılmıştır ve YSA'da seçilen algoritmaların arıza yeri belirleme probleminde doğruluğu etkilediği görülmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda görüntü sayısı artırılabilir, farklı algoritmalar kullanılabilir ve tahmin değerleri tekrar değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Akbal, B., 2018, Hybrid GSA-ANN Methods to Forecast Sheath Current of High Voltage Underground Cable Lines, *JCP*, 13 (4), 417-425.
- Aslan, Y., 2012, An alternative approach to fault location on power distribution feeders with embedded remote-end power generation using artificial neural networks, *Electrical Engineering*, 94 (3), 125-134.
- Aydın, H., 2017, Farklı arıza durumları dikkate alınarak enerji iletim sistemi için en uygun röle ayar değerlerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Ayyagari, S. B., 2011, Artificial neural network based fault location for transmission lines.
- Benato, R., Brunello, P., Carlini, E., Di Mario, C., Fellin, L., Knollseisen, G., Laußegger, M., Muhr, M., Paolucci, A. ve Stroppa, W., 2006, Italy–Austria GIL in the new planned railway galleries Fortezza–Innsbruck under Brenner Pass, *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 123 (12), 551-558.
- Bernadić, A. ve Leonowicz, Z., 2012, Fault location in power networks with mixed feeders using the complex space-phasor and Hilbert–Huang transform, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 42 (1), 208-219.
- Budak, S. ve Akbal, B., 2019, Estimation of High Impedance Fault Location in Electrical Transmission Lines Using Artificial Neural Networks and R-X Impedance Graph, *3rd International Web Conference on Forecasting - IWCF'2019*, Giresun University, 21-27.
- Chawla, G., Sachdev, M. S. ve Ramakrishna, G., 2007, DESIGN, IMPLEMENTATION AND TESTING OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK, *Power Plants and Power Systems Control 2006: A Proceedings Volume from the IFAC Symposium on Power Plants and Power Systems Control, Kananaskis, Canada, 2006*, 125.
- Chawla, G., 2010, Design and implementation of ANN based phase comparators applied to transmission line protection, University of Saskatchewan, p.
- Çankaya, G., 2013, Görüntü işleme teknolojisi ile betonun bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Çelik, E., 2014, Görüntü işlemeye dayalı avuç içi izinin yapay sinir ağı ile tanınması.
- Demir, Ö., 2006, Matlab gereçleri ile görüntü işleme uygulamaları, Yüksek Lisans, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Dos Santos, R. C. ve Senger, E. C., 2011, Transmission lines distance protection using artificial neural networks, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 33 (3), 721-730.
- El-Hami, M., Lai, L., Daruvala, D. ve Johns, A., 1992, A new travelling-wave based scheme for fault detection on overhead power distribution feeders, *IEEE transactions on power delivery*, 7 (4), 1825-1833.
- Farhat, I., 2003, Fault detection, classification and location in transmission line systems using neural networks, *Concordia University*.
- Fausett, L., 1994, Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms, and applications, Prentice-Hall, Inc., p.
- Filomena, A. D., Salim, R. H., Resener, M. ve Bretas, A. S., 2008, Ground distance relaying with fault-resistance compensation for unbalanced systems, *IEEE transactions on power delivery*, 23 (3), 1319-1326.

- Fletcher, D. ve Goss, E., 1993, Forecasting with neural networks: an application using bankruptcy data, *Information & Management*, 24 (3), 159-167.
- Gatta, F. ve Lauria, S., 2005, Very long EHV cables and mixed overhead-cable lines. Steady-state operation, *2005 IEEE Russia Power Tech*, 1-7.
- Glover, J. D., Sarma, M. S. ve Overbye, T. J., 2012, Power System, *Analysis and Design, Stamford: Cengage Learning*.
- Goh, H. H., Sim, S., Mohamed, M. A. H., Rahman, A. K. A., Ling, C. W., Chua, Q. S. ve Goh, K. C., 2017, Fault location techniques in electrical power system: A review, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 8 (1), 206-212.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E. ve Masters, B. R., 2008, Digital image processing third edition, *Pearson International Edition*.
- Goyal, S. ve Goyal, G. K., 2011, Cascade and feedforward backpropagation artificial neural networks models for prediction of sensory quality of instant coffee flavoured sterilized drink, *Canadian Journal on Artificial Intelligence, Machine Learning and Pattern Recognition*, 2 (6), 78-82.
- Grainger, J. J., Stevenson, W. D. ve Stevenson, W. D., 2003, Power system analysis, p.
- Guangfu, X., Jinxue, G., Chunhe, Z. ve Qunbing, Y., 2010, The influence of low resistance grounding system in delta side of transformer on differential protection and its solutions, *CICED 2010 Proceedings*, 1-6.
- Han, J. ve Crossley, P. A., 2013, Fault location on mixed overhead line and cable transmission networks, *2013 IEEE Grenoble Conference*, 1-6.
- Han, J., 2015, Fault Location on Mixed Overhead Line and Cable Network, *University of Manchester*.
- Han, J. ve Crossley, P. A., 2015, Traveling wave fault locator for mixed, overhead, and underground teed transmission feeders, *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 10 (4), 383-389.
- Haykin, S., 1994, Neural networks: a comprehensive foundation, Prentice Hall PTR, p.
- Jamil, M., Sharma, S. K. ve Singh, R., 2015, Fault detection and classification in electrical power transmission system using artificial neural network, *SpringerPlus*, 4 (1), 1-13.
- Jayalakshmi, T. ve Santhakumaran, A., 2011, Statistical normalization and back propagation for classification, *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 3 (1), 1793-8201.
- Johns, A., Lai, L., El-Hami, M. ve Daruvala, D., 1991, New approach to directional fault location for overhead power distribution feeders, *IEE Proceedings C (Generation, Transmission and Distribution)*, 351-357.
- Judendorfer, T., Pack, S. ve Muhr, M., 2008, Aspects of high voltage cable sections in modern overhead line transmission systems, *2008 International Conference on High Voltage Engineering and Application*, 71-75.
- Kabalıcı, E., 2014, Yapay sinir ağları, *Ders Notları* <https://ekblc.files.wordpress.com/2013/09/ysa.pdf>.
- Karasu, S., Altan, A., Saraç, Z. ve Hacıoğlu, R., 2018, Prediction of Bitcoin prices with machine learning methods using time series data, *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1-4.
- Kekre, H., Thepade, S. D., Sarode, T. K. ve Suryawanshi, V., 2010, Image Retrieval using Texture Features extracted from GLCM, LBG and KPE, *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 2 (5), 695.
- Kiki, M., 2018, Price forecasting day-ahead Turkey Electricity Market using artificial neural network, *Erzincan Üniversitesi*, 93.

- Lin, X., Ke, S., Gao, Y., Wang, B. ve Liu, P., 2011, A selective single-phase-to-ground fault protection for neutral un-effectively grounded systems, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 33 (4), 1012-1017.
- Makinisti, S., 2018, Derin Öğrenme (Yapay Sinir Ağları-3), <http://buyukveri.firat.edu.tr/2018/04/16/derin-ogrenme-yapay-sinir-aglari-3/>: [26 Mart 2020].
- Meddeb, A., Amor, N. ve Chebbi, S., 2019, Impact of System Grounding on Distance Relay Operating, *2019 International Conference on Advanced Systems and Emergent Technologies (IC_ASET)*, 1-5.
- Milosevic, M., Jankovic, D. ve Peulic, A., 2014, Thermography based breast cancer detection using texture features and minimum variance quantization, *EXCLI journal*, 13, 1204.
- Nag, A. ve Yadav, A., 2016, Artificial neural network for detection and location of faults in mixed underground cable and overhead transmission line, In: CIIT 2016, Eds, p.
- Osman, A., Abdelazim, T. ve Malik, O., 2005, Transmission line distance relaying using on-line trained neural networks, *IEEE transactions on power delivery*, 20 (2), 1257-1264.
- Özevin, E., 2015, Elektrik güç sistemlerinde hatların kısa devre ve güç salınımlarına karşı nümerik mesafe röleleri ile korunmasının incelenmesi ve dinamik simülasyonunun gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Öztemel, E., 2012, Yapay sinir ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul, p.
- Pamuk, N., 2014, 2XS (FL) 2Y 87/150 (170) kV Yüksek Gerilim Güç Kablosu Yalıtım Arızasının İncelenmesi ve Elektriksel Ölçüm Testleri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2 (2), 284-294.
- Popov, M., Rietveld, G., Radojevic, Z. ve Terzija, V., 2013, An efficient algorithm for fault location on mixed line-cable transmission corridors, *International Conference on Power Systems Transients (IPST)*.
- Pourahmadi-Nakhli, M. ve Safavi, A. A., 2010, Path characteristic frequency-based fault locating in radial distribution systems using wavelets and neural networks, *IEEE transactions on power delivery*, 26 (2), 772-781.
- Saha, M. M., Izykowski, J. J. ve Rosolowski, E., 2009, Fault location on power networks, Springer Science & Business Media, p.
- Saner, Y., 2014, Güç dağıtımı 6 ölçme ve koruma, Ankara, Türkiye: Birsan Yayınevi.
- Sarwade, A., Katti, P. ve Ghodekar, J., 2017, Fault diagnosis in distance protection scheme using Rogowski coil and artificial neural network, *2017 7th International Conference on Power Systems (ICPS)*, 451-456.
- Sedighzadeh, M., Rezazadeh, A. ve Elkalashy, N. I., 2010, Approaches in high impedance fault detection a chronological review, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 10 (3), 114-128.
- Swingler, S., Barber, K., Daly, J., Awad, R., Antic, J. ve Zenger, W., 2007, Statistics of AC underground cables in power networks, *CIGRE TB*, 338, 1-138.
- Şalvarcı, Ü. B., 2017, Yapay sinir ağları kullanarak görüntü işlemeye dayalı ağırlık tahmini, Yüksek Lisans, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 85.
- Tang, Y., Wang, H., Aggarwal, R. ve Johns, A., 2000, Fault indicators in transmission and distribution systems, *DRPT2000. International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies. Proceedings (Cat. No. 00EX382)*, 238-243.

- Tatar, A., 2007, İletim sistemlerinde yapay sinir ağları ile mesafe koruması uygulamaları, Yüksek Lisans, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş.
- Theron, J. J., Pal, A. ve Varghese, A., 2018, Tutorial on high impedance fault detection, *2018 71st Annual Conference for Protective Relay Engineers (CPRE)*, 1-23.
- Tziouvaras, D., 2006, Protection of high-voltage AC cables, *59th Annual Conference for Protective Relay Engineers, 2006.*, 48-61.
- Tziouvaras, D. A., Chano, S. R., Chanelière, J.-L., Holbach, J., Moroni, S., Sachdev, M. S. ve Zavolas, C. E., 2008, Modern Distance Protection: Functions and Applications, CIGRÉ, p.
- Uyar, Y., 2018, Yeni nesil dağıtım şebekelerinde kullanılan yönlü aşırı akım rölelerinde hat kopukluğu ve arıza noktası tespiti, Yüksek Lisans, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Wedepohl, L. ve Wilcox, D., 1973, Transient analysis of underground power-transmission systems. System-model and wave-propagation characteristics, *Proceedings of the institution of electrical engineers*, 253-260.
- Yavuz, S. ve Deveci, M., 2012, İstatiksel normalizasyon tekniklerinin yapay sinir ağı performansına etkisi, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* (40), 167-187.
- Yılmaz, O., 2014, Elektrik dağıtım sistemlerinde kısa devre analizi ve uygulaması, Yüksek Lisans, *Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tunceli.
- Zahra, F., Jeyasurya, B. ve Quaicoe, J., 2000, High-speed transmission line relaying using artificial neural networks, *Electric Power Systems Research*, 53 (3), 173-179.
- Zeng, X.-j., Pan, H., Liu, H., Hu, X.-x. ve Luo, X.-l., 2012, Voltage travelling wave based smart re-closure for cables and overhead mixed lines, *Energy Procedia*, 14, 1355-1361.
- Zhang, S., Gao, H. ve Song, Y., 2015, A new fault-location algorithm for extra-high-voltage mixed lines based on phase characteristics of the hyperbolic tangent function, *IEEE transactions on power delivery*, 31 (3), 1203-1212.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Serkan BUDAK
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar – 04.01.1994
Telefon : +90 531 649 87 57
E-Posta : sbudak@ktun.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Kocatepe Anadolu Lisesi, Merkez, Afyon			2012
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya			2017
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, Konya			Devam ediyor
Doktora	:			

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015	Kader-Aslan Mühendislik	Stajyer
2016	TEİAŞ	Stajyer
2019 - ~	Konya Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

İletim ve dağıtım hatları, yüksek gerilim, görüntü işleme, yapay zekâ, kontrol ve otomasyon.

YABANCI DİLLER

İngilizce (YÖKDİL 75.00)

İLGİ ALANLARI

Araba kullanmak, futbol, seyahat etmek, müzik dinlemek, spor yapmak, araştırma yapmak.

YAYINLAR

- Budak, S. ve Akbal, B., 2019, Estimation of High Impedance Fault Location in Electrical Transmission Lines Using Artificial Neural Networks and R-X Impedance Graph, *3rd International Web Conference on Forecasting - IWCF'2019*, Giresun University, 21-27.