



A new wide area-based algorithm to determine faulted line in series-compensated grid using k-nearest neighbor (k-NN) classification method

Doğan Can Samuk^{1*}, Fatih Mehmet Nuroğlu²

¹Department of Electrical and Electronics Engineering, Recep Tayyip Erdogan University, Rize, 53100, Turkey

²Department of Electrical and Electronics Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon, 61080, Turkey

Highlights:

- The difference between proposed algorithm and the other algorithms is that faulted line can be determined in grid.
- Proposed algorithm works regardless of series capacitor switch on or off.
- Algorithm can also calculate the location of the fault.

Keywords:

- Series Capacitor
- Distance Relay
- Wide Area Measurement
- Synchrophasor Measurement Unit
- K-NN

Graphical/Tabular Abstract

Problem Identification	• Distance protection relays malfunction due to voltage and current inversion or overreaching in the series-compensated lines.
Purpose	• Design an algorithm to determine the faulted line.
Method	• Synchrophasor measurement unit • Wide area monitoring • K-Nearest Neighbor classification method
Conclusion	• Application of proposed method to the test system • Examination of results

Figure A. General view of the study

Article Info:

Research Article
Received: 31.10.2019
Accepted: 22.10.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.640572

Correspondence:

Author: Doğan Can Samuk
e-mail:
dogancan.samuk@erdogan.edu.tr
phone: +90 464 223 7518

Purpose: The aim of this study is to eliminate the maloperation of distance relays caused by the capacitor effect in the series-compensated transmission lines.

Theory and Methods:

In this study, a new fault location algorithm based on wide area monitoring is proposed. The algorithm can determine the faulted line using K-NN classification method. Radial grid has been created in the Digsilent Power Factory program to test the proposed algorithm. The nominal voltage of the system is 380 kV and the frequency is 50 Hz.

Results:

The test of proposed algorithm has been done by generating 2-phase, 3-phase, 2-phase to ground and single phase to ground short circuit faults in the radial network. The effect of fault impedance on the algorithm has also been examined setting different fault impedances in all fault types. According to the results, the algorithm has worked properly in determining the faulted line.

Conclusion:

The operation of distance relays located faulted line and adjacent lines can be rearranged using this algorithm. In this way, it has the potential to solve the negative effects of the series capacitor on the series-compensated transmission lines.



Seri kapasitör içeren şebekelerde k-en yakın komşuluk (k-EYK) sınıflandırma yöntemi kullanılarak geniş bölge izleme tabanlı yeni bir arızalı hat belirleme algoritması

Doğan Can Samuk^{1*}, Fatih Mehmet Nuroğlu²

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zihni Derin Kampüsü, Fener, Rize, 53100, Türkiye
²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kanuni Kampüsü, Kalkınma, Trabzon, 61080, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Önerilen algoritma ile diğer algoritmalar arasındaki fark, hatalı hattın şebekede belirlenebilmesidir
- Önerilen algoritma, seri kapasitör anahtarının açık veya kapalı olmasına bakılmaksızın çalışır
- Algoritma ayrıca hatanın yerini de hesaplayabilir

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 31.10.2019
Kabul: 22.10.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.640572

Anahtar Kelimeler:

Seri kapasitör,
mesafe rölesi,
geniş bölge izleme,
senkrofazör ölçüm,
k-en yakın komşuluk

ÖZET

Günümüzde seri kapasitörler uzun iletim hatlarında, kayıpların azaltılması ve transfer kapasitesinin artırılmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Kapasitörler aynı zamanda şebekenin gerilim kararlılığının iyileştirilmesinde de önemli rol oynamaktadır. Sağladığı bu olumlu katkıların yanında seri kapasitörlerin buldukları hattaki mesafe koruma rölelerinin çalışmasını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Bu çalışmada seri kapasitör bulunan şebekelerde sürekli durumda arızalı hattın tespiti için k-EYK sınıflandırma yöntemi kullanılarak geniş bölge izleme tabanlı bir koruma algoritması önerilmiştir. Algoritmanın testi çevrimdışı olarak Digsilent Power Factory programında oluşturulan radyal şebekede yapılmıştır. Test için oluşturulan kısa devre senaryolarında farklı arıza empedansları altında 2-faz, 3-faz, 2-faz toprak ve tek-faz toprak arızaları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre önerilen algoritmanın hatların belirli noktalarında oluşturulan kısa devrelerde arızalı hattı doğru bir şekilde tespit edebildiği görülmüştür. Çalışmada ayrıca şebeke için arızalı hattın tespiti yapıldıktan sonra alınacak önlemleri kapsayan bir koruma şeması önerilmiştir.

A new wide area-based algorithm to determine faulted line in series-compensated grid using k-nearest neighbor (k-NN) classification method

H I G H L I G H T S

- The difference between proposed algorithm and the other algorithms is that faulted line can be determined in grid
- Proposed algorithm works regardless of series capacitor switch on or off
- Algorithm can also calculate the location of the fault

Article Info

Research Article
Received: 31.10.2019
Accepted: 22.10.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.640572

Keywords:

Series capacitor,
distance relay,
wide area monitoring,
syncrophasor measurement,
k-nearest neighbor

ABSTRACT

Nowadays, series capacitors are frequently used to increase the transfer capacity and reduce losses on long transmission lines. They also play an important role in improving the voltage stability of the grid. In addition to the positive contributions, it is known that series capacitors affect the operation of distance relays negatively in series-compensated lines and adjacent lines. In this study, a protection algorithm based on wide-area monitoring is proposed using the K-NN classification method to protect series compensated transmission lines in steady-state. The algorithm is tested offline in the radial grid created in the Digsilent Power Factory program. In short circuit scenarios, 2-phase, 3-phase, 2-phase to ground and single-phase to ground faults are analyzed under different fault impedances. According to the results, in case of short circuit faults at certain locations of the lines, the proposed algorithm has determined the faulted line accurately. After the faulted line has been determined, a protection scheme is also proposed for the network.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya nüfusunun sürekli artması ve sanayinin gelişmeye devam etmesi elektrik enerjisine olan ihtiyacı da paralelinde artırmaktadır. Bu nedenle güç sistemlerinin beklenmedik arızalara karşı güvenli ve ekonomik bir şekilde işletilmesi müşteriler için önemli bir konu haline gelmiştir [1-3]. Enerji kesintisi ve gerilim çökmesi gibi olayların artması araştırmacıları kısa devre arıza tespiti için sürekli yeni çözümler üretmeye teşvik etmektedir. Seri kapasitörlerin iletim hatlarında koruma görevini yerine getiren mesafe koruma rölelerinin çalışmasını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir [4, 5]. Kapasitörler hattın empedans değerini değiştirdiğinden mesafe röleleri, kademe genişlemesi, gerilimin veya akımın yön değiştirmesi gibi durumlara maruz kalmaktadır [6-8]. Meydana gelen bu olaylar farklı karakteristik özelliklere sahip olsalar da ortak noktaları mesafe rölesinin hatalı çalışmasına sebebiyet vermektir. Bu nedenle bu tür hatlarda doğru arıza yeri tespiti için yöntemler geliştirilmesi önemli bir çalışma konusudur.

Literatürde bugüne kadar bu problemin çözümü için birçok algoritma geliştirilmiştir. Yürüyen dalga metodu, fazör ölçüm prensibi ve arıza öncesi alınan eğitim verilerine dayalı olanlar bunlardan bazılarıdır. Bu yöntemlerde baralardan alınan akım ve gerilim bilgileri kullanılarak arıza noktası tespit edilmektedir [9]. Yürüyen dalga tabanlı algoritmada hat parametreleri ve şebeke konfigürasyonu dikkate alınmadan arıza yeri tespit edilebilmektedir. Bu nedenle bu yöntemin seri kapasitör bulunan iletim hatlarında kullanılması uygundur [10-12]. Ancak bu yöntemde arızaya yakın olan bara ve uzaktaki baradan alınan sinyallerin ayırt edilememesi sorun teşkil etmektedir. Günümüzde fazör ölçüm tabanlı algoritmalar da seri kapasitörlü hatlarda arıza yeri tespitinde sıklıkla kullanılmaktadır [13-21]. Bu yöntemde fazör ölçüm ünitelerinden senkronize şekilde alınan gerilim ve akım bilgileri arıza öncesinde alınan veriler ile karşılaştırılarak arıza tespiti yapılmaktadır. Bunun yanında fazör ölçüm üniteleri ile senkronize olmayan ölçümler kullanılarak geliştirilen algoritmalar da vardır [22, 23]. Eğitim verilerine dayalı olan yapay sinir ağları, destek vektör makineleri, dalgacık dönüşümü yöntemi gibi makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar da literatürde kullanılmıştır [24-28]. Bu algoritmalarda arıza yeri, arıza öncesi alınan veriler kullanılarak yapılan sınıflandırma işlemi sonucunda tespit edilmektedir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, sadece seri kapasitörün bulunduğu hat için arıza yeri belirleme üzerinde durulduğu görülmektedir. Seri kapasitörün bulunduğu hat veya komşu hatlarda oluşan arızalarda, kapasitörlü hat veya komşu hatlarda bulunan rölelerin de olumsuz etkilendiği yapılan çalışmalarla ortaya koyulmuştur [29, 30]. Özellikle seri kapasitörlü hatların birden fazla olduğu trafo merkezlerinde (TM) ve karşı TM'lerde problemler oluşmaktadır. Bu durum hat üzerinde, arıza noktasından ziyade hangi hatta arıza olduğu konusunu önemli hale getirmektedir.

Bu çalışmada k-EYK sınıflandırma yöntemi kullanılarak geniş bölge izleme tabanlı yeni bir arızalı hat belirleme algoritması önerilmiştir. Bu algoritma ile fazör ölçüm prensibine dayalı olarak kapasitörün bulunduğu bölgeye ait belirli baralardan alınan akım ve gerilim bilgileri kullanılmaktadır. Alınan bu veriler ile yapılan sınıflandırma işlemi sonucunda kısa devrenin meydana geldiği hat belirlenebilmektedir. Algoritmada arızalı hattı belirleme işlemi sürekli durumda alınan fazör verilerin çevrimdışı çalışmada karşılaştırılması esasına dayanır. Algoritmanın uygulanacağı hat modellenerek belli noktalarında kısa devreler oluşturulur ve eğitim verileri elde edilir. Daha sonra test için kısa devreler oluşturulur ve sürekli durumda elde edilen veriler ile modelden alınan veriler karşılaştırılarak arızalı hat tespit edilir. Literatürde bulunan çalışmalardan farklı olarak önerilen algoritma ile seri kapasitörün bulunduğu hatta meydana gelen arızalarla birlikte, komşu hatlarda meydana gelen arızalarda da kısa devre arızaları tespit edilebilmektedir. Günümüzde kullanılan dijital mesafe koruma rölelerinde seri kapasitör kademeleri bulunmakta ve kapasitör devrede iken rölelerin kapasitör ayarı aktif hale getirilerek oluşabilecek olumsuz durumun önüne geçilebilmektedir. Ancak bu durum her defasında elle ayarlama gerektirmesi veya kapasitör ayarı yapılmasına rağmen yanlış açmaların önüne geçilememesi gibi sebeplerden dolayı dezavantaj oluşturmaktadır. Özellikle seri kapasitör bulunmayan komşu hatlarda yanlış açmalar meydana gelmektedir. Önerilen algoritma seri kapasitörün devrede olup olmamasından bağımsız olarak arızalı hattı tespit edebilmekte ve bunun yanında arızanın konumunu da belirleyebilmektedir.

Çalışmanın geri kalan bölümlerini kısaca özetlemek gerekirse, bölüm 2'de teorik altyapı başlığı altında k-EYK, senkrofazör ölçüm ünitesi ve pilot röleler hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 3'te test sisteminin tanıtımı ve kısa devre analizleri sunulmuştur. Bölüm 4'te önerilen algoritmanın çalışma yapısı ve test sistemine uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar verilmiştir. Son olarak bölüm 5'te çalışmadan çıkarılan sonuçlar sıralanmıştır.

2. TEORİK ALTYAPI (THEORETICAL BACKGROUND)

2.1. K-En Yakın Komşuluk Sınıflandırma Metodu (k-Nearest Neighbor Classification Method)

K-En Yakın Komşuluk kısaca k-EYK, veri madenciliğinde kullanılan bir sınıflandırma yöntemidir [31, 32]. Bu yöntemde eğitim verileri ve test verileri olmak üzere iki adet veri kümesi vardır. Sınıfı bilinmeyen ve tespit edilecek veriler test verisi, sınıfı bilinen ve test verisinin sınıfını belirlemede kullanılan veriler ise eğitim verisi olarak isimlendirilir. k-EYK yöntemindeki "k" ifadesi dikkate alınacak komşu verilerin sayısını belirtir. Yöntemde test verisinin eğitim verilerine olan uzaklıkları hesaplanır. Test verisinin en yakınındaki k adet eğitim verisi çoğunlukla hangi sınıfa aitse test verisinin de o sınıfa ait olduğu varsayılır. Genellikle k-EYK sınıflandırma yönteminde

uzaklık hesabı Öklid uzaklık ölçütü ile yapılmaktadır. $A = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ve $B = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$ noktaları arasındaki Öklid uzaklığı Eş. 1'deki gibi hesaplanır.

$$|AB| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

K-EYK yönteminin bu çalışmada tercih edilme nedeni, sayısal veriler üzerinde uygulanmasının basit olması ve eğitim verilerinin fazla olduğu durumda diğer yöntemlere göre avantajlı olmasıdır.

2.2. Senkrofazör ölçüm üniteleri (Synchrophasor measurement units)

Güç sistemlerinde senkrofazörler, Global Position System (GPS)'e dayalı olarak elde edilmiş gerilim veya akım fazörleri anlamına gelir [33]. Senkrofazör ölçüm üniteleri ise senkronize bir şekilde gerilim ve akım fazörlerini ölçmeye yarayan cihazlardır. Güç sistemlerine sağladıkları en önemli avantajlar, gerçek zamanlı ve yüksek hassasiyetli ölçüm yapabilmeleri ve ölçülen fazörlerin anlık olarak karşılaştırılabilmesine olanak sağlamalarıdır.

Senkrofazör ölçüm üniteleri sayesinde güç sistemlerinin anlık olarak izlenebilmesi enerji kesintisi ve gerilim çökmesi gibi beklenmedik olayların önüne geçilmesi ve sistemin güvenli bir şekilde işletilebilmesi açısından önemlidir. Bu sayede şebekenin belirli noktalarından alınan ölçümlerin yüksek bir hassasiyetle karşılaştırılması ve gerçek zamanlı koruma eylemlerinin başlatılması mümkün hale gelmektedir. Ölçümler sonucu alınan veriler ile güç sistemleri üzerinde analizler yapılarak sistemin daha güvenli ve ekonomik işletilmesi sağlanabilmektedir.

2.3. Pilot Röle (Pilot Relaying)

Pilot röle, iki veya daha fazla trafo merkezi arasında bulunan röleler ile haberleşmeyi sağlayan iletişim ağı anlamına gelir [34]. Pilot röle, arıza durumunda ağda bulunan rölelere sinyal göndererek rölelerin açma yapma veya yapmamasına olanak tanır. Buradaki amaç, iletim hattında bir kısa devre arızası meydana geldiğinde arızalı hattı olabilecek en hızlı şekilde enerjisiz bırakarak sistemden ayırmak veya kısa devreden etkilenmeyen hatların gereksiz yere enerjisiz kalmasını önleyebilmektir.

Pilot röleler blokaj sinyallerini kuran portörler, telefon hatları, fiber optik kablolar veya mikrodalga sinyalleri gibi çeşitli kanallar yardımıyla iletebilirler. Bu kanallar yoluyla uygulanan koruma şemaları, müsaadeli aşırı ve düşük menzil kesici açtırma, yönlü karşılaştırmalı blokaj-blokajı kaldırma, direkt düşük menzil kesici açtırma ve direkt kesici açtırma olarak sıralanabilir.

Müsaadeli aşırı menzil koruma şemasında kesici uzak uçtaki röleden veya yerel bir röleden açma sinyali alır. Yönlü karşılaştırmalı blokaj şemasında yerel röle arızayı algılayarak kesiciye açma sinyali gönderir. Komşu hatlarda bulunan rölelerin yanlış açmasını engellemek için ise bu rölelere blokaj sinyali gönderilir. Direkt kesici açtırma şeması trafolarında veya hatlarda ciddi bir olay yaşandığında devreye girer. Buna göre röleye bağlı olan tüm kesiciler açar ve arızanın temizlenmesi sağlanır.

3. TEST SİSTEMİ VE KISA DEVRE ANALİZLERİ (TEST SYSTEM AND SHORT CIRCUIT ANALYSIS)

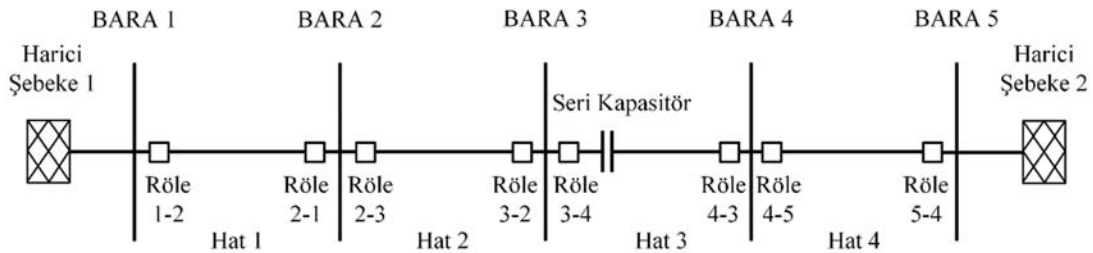
3.1. Radyal Test Sistemi (Radial Test Sistemi)

Önerilen algoritmanın testi için Digsilent Power Factory programında bir radyal test sistemi oluşturulmuştur. Test sistemi biri seri kapasitörlü olmak üzere 4 adet iletim hattından oluşmaktadır. Sistemin nominal gerilimi 380 kV ve frekansı 50 Hz'dir. Modelde kullanılan seri kapasitör 33 Ω reaktans değerindedir ve hat 3'ün bara 3 tarafına yakın olacak şekilde yerleştirilmiştir. Radyal test sisteminin tek hat şeması Şekil 1'de verilmiştir.

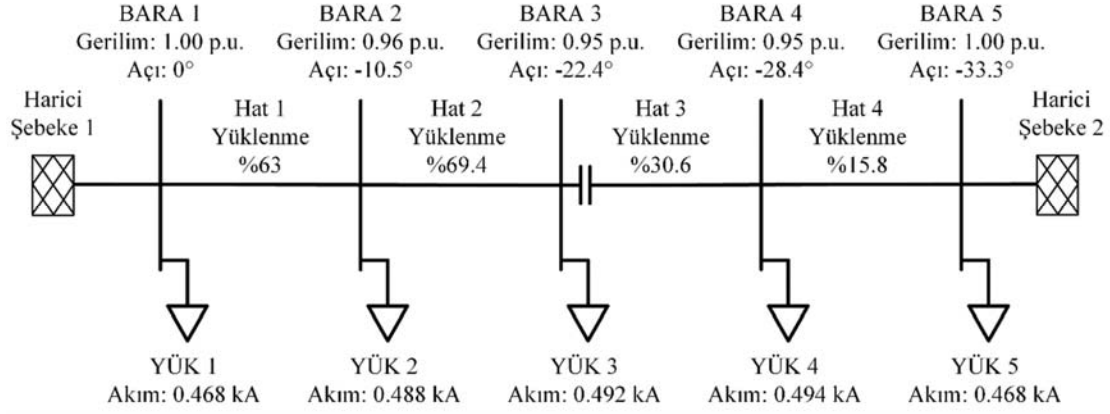
Hatların koruması, baralara karşılıklı olarak yerleştirilen mesafe koruma röleleri ile sağlanmaktadır. Şebekede kullanılan rölelerin kademe zaman ayarları TEİAŞ koruma felsefesine uygun olarak yapılmıştır. Buna göre röleler 1. kademede zaman gecikmesiz, 2. kademede 400 ms zaman gecikmeli ve 3. kademede ise 800 ms zaman gecikmeli çalışacak şekilde ayarlanmıştır.

Şebekede bulunan hatlara ait veriler Tablo 1'de verilmiştir.

Radyal şebekede Harici Şebeke 1 referans bara ve Harici Şebeke 2 generatör bara seçilerek yapılan yük akış analizi sonucu Şekil 2'de verilmiştir. Her iki barada da gerilimin genliği 1 p.u. olarak ayarlanmıştır. Şebekede bulunan yükler özdeş olup 300 MW aktif güç ve 70 MVAR reaktif güç değerlerine sahiptirler. Yük akış analizi sonucu



Şekil 1. Radyal test sistemi (Radial test system)



Şekil 2. Radyal test sisteminin yük akışı analizi sonuçları (Load flow analysis results of radial test system)

incelendiğinde hatlarda aşırı yüklenme oluşmadığı ve bara gerilimlerinin $\pm 5\%$ sınırları içerisinde kaldığı görülmektedir.

Tablo 1. Hat Parametre Bilgileri (Information of line parameters)

Parametre	Hat 1	Hat 2	Hat 3	Hat 4
Uzunluk (km)	83,9	102,62	216,52	206,95
$R_{1,2}$ (Ω)	1,94	3,56	5,01	4,79
$X_{1,2}$ (Ω)	22,32	32,79	57,59	55,05
R_0 (Ω)	25,59	30,13	66,04	63,12
X_0 (Ω)	83,86	108,73	216,4	206,85
$B_{1,2}$ (μS)	351,54	359,17	907,22	867,12
B_0 (μS)	208,91	244,24	539,13	513,31
Nominal akım (kA)	2,29	1,53	2,29	2,29

3.2. Kısa devre analizleri (Short circuit analysis)

Bu kısımda radyal test sisteminde bulunan rölelerin çalışması incelenmek üzere kısa devre analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler her bir hat için hattın ilk 1 km'si, %25'i, %50'si, %75'i ve son 1 km'sine düşen noktalarda seri kapasitör devredeyken tek-faz toprak kısa devre arızası oluşturularak yapılmıştır. Buna göre hat 1'de gerçekleştirilen arızalarda rölelerin ürettiği sinyaller Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Hat 1'de gerçekleştirilen arızalarda rölelerin ürettiği sinyaller

(Signals generated by the relays in faults on line 1)

Hat 1-Tek faz toprak kısa devre					
Kısa devre noktaları					
Röle	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
1-2	Açtırma	Açtırma	Açtırma	Açtırma	Açtırma
2-1	Açtırma	Açtırma	Açtırma	Açtırma	Açtırma
2-3	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
3-2	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
3-4	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
4-3	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
4-5	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
5-4	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
Hatalı çalışma*					

Tablo 2'den de görüldüğü üzere hat 1'de gerçekleştirilen kısa devrelerde röleler seri kapasitörden etkilenmeksizin görevlerini düzgün bir şekilde yerine getirmişlerdir. Hat 2'de gerçekleştirilen arızalarda rölelerin ürettikleri sinyaller Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Hat 2'de gerçekleştirilen arızalarda rölelerin ürettiği sinyaller

(Signals generated by the relays in faults on line 2)

Hat 2-Tek faz toprak kısa devre					
Kısa devre noktaları					
Röle	İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
1-2	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
2-1	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
2-3	Açtırma	Açtırma	Açtırma	Açtırma	Açtırma
3-2	Açtırma	Açtırma	Açtırma	Açtırma	Açtırma
3-4	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
4-3	Açtırma*	Açtırma*	Açtırma*	Açtırma*	Açtırma*
4-5	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
5-4	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
Hatalı çalışma*					

Tablo 3 incelendiğinde röle 4-3'ün bütün durumlarda hatalı açma sinyali ürettiği görülmektedir. Röle 4-3'ün kademe 1 ayar değerleri Tablo 4'teki gibidir.

Tablo 4. Röle 4-3'ün kademe 1 ayarı

(Zone 1 settings of relay 4-3)

Kademe	%Hat	Faz-Toprak	
		Empedans	Açı
1	80	3,89	85,03

Hat 2'nin %25'inde meydana gelen kısa devre incelendiğinde, kapasitörsüz durumda röle tarafından ölçülen empedans 5.563 Ω 'dur. Kapasitörlü durumda ise ölçülen empedans 2.803 Ω olup rölenin birinci kademesinin içinde kalmaktadır ($2.803 < 3.89$). Buradan çıkarılacak sonuç şudur ki röle 4-3, arıza ile arasında seri kapasitörün bulunmasına istinaden kademe genişlemesi sebebiyle hat 2'de meydana gelen kısa devrelerde hatalı çalışmıştır. Kapasitörün de bulunduğu hat 3'te gerçekleştirilen arızalarda rölelerin ürettiği sinyaller Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Hat 3'te gerçekleştirilen arızalarda rölelerin ürettiği sinyaller
(Signals generated by the relays in faults on line 3)

Hat 3-Tek faz toprak kısa devre				
Kısa devre noktaları				
Röle İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
1-2	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
2-1	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
2-3	Açtırma*	Açtırma*	Yok	Yok
3-2	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
3-4	Üretmedi*	Üretmedi*	Üretmedi*	Açtırma Açtırma
4-3	Açtırma	Açtırma	Açtırma	Açtırma Açtırma
4-5	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
5-4	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
Hatalı çalışma*				

Tablo 5 incelendiğinde, röle 2-3'ün açma yapmaması gereken yerde kademe genişlemesi sebebiyle yanlış açma sinyali ürettiği görülebilir. Röle 3-4'ün ise açma sinyali üretmesi gerekirken hatalı bir şekilde açma yapmadığı görülmektedir. Bu durumun sebebini incelemek üzere hat 3'ün %50'sinde meydana gelen kısa devre ele alındığında, kapasitörlü ve kapasitörsüz durumda bara 3'teki gerilim ve akım değerlerinin genlik ve açılma değişimi Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Bara 3 gerilim ve akım değerleri
(Voltage and current values of bus 3)

Röle 3-4	Kapasitör		Gerilim Gerilimin Açısı		Akım Akımın Açısı	
Devrede değil	70,94	0,51			2,410 -83,6	
Devrede	18,53	-141,01			3,601 -82,03	

Tablo 6'ya göre, kapasitörsüz durumla kıyaslama yapıldığında, kapasitörlü durumda kısa devre akımında açılma olarak yön değişimi görülmezken, gerilimin açılma olarak yön değiştirdiği açıkça görülmektedir. Bu durum röle 3-4'ün gerilimin yön değiştirmesi sebebiyle arızayı gerisinde algılayarak hatalı bir şekilde açma sinyali üretmemesine yol açmıştır. Hat 4'te gerçekleştirilen arızalarda rölelerin ürettiği sinyaller Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Hat 4'te gerçekleştirilen arızalarda rölelerin ürettiği sinyaller
(Signals generated by the relays in faults on line 4)

Hat 4-Tek faz toprak kısa devre				
Kısa devre noktaları				
Röle İlk 1 km	%25	%50	%75	Son 1 km
1-2	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
2-1	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
2-3	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
3-2	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
3-4	Açtırma*	Açtırma*	Üretmedi	Üretmedi
4-3	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi	Üretmedi
4-5	Açtırma	Açtırma	Açtırma	Açtırma
5-4	Açtırma	Açtırma	Açtırma	Açtırma
Hatalı çalışma*				

Tablo 7'den görüldüğü üzere röle 3-4 kademe genişlemesi sebebiyle hat 4'ün ilk 1 km'si ve %25'inde meydana gelen kısa devrelerde hatalı açma sinyali üretmiştir.

Yapılan kısa devre analizlerinden elde edilen sonuçlar seri kapasitörün bulunduğu hattaki rölelerin yanında, komşu hatlarda bulunan rölelerin de kapasitörden etkilenecek hatalı şekilde çalışabildiklerini göstermektedir. Bu nedenle seri kapasitör bulunan şebekelerde arızalı hat tespitinde, seri kapasitörün bulunduğu hat ve komşu hatların koruması yapılacak şekilde yeni bir algoritma geliştirilmesi daha uygun olacaktır.

4. ÖNERİLEN ALGORİTMA (THE PROPOSED METHOD)

Seri kapasitör içeren şebekelerde arızalı hattın tespit edilmesi için geliştirilen algoritmanın akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.

Algoritmada ilk adım şebekedeki hatların etiket değerlerini belirleme işlemidir. Kapasitörün yakın olduğu bara algoritmada "ana" bara olarak adlandırılır. Şebekede kapasitör bulunan hatlar birinci derecede önem arz ettiğinden etiketlendirmeye önce bu hatlardan başlanır. Buna göre seri kapasitör bulunan hatta "1" numaralı etiket değeri verilir. Eğer şebekede birden fazla seri kapasitör içeren hat varsa sırasıyla her bir hatta bir sonraki etiket değeri atanır. Bu hatların etiketlendirme işlemi bittikten sonra ana baraya bağlı olan seri kapasitörsüz hatlara geçilir. Bu hatlar ikinci derece öneme sahiptir ve her biri takip eden etiket değerini alırlar. Ana baraya bağlı olan kapasitörlü ve kapasitörsüz hatların etiketlendirme işlemi bittikten sonra geriye kalan hatların hepsi harici hat olarak sayılır ve bu hatlar eş değer öneme sahip olduklarından takip eden etiket değerini alırlar.

Algoritmada hatların etiket değerleri belirlendikten sonra ikinci adım eğitim verilerinin elde edilmesidir. Eğitim verileri elde edilirken, ana baraya bağlı bütün hatlar için hattın toplam uzunluğunun %2'sine denk gelecek aralıklarla kısa devre noktaları seçilir. Bu noktalarda oluşturulan kısa devre arızalarından akım ve gerilim fazörleri elde edilmektedir. Akım ve gerilim verilerinin depolanma işlemi, ana baradan akım fazörü, karşı baralardan ise akım ve gerilim fazörü olacak şekildedir. Eğitim veri kümesi oluşturulurken kapasitörlerin devrede ve devrede olmadığı bütün kombinasyonlar göz önünde bulundurulmalıdır. Alınan eğitim verileri MATLAB programında yapılacak sınıflandırma işleminde kullanılacaktır.

Üçüncü adım test verilerinin alınması işlemidir. Buna göre kapasitör devrede ve devrede değilken şebeke üzerinde belirlenen kritik noktalarda kısa devreler oluşturulur. Oluşturulan bu kısa devreler neticesinde baralardan senkrofazör ölçümler yardımıyla test verileri alınır.

Son adımda alınan test verileri k-EYK ile sınıflandırılır. Elde edilen sınıflandırma sonuçlarına göre arızanın meydana geldiği hat belirlenmiş olur. Algoritmadaki harici hatlardan eğitim ve test verisi alınmaz. Ancak arızanın harici hatlarda



Şekil 3. Önerilen algoritmanın akış diyagramı (Flowchart of the proposed algorithm)

meydana gelmesi durumunda bunun algoritma tarafından tespit edilmesi gerekmektedir. Bu problemin çözümü için k-EYK algoritmasındaki Öklid uzaklığı hesabı kullanılmaktadır. Buna göre harici hatların ilk 1'er km'lerinde kısa devreler oluşturulur ve Öklid uzaklıkları hesaplanır. Elde edilen en küçük değer eşik değeri olarak programa girilir. Bu eşik değeri aşıldığında arızanın kritik hatların haricinde farklı bir hatta meydana geldiği program tarafından belirlenmiş olur.

Arızalı hattın belirlenmesinde kullanılan formül Eş. 2'deki gibidir.

$$D(j) = \sqrt{\sum_{i=2}^{k+n+1} \left((IT_{(j,im)} - IM_{(im)})^2 + (IT_{(j,mi)} - IM_{(mi)})^2 + (ITA_{(j,im)} - IMA_{(im)})^2 + (ITA_{(j,mi)} - IMA_{(mi)})^2 + (VT_{(j,i)} - VM_{(i)})^2 + (VTA_{(j,i)} - VMA_{(i)})^2 \right)} \quad (2)$$

Burada;

- k : ana baraya bağlı seri kapasitörlü hat sayısı
 n : ana baraya bağlı seri kapasitör içermeyen hat sayısı
 i : bara numarası
 j : eğitim veri numarası
 D : Öklid uzaklığı
 m : ana bara
 $IT(j, im)$: j. eğitim verisinde, i. baradan ana baraya akan akımın genliği
 $IT(j, mi)$: j. eğitim verisinde, ana baradan i. baraya akan akımın genliği

- $ITA(j, im)$: j. eğitim verisinde, i. baradan ana baraya akan akımın açısı
 $ITA(j, mi)$: j. eğitim verisinde, ana baradan i. baraya akan akımın açısı
 $IM(im)$: test verisinde, i. baradan ana baraya akan akımının genliği
 $IM(mi)$: test verisinde, ana baradan i. baraya akan akımın genliği
 $IMA(im)$: test verisinde, i. baradan ana baraya akan akımın açısı
 $IMA(mi)$: test verisinde, ana baradan i. baraya akan akımın açısı
 $VT(j, i)$: j. eğitim verisinde, i. baraya ait gerilimin genliği
 $VTA(j, i)$: j. eğitim verisinde, i. baraya ait gerilimin açısı
 $VM(i)$: i. baraya ait gerilimin genliği
 $VMA(i)$: i. baraya ait gerilimin açısı

Eş. 2'ye göre Öklid uzaklığı değeri (D) her bir eğitim verisi için hesaplanır. En küçük D değerine sahip olan hattın etiket değerine bakılarak arızanın yeri tespit edilir. Bunun için aşağıda verilen Eş. 3 kullanılır.

Eğitim verisi aralığı	Etiket Değeri
$\frac{(l-1)*\alpha}{k+n} < j \leq \frac{l*\alpha}{k+n}$	$l \quad l = 1'den k'ya kadar$
$\frac{(l-1)*\alpha}{k+n} < j \leq \frac{l*\alpha}{k+n}$	$k+1 \quad l = 1'den (k+n)'ekadar$
$D > eşik değeri$	$k+2$

Burada dikkat edilmesi gereken nokta eğitim verilerinin etiket değeri 1'den $(k+n)$ 'ye olacak şekilde depolanmış olmasıdır.

4.1. Önerilen Algoritmanın Test Sistemine Uygulanması (Application of the Proposed Algorithm to the Test System)

Algoritmaya göre test sisteminde ana bara seri kapasitörün yakın olduğu bara 3'tür. Şebekede bir adet seri kapasitör vardır ve kapasitörün bulunduğu hat 3 "1" numaralı etiket değerini alır. Ana baraya bağlı olan ve seri kapasitörsüz hat olan hat 2 ise "2" numaralı etiket değerini alır. Algoritmaya göre harici hat olarak sayılan hat 1 ve hat 4 eş değer öneme sahip olduklarından "3" numaralı etiket değerini alırlar. Radyal şebekedeki hatlar için belirlenen etiket değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir.

Radyal şebekede hatların etiket değeri belirleme işlemi yapıldıktan sonra eğitim verileri elde edilmiştir. Algoritmada belirtildiği gibi radyal şebekede sadece 1 ve 2 (hat 3 ve hat 2) numaralı etiket değerine sahip hatlardan eğitim verisi alınmıştır. Hat 3'ün sıfır noktasında gerçekleştirilen kısa devrelerde baralardan ve hatlardan senkrofazör olarak alınan akım ve gerilim bilgileri Şekil 5 üzerinde gösterilmiştir.

Hat 3'te gerçekleştirilen kısa devrelerden alınan eğitim verilerinin bir kesiti Tablo 8'de verilmiştir.

Radyal şebekede kapasitör devrede ve değilken kısa devre arızaları oluşturulmuş ve farklı arıza dirençleri için 1632 adet eğitim verisi alınmıştır. Algoritmanın radyal şebekeye uygulanmasının son adımı test verilerinin alınmasıdır. Test verileri hatlar üzerinde belirli noktalarda, arıza empedansı 5, 10, 50 ve 100 Ω olacak şekilde tek faz toprak, 2 faz toprak, 2 faz ve 3 faz kısa devre arızaları oluşturularak alınmıştır.

Buna göre yapılacak sınıflandırma işlemi için 240 adet test verisi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda 3 başlık altında irdelenmiştir.

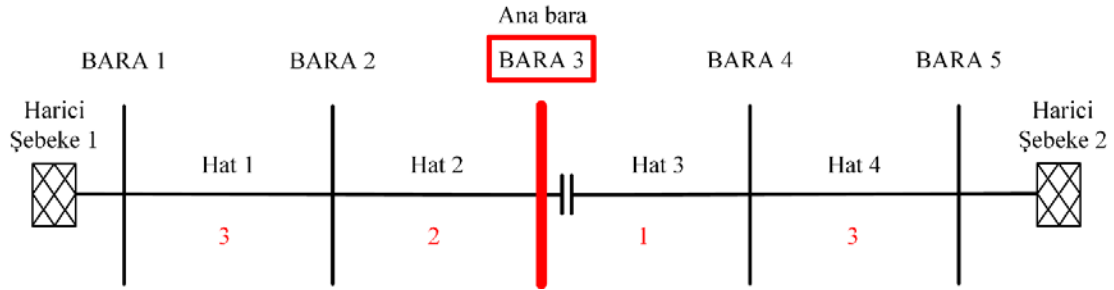
4.1.1. Senaryo 1: Hat 3'te oluşturulan kısa devre arızaları (Short circuit faults in line 3)

Bu senaryoda seri kapasitörün de bulunduğu hat olan hat 3'ten alınan veriler için sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Buna göre seri kapasitör devredeyken (en kötü şartlar altında) hattın belirli noktalarında tek-faz toprak, 2 faz toprak, 2 faz ve 3-faz dengeli kısa devre arızaları oluşturulmuştur. Arıza empedansının algoritmanın çalışmasına etkisi 5, 10, 50 ve 100 Ω gibi farklı arıza empedansları altında incelenmiştir. Buna göre elde edilen sınıflandırma sonuçları ve tespit edilen arıza noktaları Tablo 9'daki gibidir.

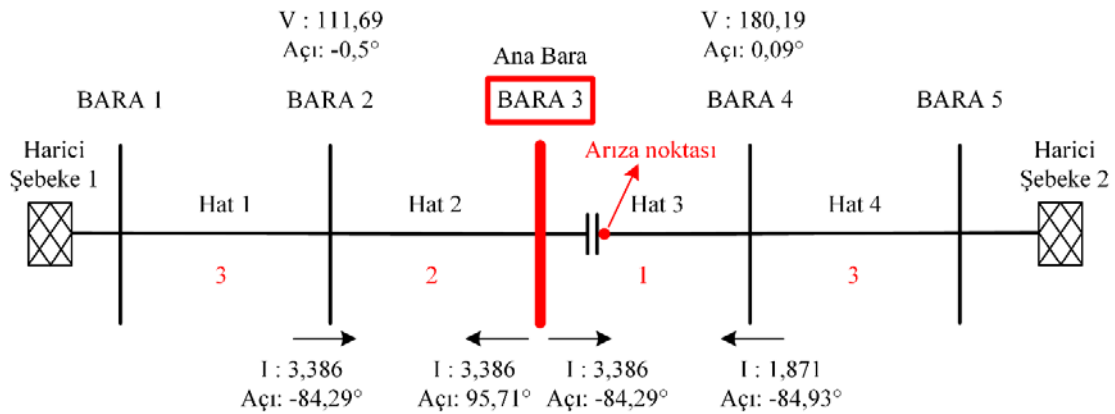
Sonuçlar incelendiğinde algoritmanın arızalı hattı doğru bir şekilde belirleyebildiği görülmektedir. Aynı zamanda arıza noktası 5, 10, 50, 100 Ω için sırasıyla %4,88, 4,16, 3,92 ve 5,97 ortalama mutlak hata ile tespit edilebilmiştir.

4.1.2. Senaryo 2: Hat 2'de oluşturulan kısa devre arızaları (Short circuit faults in line 2)

Bu senaryoda ana baraya bağlı ancak seri kapasitör içermeyen hat 2 incelenmiştir. Hat 2 için de hat 3 ile benzer olacak şekilde tek-faz toprak, 2 faz toprak, 2 faz ve 3-faz dengeli kısa devre arıza senaryoları ele alınmıştır. Algoritma arıza noktasını 5, 10, 50 ve 100 Ω için sırasıyla ortalama



Şekil 4. Radyal şebekede bulunan hatların etiket değerleri (Label values of the lines in radial network)



Şekil 5. Gerilim ve akım verilerinin senkrofazör olarak alınması (Obtaining voltage and current data as synchrophasors)

Tablo 8. Hat 3'ten alınan örnek eğitim verileri (Sample training data obtained from line 3)

%Hat	Hat 2						Hat 3					
	Bara 2			Bara 3			Bara 4			Bara 3		
	Gerilim	Açı	Akım	Açı	Akım	Açı	Gerilim	Açı	Akım	Açı	Akım	Açı
0	111,69	-0,5	3,386	-84,29	3,386	95,71	180,19	0,09	1,871	-84,93	3,386	-84,3
20	129,78	-0,28	2,914	-84,39	2,914	95,61	95,08	0,1	2,056	-84,93	2,914	-84,4
40	143,44	-0,17	2,557	-84,47	2,557	95,53	79,1	0,11	2,28	-84,91	2,557	-84,5
60	154,13	-0,11	2,278	-84,83	2,278	95,47	59,2	0,12	2,56	-84,9	2,278	-84,5
80	162,71	-0,07	2,054	-84,58	2,054	95,42	33,74	0,14	2,918	-84,88	2,054	-84,6
100	169,75	-0,04	1,87	-84,62	1,87	95,38	0	0	3,392	-84,86	1,87	-84,6

Tablo 9. Hat 3'te oluşturulan kısa devre arızalarının sonuçları (Results of short circuit faults in line 3)

Arıza türü	Arızalı hattın etiket değeri	Tespit edilen etiket değeri	Gerçek arıza yeri	Tespit edilen arıza yeri ($R_f = 5\Omega$)	Tespit edilen arıza yeri ($R_f = 10\Omega$)	Tespit edilen arıza yeri ($R_f = 50\Omega$)	Tespit edilen arıza yeri ($R_f = 100\Omega$)
Tek faz toprak	1	1	5	4,2870	4,2870	4,1315	6,3135
	1	1	50	48,1099	48,1099	47,9626	52,3638
	1	1	100	100,5933	100,5933	102,5641	98,1266
	1	1	150	150,0456	153,0768	153,0768	147,2633
	1	1	210	209,9339	210,0638	209,9339	208,2233
2 faz toprak	1	1	5	6,1895	4,1212	6,1895	5,2845
	1	1	50	56,6412	53,8596	47,3635	48,6462
	1	1	100	101,1662	102,5423	99,1235	101,5252
	1	1	150	149,5278	148,1616	152,3231	151,6194
	1	1	210	208,1945	209,5485	211,1298	210,3635
2 faz	1	1	5	4,6426	4,8596	4,5656	6,0295
	1	1	50	55,2634	53,6475	48,5478	52,1254
	1	1	100	99,1211	98,5687	101,3246	102,2326
	1	1	150	148,1613	148,5795	147,3622	151,3574
	1	1	210	204,2632	209,1678	211,1298	206,6517
3 faz	1	1	5	4,3736	4,3736	5,1356	6,8523
	1	1	50	48,1099	51,4442	49,9693	51,9875
	1	1	100	100,5933	102,8884	99,6364	99,5472
	1	1	150	150,0456	153,0768	148,2233	149,3239
	1	1	210	210,0638	210,0638	208,2637	212,6489

%6,11, %3,74, %6,55 ve %7,63 ortalama mutlak hata ile tespit edebilmiştir. Elde edilen sınıflandırma sonuçları Tablo 10'da gösterildiği gibidir.

4.1.3. Senaryo 3: Harici hatlarda oluşturulan kısa devre arızaları

(Short circuit faults in external lines)

Bu senaryoda algoritmaya göre şebekede harici hat olarak sayılan hat 1 ve hat 4 için sınıflandırma sonuçları ele alınmıştır. Arıza empedansı diğer hatlardaki gibi seçilmiştir. Her iki hat için de tek faz toprak ve 3 faz kısa devre senaryoları ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 11 ve 12'de verilmiştir.

Algoritmanın testi için oluşturulan tüm senaryolar incelendiğinde farklı arıza türlerinde ve farklı arıza empedansları altında algoritmanın seri kapasitörün bulunduğu hat, komşu hat ve diğer hatlarda meydana gelen arızaları doğru bir şekilde belirleyebildiği sonuçlardan görülmektedir.

Algoritma ile kısa devrenin meydana geldiği hat tespit edildikten sonra arızanın en az kayıpla giderilmesi için radyal şebekede yapılan kısa devre analizleri gözetilerek önerilen koruma şeması Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13'te verilen koruma şeması incelendiğinde, hat 1'de kısa devre tespit edildiğinde, daha önce yapılan analizlerden rölelerin doğru çalıştığı ve herhangi bir müdahaleye gerek olmadığı söylenebilir. Hat 2 ve hat 4'te kısa devre tespit edildiğinde ise kademe genişlemesi sebebiyle hatalı çalışan röle 3-4 ve röle 4-3'e blokaj sinyali gönderilmesi uygun görülmüştür. Seri kapasitörlü hat 3'te kısa devre tespit edildiğinde, gerilimin yön değiştirmesi sebebiyle hatalı çalışan röle 3-4'ün kesicisine direkt açma sinyali gönderilmesi gerekmektedir. Hat 3'ün bara 3'ten itibaren %20'sini kapsayacak bölümünde arıza oluştuğunda ise röle 3-4'ün hatalı çalışmasından dolayı röle 4-3'ün bu röleye müsaadeli açtırma sinyali göndermesi gerekmektedir. Röle 2-3'ün kademe genişlemesi sebebiyle hatalı çalışması nedeniyle bu röleye de blokaj sinyali gönderilmesi uygun olacaktır.

Tablo 10. Hat 2’de oluşturulan kısa devre arızalarının sonuçları (Results of short circuit faults in line 2)

Arıza türü	Arızalı hattın etiket değeri	Tespit edilen etiket değeri	Gerçek arıza yeri	Tespit edilen arıza yeri ($R_f = 5\Omega$)	Tespit edilen arıza yeri ($R_f = 10\Omega$)	Tespit edilen arıza yeri ($R_f = 50\Omega$)	Tespit edilen arıza yeri ($R_f = 100\Omega$)
Tek faz toprak	2	2	5	4,1458	6,2187	5,8980	4,1458
	2	2	25	24,8748	24,8748	26,3134	23,1823
	2	2	50	49,7497	49,7497	51,8711	51,1645
	2	2	75	75,1787	75,1787	75,9563	76,5235
	2	2	100	101,5723	99,5610	99,1213	101,5723
2 faz toprak	2	2	5	4,0963	5,1032	4,0963	5,9852
	2	2	25	23,8631	24,8661	22,9645	27,2310
	2	2	50	51,2375	49,8420	52,8360	53,8690
	2	2	75	76,8652	74,1231	75,4584	73,2306
	2	2	100	101,9394	99,2620	103,8693	97,1415
2 faz	2	2	5	6,6332	4,4426	6,1288	6,6332
	2	2	25	23,5641	26,3543	24,3608	26,2033
	2	2	50	52,3437	51,2164	48,3586	47,0318
	2	2	75	74,5210	76,1218	73,6460	75,6563
	2	2	100	101,3681	99,6025	101,9903	102,1860
3 faz	2	2	5	6,0956	4,1458	4,0889	5,5832
	2	2	25	24,3823	24,3823	26,3249	26,8650
	2	2	50	48,7645	48,7645	52,8830	53,3321
	2	2	75	74,6245	74,6245	73,8263	72,3081
	2	2	100	99,5610	99,561	102,3987	104,8595

Tablo 11. Hat 1’de oluşturulan kısa devre arızalarının sonuçları (Results of short circuit faults in line 1)

Arıza türü	Gerçek arıza yeri	Arızalı hattın etiket değeri	Tespit edilen etiket değeri ($R_f = 5\Omega$)	Tespit edilen etiket değeri ($R_f = 10\Omega$)	Tespit edilen etiket değeri ($R_f = 50\Omega$)	Tespit edilen etiket değeri ($R_f = 100\Omega$)
Tek faz toprak	5	3	3	3	3	3
	20	3	3	3	3	3
	40	3	3	3	3	3
	60	3	3	3	3	3
	75	3	3	3	3	3
3 faz	5	3	3	3	3	3
	20	3	3	3	3	3
	40	3	3	3	3	3
	60	3	3	3	3	3
	75	3	3	3	3	3

Tablo 12. Hat 4’te oluşturulan kısa devre arızalarının sonuçları (Results of short circuit faults in line 4)

Arıza türü	Gerçek arıza yeri	Arızalı hattın etiket değeri	Tespit edilen etiket değeri ($R_f = 5\Omega$)	Tespit edilen etiket değeri ($R_f = 10\Omega$)	Tespit edilen etiket değeri ($R_f = 50\Omega$)	Tespit edilen etiket değeri ($R_f = 100\Omega$)
Tek faz toprak	5	3	3	3	3	3
	20	3	3	3	3	3
	40	3	3	3	3	3
	60	3	3	3	3	3
	75	3	3	3	3	3
3 faz	5	3	3	3	3	3
	20	3	3	3	3	3
	40	3	3	3	3	3
	60	3	3	3	3	3
	75	3	3	3	3	3

Tablo 13. Radyal şebeke için önerilen koruma şeması (The proposed protection scheme for radial grid)

Arızalı Hat	Arızalı hattın etiket değeri	Kesici Açtırma	Müsaadeli Açtırma	Blokaj
Hat 1	3	-	-	-
Hat 2	2	-	-	Röle 4-3
Hat 3	1	Kesici 3-4	Röle 4-3	Röle 2-3
Hat 4	3	-	-	Röle 3-4

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan çalışmada seri kapasitör içeren şebekeler için arızalı hattı belirlemede kullanılacak yeni bir algoritma önerisi yapılmıştır. Aynı zamanda test için oluşturulan radyal şebeke özelinde yapılan analizler ile arıza tespiti sonrası izlenecek adımları gösteren koruma şeması da çalışmada sunulmuştur. Makalede ilk olarak Digsilent Power Factory programında radyal bir test sistemi oluşturulmuş ve şebekede bulunan hatlarda kısa devre analizleri yapılarak problem radyal şebeke özelinde ortaya koyulmuştur. Daha sonra algoritmanın radyal şebekeye uygulanmasına geçilerek şebekedeki ana bara ve hatların etiket değerleri belirlenmiş ve eğitim verilerinin elde edilmiştir. Test için güç sistemlerinde en sık görülen arıza türü olan tek faz toprak kısa devre ve en yüksek kısa devre akımına sebebiyet veren 3-faz dengeli kısa devre arıza türleri seçilmiştir. Bunlara ek olarak 2-faz ve 2-faz toprak kısa devre testleri de çalışmada yer almaktadır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, algoritmanın test için oluşturulan radyal şebekede arızalı hattı belirlemede istenilen şekilde görevini yerine getirdiği görülmektedir. Algoritma aynı zamanda ana baraya bağlı olan hatlardaki arıza noktalarını da düşük mutlak hata ortalamaları ile tespit edebilmiştir. Harici hatlarda arıza yerinden çok arızanın meydana geldiği hat önem arz ettiğinden arıza noktası tespiti yapılmamıştır. Arızalı hat tespit edildikten sonra tam anlamıyla korumanın sağlanması amacıyla her bir hat için koruma şeması önerilmiştir. Burada kesici açtırma, müsaadeli açma ve blokaj sinyalleri kullanılarak rölelerin hatalı çalışmasının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa önerilen algoritma, seri kapasitörlerin mesafe koruma röleleri üzerine olumsuz etkilerini gidermeye yönelik bir çözüm getirmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Choi, M.S., Lee, S.J., Lee, D.S., Jin, B.G., A new fault location algorithm using direct circuit analysis for distribution systems, IEEE transactions on power delivery, 19 (1), 35-41, 2004.
- Lee, S.J., Choi, M.S., Kang, S.H., Jin, B.G., Lee, D.S., Ahn, B.S., Wee, S. B., An intelligent and efficient fault location and diagnosis scheme for radial distribution systems. IEEE transactions on power delivery, 19 (2), 524-532, 2004.
- Gopalakrishnan, A., Kezunovic, M., McKenna, S.M., Hamai, D.M., Fault location using the distributed parameter transmission line model. IEEE Transactions on Power Delivery, 15 (4), 1169-1174, 2000.
- Khederzadeh, M., Sidhu, T.S., Impact of TCSC on the protection of transmission lines. IEEE Transactions on power delivery, 21 (1), 80-87, 2005
- Weiguo, W., Xianggen, Y., Jiang, Y., Xianzhong, D., Deshu, C., The impact of TCSC on distance protection relay. In POWERCON'98. 1998 International Conference on Power System Technology. Proceedings 1, 382-388, August, 1998.
- Altuve, H.J., Mooney, J. B., Alexander, G.E., Advances in series-compensated line protection. In 2009 62nd Annual Conference for Protective Relay Engineers, 263-275, March, 2009.
- Zellagui, M., Chaghi, A., Impact of series compensation (SC) on the MHO distance relay in Algerian 220 kV transmission line. Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering, 2 (6), 181-189, 2011.
- Vyas, B., Maheshwari, R.P., Das, B., Protection of series compensated transmission line: issues and state of art. Electric power systems research, 107, 93-108, 2014.
- Rubeena, R., Zadeh, M.R.D., Bains, T.P.S., An accurate offline phasor estimation for fault location in series-compensated lines. IEEE Transactions on Power Delivery, 29 (2), 876-883, 2014.
- Aurangzeb, M., Crossley, P.A., Gale, P., Fault location on a transmission line using high frequency travelling waves measured at a single line end. In 2000 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings, 4, 2437-2442, January, 2000.
- Huang, Z., Chen, Y., Gong, Q., A protection and fault location scheme for EHV line with series capacitor based on travelling waves and wavelet analysis. In Proceedings. International Conference on Power System Technology, 1, 290-294, October, 2002.
- Biswas, S., Kumar, K., Ghosal, A., Nayak, P. K., Fault detection and classification for TCSC compensated transmission lines using wavelet energy. In 2018 4th International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT), IEEE, 1-5, March 2018.
- Yu, C.S., Liu, C.W., Yu, S.L., Jiang, J. A., A new PMU-based fault location algorithm for series compensated lines. IEEE Transactions on Power Delivery, 17 (1), 33-46, 2002.
- Al-Mohammed, A.H., Abido, M.A., A fully adaptive PMU-based fault location algorithm for series-compensated lines. IEEE Transactions on Power Systems, 29 (5), 2129-2137, 2014.
- Mousavi-Seyedi, S. S., Aminifar, F., Rezaei, M. R., & Hasani, R., Optimal fault location algorithm for series-compensated transmission lines based on PMU data. In 2015 Smart Grid Conference (SGC), IEEE, 105-109, December, 2015.

16. Zeinoh, A. N., Phasor measurement unit-based distance protection & fault location algorithm for series-compensated transmission lines. In 2014 Saudi Arabia Smart Grid Conference (SASG), IEEE, 1-7, December 2014.
17. Al-Mohammed, Ali H., and M. A. Abido., A fully adaptive PMU-based fault location algorithm for series-compensated lines, *IEEE Transactions on Power Systems*, 29 (5), 2129-2137, 2014.
18. Ahsae, Mahdi Ghazizadeh, and Javad Sadeh, A novel fault-location algorithm for long transmission lines compensated by series FACTS devices, *IEEE transactions on power delivery*, 26 (4), 2299-2308, 2011.
19. Bains, Tirath Pal S., et al., Impedance-based fault location algorithm for ground faults in series-capacitor-compensated transmission lines, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 33 (1), 189-199, 2017.
20. Kundu, Pratim, Ashok Kumar Pradhan, Synchrophasor-assisted zone 3 operation, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 29 (2), 660-667, 2013.
21. Kang, Ning, Jiexiong Chen, and Yuan Liao., A fault-location algorithm for series-compensated double-circuit transmission lines using the distributed parameter line model, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30 (1), 360-367, 2014.
22. Silveira, E.G., Pereira, C., Transmission line fault location using two-terminal data without time synchronization. *IEEE Transactions on Power Systems*, 22 (1), 498-499, 2007.
23. Izykowski, J., Rosolowski, E., Balcerek, P., Fulczyk, M., Saha, M.M., Accurate noniterative fault-location algorithm utilizing two-end unsynchronized measurements. *IEEE transactions on power delivery*, 26 (2), 547-555, 2009.
24. Parikh, U.B., Das, B., Maheshwari, R., Fault classification technique for series compensated transmission line using support vector machine. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 32 (6), 629-636, 2010.
25. Dash, P.K., Samantaray, S.R., Panda, G., Fault classification and section identification of an advanced series-compensated transmission line using support vector machine. *IEEE transactions on power delivery*, 22 (1), 67-73, 2006.
26. Mirzaei, Mahdi, Behrooz Vahidi, and Seyed Hossein Hosseini., Fault location on a series-compensated three-terminal transmission line using deep neural networks, *IET Science, Measurement & Technology*, 12 (6) 746-754, 2018.
27. Singh, S., & Vishwakarma, D. N., Ann and wavelet entropy based approach for fault location in series compensated lines. In 2016 International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom), IEEE, 1-6, January 2016,
28. Ekici S., Yıldırım S., Poyraz M., A Pattern Recognition Application for Distance Protection, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 24 (1), 51-61, 2009.
29. Samuk, D.C., Nuroğlu, F. M. Investigation of the effects of series capacitor on transmission network in steady state. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25 (5), 577-585, 2019.
30. Samuk, D.C., Seri kapasitör içeren iletim hatlarında senkro fazör ölçüm tabanlı koruma algoritması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2017.
31. Larose, D.T., Larose, C.D., *Discovering knowledge in data: an introduction to data mining*. John Wiley & Sons, 2014.
32. Ustebay S., Gümüş E., Aydın, M. A., Sertbaş, A., Signal Map Reduction for Indoor Localization and Performance Analysis, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (4), 1131-1141, 2017.
33. Huang, Z., Dagle, J., Synchrophasor measurements: System architecture and performance evaluation in supporting wide-area applications. In 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 1-3, July, 2008.
34. Dewey, C.G., Mathews, C.A., Morris, W.C., Static Mho distance and pilot relaying. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 82 (66), 391-400, 1963.