

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SERİ KAPASİTÖR İÇEREN İLETİM HATLARINDA MESAFE RÖLELERİNİN ÇALIŞMASINI
DESTEKLEYEN YÖNETİM RÖLESİ**

DOKTORA TEZİ

Emre ELMACI

**TEMMUZ 2023
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SERİ KAPASİTÖR İÇEREN İLETİM HATLARINDA MESAFE RÖLELERİNİN
ÇALIŞMASINI DESTEKLEYEN YÖNETİM RÖLESİ**

Emre ELMACI

ORCID : - - -

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 / 06 / 2023

Tezin Savunma Tarihi : 11 / 07 / 2023

Tez Danışmanı : Dr. Öğretim Üyesi Fatih M. NUROĞLU
ORCID :

Trabzon 2023

ÖNSÖZ

Günümüz dünyasında enerjiye olan ihtiyacın artmasıyla birlikte yeni güç iletim hatlarının tesis edilmesi ve mevcut güç iletim hatlarının taşıma kapasitesinin artırılması güç sistemlerinin güvenli ve güvenilir bir şekilde işletilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Çeşitli faydalarından dolayı ve hatların iletim kapasitesinin artırılması amacıyla güç sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılan seri kapasitörler iletim hatlarında koruma yapan mesafe rölelerinin çalışması üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Bir iletim hattında kısa devre meydana gelmesi durumunda kapasite etkisi ile mesafe röleleri arızanın meydana geldiği yeri doğru bir şekilde tespit edememekte ve bunun bir sonucu olarak hatalı bir şekilde açma veya açmama operasyonları gerçekleştirebilmektedir. Böyle problemlerin önüne geçmek için bu tez çalışması kapsamında mesafe koruma rölelerinin çalışmasına destek olan bir yönetim rölesi geliştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda yönetim rölesinin etkin bir şekilde çalıştığı ortaya konmuştur.

Söz konusu çalışmanın yapılabilmesinde gerekli olan güç sistemleri simülatörünü kullanmamız için bize ücretsiz lisans desteği sağlayan DIgSILENT GmbH şirketine ve yardımcı olan çalışanlarına teşekkür ederim.

Tez çalışması süresince benden desteğini ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi sayın Fatih Mehmet NUROĞLU hocama, ve doktora eğitimim süresince bilgi ve tecrübeleri ile bana katkıda bulunan diğer hocalarıma teşekkürlerimi arz ederim.

Emre ELMACI

Trabzon, 2023

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “SERİ KAPASİTÖR İÇEREN İLETİM HATLARINDA MESAFE RÖLELERİNİN ÇALIŞMASINI DESTEKLEYEN YÖNETİM RÖLESİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Fatih Mehmet NUROĞLU’nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 11/07/2023

Emre ELMACI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Genel Giriş	1
1.2. Enerji İletim Hatlarının Korunması.....	2
1.2.1. Enerji İletim Hatlarında Kısa Devreler	3
1.2.1.1. Dengeli Arızalar (Üç Faz Kısa Devre Arızası).....	4
1.2.1.2. Dengesiz Arızalar	4
1.2.1.2.1. İki Faz Arızası	4
1.2.1.2.2. İki Faz Toprak Arızası	5
1.2.1.2.3. Tek Faz Toprak Arızası	5
1.2.2. Mesafe Koruma	6
1.2.2.1. Mesafe Koruma Rölesinin Kademe Ayarları	7
1.2.2.2. Mesafe Koruma Röle Karakteristikleri.....	8
1.2.2.3. Pilot Koruma.....	10
1.2.2.3.1. Pilot Koruma Fiziksel Sistemleri	11
1.2.2.3.2. Pilot Röleme Türleri	12
1.2.2.3.3. Pilot Röle Şemaları	12
1.3. Seri Kapasitörler	13
1.3.1. Kapasitörün Hat Üzerindeki Konumunun Etkileri	16
1.3.1.1. Hattın Orta Noktasına Kapasitör Kurulumu	17
1.3.1.2. Hat Başına Kapasitör Kurulumu.....	18
1.3.2. Seri Kapasitörün Şebeke Üzerinde Olumlu Etkileri.....	19
1.3.2.1. Seri Kapasitörlü Hatların Gerilim Profili	19

1.3.2.2.	Seri Kapasitörlü Hatlarda Kararlılık.....	21
1.3.2.3.	Seri Kapasitörlü Hatların İletim Kapasitesi.....	23
1.3.3.	Seri Kapasitörlerin Olumlu Etkileri Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	25
1.3.4.	Seri Kapasitörün Şebeke Üzerindeki Olumsuz Etkileri	27
1.3.4.1.	Kademe Genişlemesi	28
1.3.4.2.	Gerilimin Yön Değiştirilmesi	30
1.3.4.3.	Akımın Yön Değiştirilmesi.....	32
1.3.5.	Seri Kapasitörlerin Olumsuz Etkileri Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	34
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	36
2.1.	Giriş.....	36
2.2.	Seri Kapasitörün Yük Akışı Üzerindeki Etkisi.....	37
2.3.	Seri Kapasitörün Kısa Devre Analizi Üzerindeki Etkisi.....	43
2.4.	Problemin Tanımlanması	45
2.5.	Önerilen Yönetim Rölesi	49
2.5.1.	Arızalı Hat Belirleme Algoritması	49
2.5.1.1.	Sınıf Etiketlerinin Verilmesi.....	52
2.5.1.2.	Eğitim ve Test Verilerinin Oluşturulması	52
2.5.1.3.	Test - Eğitim Verisi Uzaklıklarının Belirlenmesi.....	52
2.5.2.	Yönetim Rölesinin Çalışması	53
2.5.3.	Simülasyon Ortamının Tanıtılması.....	55
2.5.4.	Yönetim Rölesinin Tasarımı.....	56
2.5.5.	Yönetim Rölesi Devre Dışı İken Durum İncelemeleri	59
2.5.5.1.	Kısa Devre Analizi 1	61
2.5.5.2.	Kısa Devre Analizi 2	61
2.5.5.3.	Kısa Devre Analizi 3	62
2.5.6.	Yönetim Rölesi Devrede İken Durum İncelemeleri	63
2.6.	Kayabaşı Kısmi Şebekesi.....	64
2.7.	Yönetim Rölesinin Kayabaşı Şebekesine Uygulanması.....	66
2.7.1.	Ahb'nin Kayabaşı Barasına Uyarlanması.....	66
2.7.2.	Yönetim Rölesi Devrede Değil İken Durum İncelemeleri	69
2.7.2.1.	Kısa Devre Analizi 1	73
2.7.2.2.	Kısa Devre Analizi 2	74
2.7.2.3.	Kısa Devre Analizi 3	75

2.7.2.4.	Kısa Devre Analizi 4	76
2.7.2.5.	Kısa Devre Analizi 5	77
2.7.2.6.	Kısa Devre Analizi 6	78
2.7.2.7.	Kısa Devre Analizi 7	79
2.7.2.8.	Kısa Devre Analizi 8	80
2.7.2.9.	Kısa Devre Analizi 9	81
2.7.2.10.	Kısa Devre Analizi 10	82
2.7.3.	Yönetim Rölesi Devrede İken Durum İncelemeleri	83
3.	SONUÇLAR.....	85
4.	KAYNAKLAR.....	86
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

SERİ KAPASİTÖR İÇEREN İLETİM HATLARINDA MESAFE RÖLELERİNİN
ÇALIŞMASINI DESTEKLEYEN YÖNETİM RÖLESİ

Emre ELMACI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih Mehmet NUROĞLU
2023, 107 Sayfa

Bilindiği gibi enerji iletim hatlarında çeşitli faydalarından dolayı seri kapasitörler kullanılmaktadır. Seri kapasitör kullanımı faydalarıyla birlikte güç sistemi üzerinde bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu sorunlardan biri mesafe rölelerinin kapasite etkisiyle arıza yerini tespit etmede yaşadığı sorundur. Seri kapasitör bulunan iletim hattında mesafe röleleri kapasitörün devrede olması ve olmaması durumuna göre ayarlanarak arıza yerini belirleme probleminin üstesinden gelmektedir. Bununla birlikte komşu hatta meydana gelebilecek bir arıza için yetersiz kalmaktadır. Literatürde iletim hatlarında kapasite etkisinden dolayı ortaya çıkan olumsuzluklara dair birçok çalışma bulunmakla birlikte kapasitörün devrede olup olmaması durumlarından etkilenmeden tek bir noktadan mesafe rölelerinin hatalı çalışmasını önleyici bir cihaz tasarımına rast gelinmemiştir. Bu çalışmada, seri kapasitör bulunduran iletim hatlarında ve komşu hatlarda mesafe koruma rölelerinin yanlış çalışmasını engellemek için *Yönetim rölesi* isimli bir cihaz geliştirilmiştir. Geliştirilen cihaz güç sisteminde bir arıza meydana gelmesi durumunda arızanın hangi hatta olduğunu tespit etmiş ve arızanın meydana geldiği hatta göre bir koruma şeması uygulayarak sadece arızalı hattı güç sisteminden izole etmiştir. Yönetim rölesi içinde bulunan algoritma, çeşitli senaryolar altında oluşturulmuş arızalar ile sınanmış ve güvenilirliği ortaya konmuştur. Çalışma sonucunda, geliştirilen *Yönetim rölesi*'nin arızalı hat tespiti ve mesafe rölelerine sunduğu koruma şemaları ile seri kapasitör bulunan iletim hatlarında ve komşu hatlarda mesafe rölelerinin yanlış operasyonlar yapmasının önüne geçilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İletim Şebekesi, Seri kapasitör, Arızalı Hat Belirleme, Yönetim rölesi

PhD. Thesis

SUMMARY

MANAGEMENT RELAY FOR ASSISTING DISTANCE RELAYS IN SERIES
COMPENSATED TRANSMISSION LINES

Emre ELMACI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical Engineering Graduate Program
Supervisor: Asst. Prof. Fatih Mehmet NUROĞLU
2023, 107 Pages

Series capacitors are used in power transmission lines due to their various benefits. Along with the benefits, the use of series capacitors brings some problems in the power system. One of these problems is the difficulty distance relays have in detecting the fault location due to the capacitor effect. In series compensated transmission lines, the distance relays overcome the problem of determining the fault location by adjusting depending on the presence or absence of the capacitor. However, they are insufficient for faults that may occur in neighboring lines. Although there are many studies in the literature on the disadvantages caused by the capacitor effect on transmission lines, no device design has been encountered that prevents incorrect operation of distance relays from a single point without being affected by the presence or absence of the capacitor. In this study, a device named Management Relay has been developed to prevent the maloperation of distance protection relays in series compensated transmission lines and in neighboring lines. When a fault occurs in the power system, the developed device detects which line the fault occurs and isolates only the faulty line from the power system by applying a protection scheme according to the fault location. The algorithm inside the Management Relay has been tested with various fault scenarios and its reliability has been demonstrated. As a result of the study, the developed Management Relay has prevented incorrect operations of distance relays in series compensated transmission lines and in neighboring lines by providing fault detection and protection schemes to the distance relays.

Key Words: Transmission Network, Series Capacitor, Faulted Line Identification, Management Relay

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Üç faz kısa devre arızası.....	4
Şekil 2. İki faz kısa devre arızası.....	4
Şekil 3. İki faz toprak kısa devre arızası.....	5
Şekil 4. Tek faz toprak kısa devre arızası.....	5
Şekil 5. Mesafe Koruma	6
Şekil 6. Arıza uzaklığının hesabı.....	7
Şekil 7. Mesafe koruma röle kademeleri [6]	8
Şekil 8. Mesafe koruma röle karakteristikleri	9
Şekil 9. Arıza empedansının röle karakteristiği üzerinde gösterimi.....	9
Şekil 10. Seri kapasitörlü iletim hattı	14
Şekil 11. MOV korumalı seri kapasitör	15
Şekil 12. Hattın %33 ve %66'sında hat ortası kompanzasyonu	17
Şekil 13. Hattın %50'sinde hat ortası kompanzasyonu	17
Şekil 14. Şönt reaktörleri bara tarafında olan hat sonu kompanzasyonu.....	18
Şekil 15. Şönt reaktörleri hat tarafında olan hat sonu kompanzasyonu.....	18
Şekil 16. 500 kilometre uzunluğunda hattın gerilim profili	20
Şekil 17. Seri kapasitörlü hattı temsil eden elektrik devresi.....	20
Şekil 18. Endüktif özellikte seri kapasitörlü bir hattın gerilim profili.....	21
Şekil 19. Aktarılan gücün sabit olması durumunda güç açıları.....	23
Şekil 20. İki baralı seri kapasitörlü iletim hattı	23
Şekil 21. Güç açısının sabit olması durumunda aktarılan güçler	25
Şekil 22. Hattın orta noktasında seri kapasitör bulunan güç iletim sistemi.....	29
Şekil 23. Seri kapasitörlü hatta bulunan mesafe rölesi karakteristiği.....	29
Şekil 24. Orta noktasında seri kapasitör bulunan iki baralı iletim sistemi	30
Şekil 25. Şekil 24'te görülen iletim hattının gerilim profili	31
Şekil 26. Şekil 24'te görülen iletim hattında seri kapasitör devredeyken (a) ve seri kapasitör devre dışıyken (b) Arızalı fazın gerilimi ve akımı arasındaki fazör ilişkisi	32
Şekil 27. Hat başında seri kapasitör bulunan iki baralı iletim sistemi.....	32
Şekil 28. Şekil 27'de görülen iletim hattında seri kapasitör devredeyken (A) ve seri kapasitör devre dışıyken (B) Arızalı fazın gerilimi ve akımı arasındaki fazör ilişkisi	33

Şekil 29. Şekil 27’de görülen iletim hattının gerilim profili	33
Şekil 30. 5 baralı iletim şebekesi	38
Şekil 31. Kompanzasyon seviyesine göre hatların yüklenme durumları	40
Şekil 32. Bara 2 ve Bara 3 arasındaki gerilim açısı değerleri	41
Şekil 33. Bara 2 ve Bara 4 arasındaki gerilim açısı değerleri	41
Şekil 34. Bara 3 ve Bara 4 arasındaki gerilim açısı değerleri	42
Şekil 35. Kompanzasyon seviyesine göre şebekenin reaktif güç kaybı	42
Şekil 36. 5 baralı radyal şebeke	43
Şekil 37. 4 baralı iletim şebekesi	46
Şekil 38. Seri kapasitörlü iletim hattında oluşan kısa devre.....	46
Şekil39. Kapasitör devre dışıyken (a) R4-1, (b) R1-4, (c) R2-4, (d) R3-4 empedans karakteristiği.....	47
Şekil 40. Kapasitör devredeyken (a) R4-1, (b) R1-4, (c) R2-4, (d) R3-4 empedans karakteristiği.....	48
Şekil 41. AHB algoritması akış diyagramı	51
Şekil 42. Yönetim rölesi çalışma diyagramı.....	54
Şekil 43. PowerFactory yazılımının etkileşim kanalları.....	55
Şekil 44. Kritik bara üzerinde yönetim rölesi.....	56
Şekil 45. Yönetim rölesi kompozit modeli.....	57
Şekil 46. Yönetim rölesi blok diyagramı.....	57
Şekil 47. PowerFactory ile Harici DLL dosyası veri alışverişi	58
Şekil 48. Oluşturulan DSL fonksiyonun kullanımı	58
Şekil 49. Kayabaşı kısmi şebekesi.....	64
Şekil 50. Kritik Kayabaşı barası üzerinde yönetim rölesi	66
Şekil 51. Kritik kayabaşı barası için oluşturulan DSL fonksiyonların kullanımı.....	67

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Hatların direnç ve reaktans değerleri	38
Tablo 2. Yüklerin güç değerleri.....	39
Tablo 3. Hatların yüklenme durumları	39
Tablo 4. Kompanzasyon seviyesine göre bara gerilim ve açı değerleri	40
Tablo 5. Hat 1 üzerinde tek faz toprak kısa devre arızasında mesafe rölelerinin işlemleri	43
Tablo 6. Hat 2 üzerinde tek faz toprak kısa devre arızasında mesafe rölelerinin işlemleri	44
Tablo 7. Hat 3 üzerinde tek faz toprak kısa devre arızasında mesafe rölelerinin işlemleri	44
Tablo 8. Hat 4 üzerinde tek faz toprak kısa devre arızasında mesafe rölelerinin işlemleri	45
Tablo 9. Sınıf etiketleri.....	52
Tablo 10. Röle çıkış matrisi.....	59
Tablo 11. Hat 1 hattının mesafe rölesi zone ayarları.....	59
Tablo 12. Hat 2 hattının mesafe rölesi zone ayarları.....	60
Tablo 13. Hat 3 hattının mesafe rölesi zone ayarları.....	60
Tablo 14. Kapasitör devre dışı iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler.....	61
Tablo 15. Kapasitör devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler.....	62
Tablo 16. Kapasitör devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler.....	62
Tablo 17. Kritik baraya bağlı hatların açma yapan mesafe röleleri.....	63
Tablo 18. AHB için test verisi kombinasyonları	64
Tablo 19. Hat iletkenleri parametreleri.....	65
Tablo 20. Kayabaşı şebekesinde yer alan iletken tipleri	65
Tablo 21. İletim hatlarının sınıf etiketleri.....	66
Tablo 22. Eğitim verisi parametreleri.....	67
Tablo 23. Röle çıkış matrisi.....	68
Tablo 24. Test verisi kombinasyonları	68
Tablo 25. Kayabaşı-Kurşunlu hattının mesafe rölesi zone ayarları.....	69
Tablo 26. Kayabaşı-Bağlum hattının mesafe rölesi zone ayarları.....	69
Tablo 27. Kayabaşı-Deçeko hattının mesafe rölesi zone ayarları	70

Tablo 28. Kayabaşı-Altinkaya hattının mesafe rölesi zone ayarları.....	70
Tablo 29. Kayabaşı-Çarşamba hattının mesafe rölesi zone ayarları	71
Tablo 30. Kayabaşı-Samsun hattının mesafe rölesi zone ayarları.....	71
Tablo 31. Kapasitörler devre dışı iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler	73
Tablo 32. Tüm kapasitörler devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler	74
Tablo 33. Kurşunlu ve Bağlum kapasitörleri devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler	75
Tablo 34. Kurşunlu ve Deçeko kapasitörleri devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler	76
Tablo 35. Bağlum ve Deçeko kapasitörleri devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler	77
Tablo 36. Sadece Kurşunlu kapasitörü devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler	78
Tablo 37. Sadece Bağlum kapasitörü devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler	79
Tablo 38. Sadece Deçeko kapasitörü devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler	80
Tablo 39. Tüm kapasitörler devrede iken Kayabaşı-Samsun hattında arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler	81
Tablo 40. Tüm kapasitörler devrede iken Kurşunlu-Boyabat hattında arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler	82
Tablo 41. Kayabaşı barasına bağlı hatların açma yapan mesafe röleleri.....	83

SEMBOLLER DİZİNİ

AC	Alternatif Akım
DC	Doğru Akım
I	Akım
V	Volt
kV	Kilo Volt
kA	Kilo Amper
MVA	Mega Volt-Amper
MW	Mega Watt
MVA _r	Mega Volt-Amper Reaktif
Ω	Ohm
P	Aktif Güç
Q	Reaktif Güç
S	Görünür Güç
R	Rezistans
L	Endüktans
C	Kapasitans
X	Reaktans
Z	Empedans
Y	Süseptans
XL	Hattın Endüktif Reaktansı
XC	Hattın Kapasitif Reaktansı
Z ₁	Pozitif Bileşen Empedansı
R ₁	Pozitif Bileşen Rezistansı
X ₁	Pozitif Bileşen Reaktansı
Y ₁	Pozitif Bileşen Süseptansı
R ₀	Sıfır Bileşen Rezistansı
X ₀	Sıfır Bileşen Reaktansı
Y ₀	Sıfır Bileşen Süseptansı
msn	Mili Saniye
p.u.	Per Unit

KNN	K-En Yakın Komşu
MOV	Metal Oxide Varistor (Metal Oksit Varistör)
DGKÇ	Doğalgaz Kombine Çevrim
TCSC	Thrisytor Controlled Series Capacitor (Tristör Kontrollü Seri Kapasitör)
TS	Trip Sinyali
PUTT	Müsaadeli Düşük Menzil Transfer Trip
POTT	Müsaadeli Aşırı Menzil Transfer Trip
DCB	Direkt Karşılaştırmalı Blokaj Koyma
DCUB	Direkt Karşılaştırmalı Blokaj Kaldırma
PLC	Power Line Carrier
3P	3 Faz Kısa Devre Arızası
2P	2 Faz Kısa Devre Arızası
1PE	Tek Faz Toprak Kısa Devre Arızası
2PE	İki Faz Toprak Kısa Devre Arızası
AHB	Arızalı Hat Belirleme Algoritması
DSL	Digsilent Yazılım Dili
DLL	Dynamic Link Library

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Genel Giriş

Günümüz dünyasında enerjiye olan ihtiyaç ve bağımlılık, teknolojik ve endüstriyel gelişmelerle birlikte gün geçtikte artmaktadır. Artan talebin ve kullanıcıların beklentilerinin karşılanması için çok sayıda üretim merkezlerinin kurulmasıyla birlikte mevcut merkezlerde üretilen enerjiyi taşıyan güç iletim hatlarının da taşıdığı güç miktarında artışlar meydana gelmektedir.

Güç iletim hatlarının aşırı yüklenmesi güç sisteminde olumsuzluklara neden olmaktadır. Güç iletimi yapan iletkenlerin belirli bir akım taşıma kapasitesi vardır. Akım taşıma kapasitenin zorlanması başka bir deyişle iletim hattından nominal değerinin üzerinde akımlar akması ile güç sistemindeki izolatörler, baralar ve transformatörlerin kullanım ömrü azalabilir, arızalanabilir, kalıcı zararlar görebilir. Ya da söz konusu aşırı yüklenmeden kaynaklı hat açmasından dolayı tüketiciler enerjisiz kalabilir. Bu olumsuzlukların önüne geçmek amacıyla birtakım çalışmalar yapılmaktadır.

Artan enerji talebi ile hatların aşırı yüklenme problemine sunulan çözümlerden biri yeni enerji iletim hatları inşa etmektir. Bu sayede üretim merkezlerinde üretilen enerji, belirli sayıda iletim hattı ile tüketiciye ulaştırılırken yeni iletim yollarının eklenmesi ile mevcut hatların yükü yeni tesis edilen hatlar arasında paylaşılarak iletim sisteminde bir rahatlama meydana gelecektir. Fakat bu çözümü uygulamak her zaman mümkün olmamaktadır. Zira yeni iletim hatları tesis etmede, yeni hattın maliyeti, yapımının uzun sürmesi gibi sorunlar yeni iletim hattı tesis etme seçeneğinin kullanımını zorlaştırmaktadır. Ayrıca yeni iletim hattının tesis edileceği arazilerin kamulaştırılmasında ortaya çıkabilecek bürokratik ve yasal zorluklar da bu seçeneğin kullanılmasının önünde engel teşkil etmektedir.

Aşırı yüklenme probleminin çözümünde değerlendirilen bir başka seçenek ise mevcut iletim hatlarının aktif güç taşıma kapasitesinin artırılmasıdır. Bu amaçla güç iletim hatlarında seri kapasitör kullanımı ile mevcut iletim hatlarının güç aktarım kapasitesi önemli ölçüde artış gösterir. Bu seçenek aynı zamanda yüksek maliyet ve uzun zaman gerektiren yeni iletim hatları tesis etme çalışmalarını da düşük seviyelerde tutacaktır.

İletim kapasitesini arttırmak amacıyla seri kapasitör kullanımının güç sistemine birtakım olumlu katkıları olmakla birlikte seri kapasitörün varlığı bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu sorunlardan biri enerji iletim hatlarının korunmasında kullanılan mesafe koruma röleleri üzerindeki olumsuz etkisidir.

Bir iletim hattında kısa devre arızası gerçekleşmesi durumunda arızanın hatta meydana geldiği yere bağlı olarak ilgili hattın mesafe röleleri seri kapasitör etkisinden dolayı oluşan arızayı koruma bölgeleri içinde görmeyebilir ya da başka bir hatta meydana gelen arızayı koruma bölgeleri içinde görebilir.

Bu çalışmada mesafe rölelerinin seri kapasitör etkisi ile yanlış operasyonlar yapmasının önüne geçmek amacıyla yönetim rölesi tasarlanmıştır. Çalışma sonucunda, simülatör ortamında modellenen şebeke üzerinde herhangi bir kısa devre arızası oluşturulması durumunda yönetim rölesi tarafından arızalı hat tespit edilmiş ve mesafe rölelerinin yanlış çalışmasına fırsat vermeden ilgili hattın kesicileri açarak arızalı hattın güç sisteminden izole edildiği gözlemlenmiştir.

1.2. Enerji İletim Hatlarının Korunması

Dünyanın hemen her yerinde üretim merkezleri birincil enerji kaynağına yakın yerlere kurulmaktadır. Fakat enerjinin, üretildiği merkezlere yakın yerlerde tüketilmesi çeşitli çevresel ve yaşamsal faktörlerden dolayı çoğunlukla mümkün olmayan bir durumdur. Bu sebeple enerji potansiyelinin yüksek ve enerji üretimi amacıyla kullanılan ham maddenin bulunduğu yerlerde kurulu olan elektrik üretim santrallerinden çok sayıda endüstriyel ve bireysel tüketicinin yaşadığı büyük şehirlere uzun iletim hatları ile enerji aktarımı yapılmaktadır. Enerjinin uzun iletim hatları ile taşınması güvenli ve ekonomik bir yöntemdir.

İletim hatları üretim merkezlerinde üretilen enerjiyi çeşitli coğrafyalardan ve iklimlerden geçerek tüketicilere ulaştırmaktadır. Enerjinin taşındığı güzergahta daha önceden kestiremeyeceğimiz doğa olayları, afetler veya kazaların meydana gelmesi neticesinde enerji iletim hatları ve onların fiziksel taşıyıcıları zarar görebilir. Böyle olayların gerçekleşmesi hatlarda kolaylıkla kısa devre arızasının oluşmasına sebep olmaktadır. Güç sisteminin, ortaya çıkabilecek kısa devre arızalarının etkilerine karşı korunması gerekmektedir. İletim hatlarında meydana gelebilecek bir kısa devre arızası durumunda hatların korunması mesafe koruma röleleri ile gerçekleştirilmektedir.

1.2.1. Enerji İletim Hatlarında Kısa Devreler

Elektrik güç sistemleri, yükün güvenli, güvenilir ve ekonomik bir şekilde beslenmesini sağlayacak şekilde planlanmalı, projelendirilmeli, inşa edilmeli, devreye alınmalı ve işletilmelidir. Dikkatli planlama ve tasarım, iyi bakım ve tüm bunların neticesinde eksiksiz çalışan bir sistemin var olmasına rağmen güç sisteminde arızaların oluşması önlenemez [1]. Çünkü daha önceden kestiremeyeceğimiz olayların gerçekleşmesiyle kısa devreler meydana gelebilir. Bu olaylardan bazıları yıldırım düşmesi, fırtınalar, elektrik hatları üzerine ağaç dallarının değmesi veya devrilmesi gibi doğal olaylar olabileceği gibi şalt cihazlarının ömrünün tükenmesi gibi olaylar da arızalar meydana getirebilir. Kısa devre arızası, bir iletim sisteminde faz iletkenlerinin birbirleriyle veya toprak ile herhangi bir sebepten dolayı temas etmesi ile ortaya çıkan bir arıza durumudur.

Bir elektrik devresindeki akım, direncin düşük olduğu yoldan akmayı tercih eder. Kısa devre durumunda iki farklı potansiyeldeki nokta birbirine düşük direnç ve empedansa sahip alternatif bir yol üzerinden bağlanır. Bu durumda hat akımı söz konusu düşük dirençli yolu tercih ederek ani bir şekilde normal seviyesinden çok yüksek seviyelere çıkar. İşte bu alternatif yoldan akan yüksek akım, kısa devre akımı olarak bilinir. Bahsedilen yüksek kısa devre akımları şebeke üzerinden hızla yayılarak güç sistemi boyunca tüm teçhizata büyük zararlar verecek seviyelerdedir. Kısa devre akımı, tüm güç sistemi bileşenlerini termal, manyetik ve mekanik zorlanmalara maruz bırakır. Kısa devre noktasında yangına neden olan elektrik arkları oluşabilir, elektro dinamik kuvvetler bara ve kablolarda deformasyona neden olabilir ve aşırı sıcaklık artışı ile izolasyon zarar görebilir [2].

Güç sistemlerinde oluşan kısa devreleri temelde dengeli ve dengesiz arızalar olmak üzere ikiye ayırabiliriz [3].

1. Dengeli Arızalar

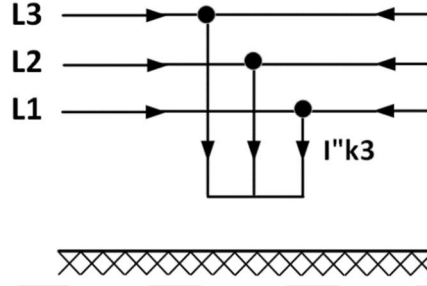
- Üç faz kısa devre arızası
- Üç faz-toprak kısa devre arızası

2. Dengesiz Arızalar

- İki faz kısa devre arızası
- İki faz toprak kısa devre arızası
- Tek faz toprak kısa devre arızası

1.2.1.1. Dengeli Arızalar (Üç Faz Kısa Devre Arızası)

Bu tip arıza, üç fazın tamamında aynı anda meydana gelen kısa devre olarak tanımlanır. Şekil 1’de görüldüğü gibi faz iletkenlerinin birbirleri ile temas ettikleri noktanın potansiyeli arıza empedansına bağlı olarak değişiklik gösterir. Güç sistemlerinde nadiren oluşan bir arızadır fakat şebekeye etkisi en ciddi arıza türüdür.

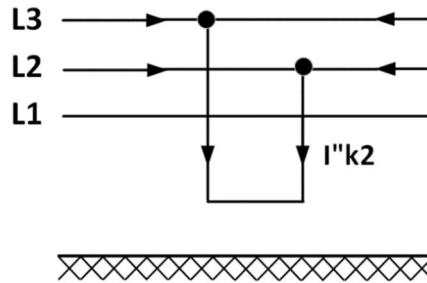


Şekil 1. Üç faz kısa devre arızası

1.2.1.2. Dengesiz Arızalar

1.2.1.2.1. İki Faz Arızası

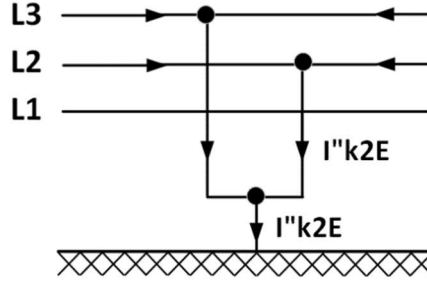
Herhangi iki fazın birbiri ile teması sonucu oluşan bir arıza türüdür. Şekil 2’de gösterilmiştir. Güç sistemlerinde oluşan arızaların ortalama %15’ini kapsar. Arızanın meydana geldiği yerdeki iki faz arasındaki gerilim arıza empedansına bağlı olarak değişiklik gösterir.



Şekil 2. İki faz kısa devre arızası

1.2.1.2.2. İki Faz Toprak Arızası

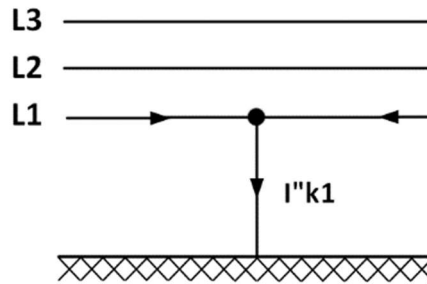
İki faz toprak kısa devre arızası nispeten az karşılaşılan bir arıza türüdür. İki faz iletkeninin birbiriyle ve toprakla ya da bir empedans üzerinden toprakla teması ile meydana gelmektedir. Şekil 3'te iki faz toprak kısa devre arızasının genel görünüşü ve arıza akım yönleri verilmiştir.



Şekil 3. İki faz toprak kısa devre arızası

1.2.1.2.3. Tek Faz Toprak Arızası

Tek faz toprak arızası ortalama %80 gibi bir oranla güç sistemlerinde en sık meydana gelen arıza türlerinden biridir. Bu tür bir kısa devre arızası faz iletkenlerinden birinin toprak ile temas etmesi sonucunda meydana gelir. Şekil 4'te tek faz toprak arızasının bir gösterimi verilmiştir.



Şekil 4. Tek faz toprak kısa devre arızası

1.2.2. Mesafe Koruma

İletim hatları üretim merkezlerinde üretilen enerjiyi uzun mesafeler kat ederek tüketicilere ulaştırmaktadır. Enerjinin taşındığı güzergahta meydana gelebilecek doğa olayları, afetler veya kazalar neticesinde enerji iletim hatları ve onların fiziksel taşıyıcıları zarar görebilir. Böyle bir durum ise hatlarda kolaylıkla kısa devre arızasının oluşmasına sebep olmaktadır.

Üretim merkezlerinde üretilen enerjinin güvenli, güvenilir ve düşük maliyetler ile tüketicilere ulaştırılması temel amaçlardandır. Bu sebeple güç iletim hatlarının, meydana gelebilecek bir arızaya karşı korunması güvenli ve güvenilir enerji için önem arz etmektedir. İletim hatları birden fazla noktada bulunan üretim merkezleri tarafından beslendiği için olası bir kısa devre esnasında arıza akımı çok yüksek değerlere çıkabilmektedir. Böyle bir arıza durumunda arıza yerinin çok hızlı bir şekilde tespit edilmesi ve arızanın meydana geldiği hattın güç sisteminden izole edilmesi gerekir. Aksi takdirde oluşabilecek çok yüksek arıza akımına maruz kalan şebeke unsurları zarar görür. Bu durum hem teçhizat zarar gördüğü için maddi kayıplara hem de tüketicilerin uzun müddet enerjisiz kalmasına neden olur.

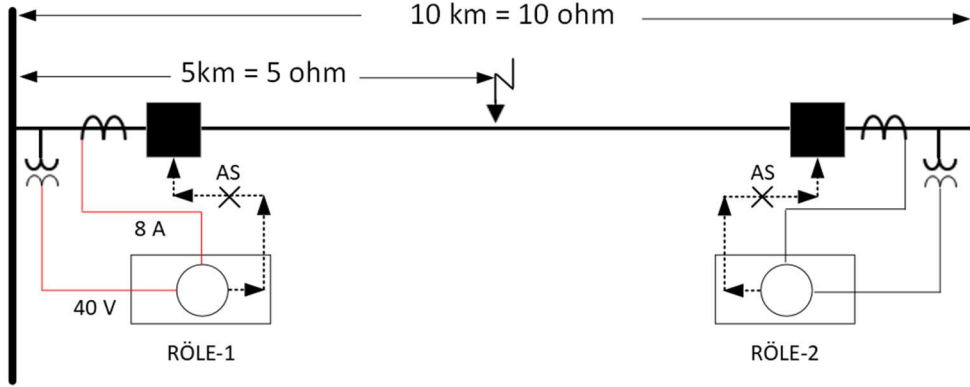
İletim hatlarının korunması mesafe koruma röleleri ile gerçekleştirilir. Güç iletim hatlarında mesafe koruma, güvenilir ve seçici bir koruma yöntemidir [4]. Aynı zamanda mesafe röleleri basit bir çalışma prensibine sahip ve etkili bir koruma sağlar. Şekil 5'te mesafe korumayı gösteren bir blok gösterim bulunmaktadır.



Şekil 5. Mesafe Koruma

Ölçü transformatörleri aracılığıyla elde edilen hat akımları ve bara gerilimleri mesafe rölesine girilir. Nominal işletme şartlarında ölçülen akım ve gerilim değerleri ile set edilen

röle kısa periyotlarla tekrar etmek üzere bir empedans hesaplar [4]. Bir kısa devre arızası esnasında hat akımında yükselme ve bara geriliminde azalma görülür. Bu durumda röle yeni akım ve gerilim değerlerini kullanarak yapacağı hesaplama ile empedans değerinde değişikliği tespit ederek açma sinyali üretir ve hat kesicisini açtırır. Şekil 6'da empedans hesabını gösteren basit bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 6. Arıza uzaklığının hesabı

Kilometre başına 1 ohm empedansa sahip olan 10 km uzunluğunda bir iletim hattı için röle tarafından korunması gereken hattın toplam empedans değeri 10 ohm olacaktır. Hattın 5. Kilometresinde bir kısa devre arızası meydana geldiğinde akım ve gerilimde meydana gelen değişiklik ile hesaplanan empedans değeri 5 ohm olacaktır. Bu durumda mesafe rölesi set edilen değer ile yeni hesaplanan değer arasındaki değişikliği tespit edecek ve ürettiği açma sinyali ile ilgili hattın kesicisini açtıracaktır.

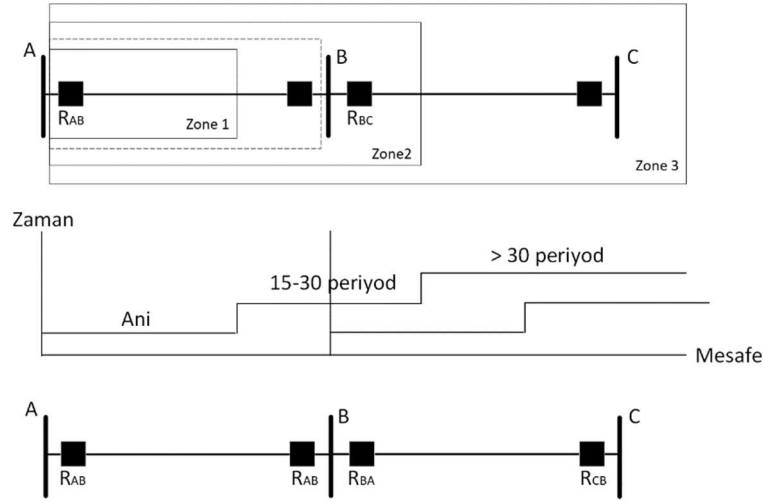
1.2.2.1. Mesafe Koruma Rölesinin Kademe Ayarları

İletim hatlarında seçici bir koruma düzeni uygulamak amacıyla mesafe rölesi ileri ve geri yön olmak üzere birden çok koruma bölgesi oluşturulmasına olanak sunmaktadır. Bu koruma bölgeleri ana ve yedek koruma bölgeleri olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 7'de görülen Zone 1 ve Zone 2 röle tarafından korunması yapılan hattın ana koruma görevini yerine getirir. Zone 2, 1. Hat için ana koruma görevi yerine getirirken komşu hattın baş tarafında meydana gelebilecek bir arıza içinse yedek koruma yapmaktadır. Zone 3 ise komşu hat için yedek koruma görevini üstlenmiştir [5]. İletim hatlarında oluşturulan koruma bölgeleri genellikle şu aralıklarda oluşturulur:

Zone 1: Korunan hattın empedansının yaklaşık %80-85'i olacak şekilde ayarlanır. Burada bir arıza meydana gelmesi durumunda röle bir gecikme olmadan ani açma yaptırır. Zone 1'in hattın %100'ünü kapsaması durumunda ölçüm yapan transformatörlerin toleransları ile komşu hatta meydana gelen bir arıza röle tarafından zone 1'de görülebilir. Böyle bir yanlış operasyonun önüne geçmek amacıyla zone 1, hattın %100'ü değil %80-85'ini kapsayacak şekilde ayarlanır.

Zone 2: Korunan hattın empedansının yaklaşık %120-130'u olacak şekilde ayarlanır. 15-30 periyod arasında bir gecikme ile açma sinyali üretir.

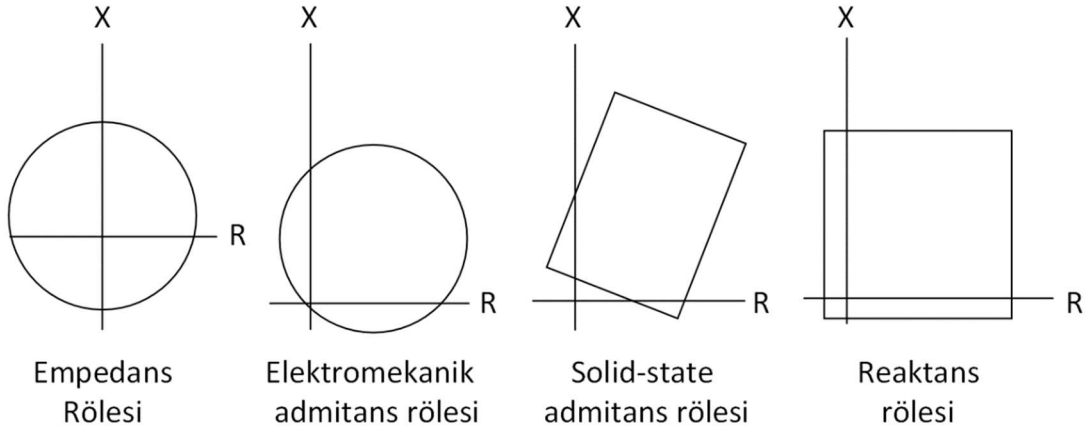
Zone 3: Korunan hattın empedansına komşu hattın empedansının yaklaşık %120-130'u eklenmek suretiyle elde edilen empedans değerine ayarlanır. 30 periyoddan uzun bir gecikme ile açma sinyali üretecek şekilde ayarlanır.



Şekil 7. Mesafe koruma röle kademeleri [6]

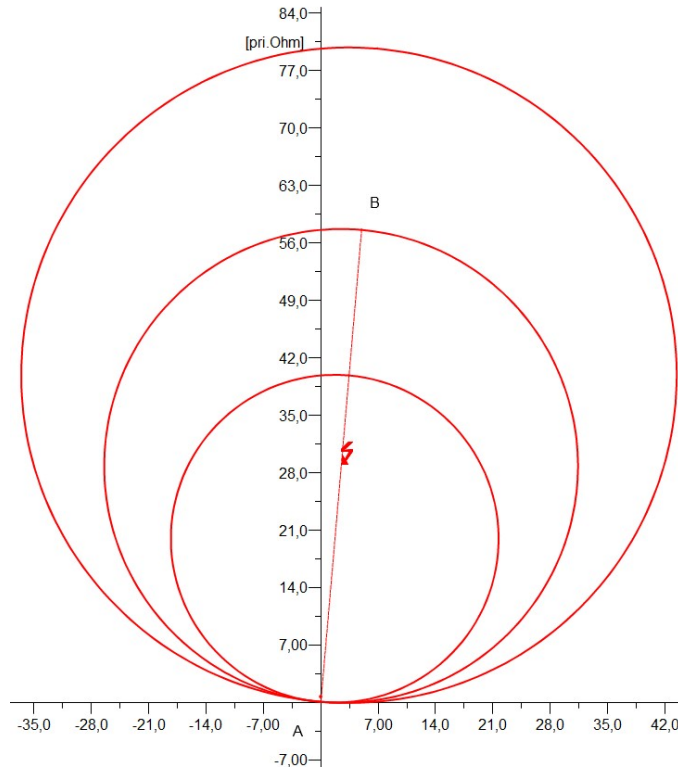
1.2.2.2. Mesafe Koruma Röle Karakteristikleri

Mesafe röleleri, röle konumundaki voltaj ve akıma, yani empedansa yanıt verir. Kilometre başına empedans sabittir, bu nedenle mesafe röleleri röle konumu ile arıza yeri arasındaki mesafeye tepki verir. Güç sistemleri daha karmaşık bir hale dönüştükçe ve üretimdeki ve sistem konfigürasyonlarındaki değişiklikler çeşitlilik gösterdikçe yönlü aşırı akım rölelerinin bütün olasılıklar için ayarlanması zor bir hal almıştır. Fakat mesafe rölesi ayarları birçok değişiklik için sabittir [6]. Şekil 8'de gösterildiği gibi 3 genel mesafe rölesi karakteristiği vardır. Bunlar empedans, admitans ve reaktans röleleridir [3].



Şekil 8. Mesafe koruma röle karakteristikleri

Şekil 9’da tipik bir empedans rölesi karakteristiği görülmektedir. Rölenin koruduğu hattın bir ucu A noktası diğer ucu ise B noktasıdır. Hattın orta noktasında meydana gelen bir arıza durumunda arıza şeklinde görüldüğü gibi rölenin 1. koruma bölgesine düşmüştür.



Şekil 9. Arıza empedansının röle karakteristiği üzerinde gösterimi

1.2.2.3. Pilot Koruma

Mesafe rölesinin çalışması izah edilirken her bir rölenin yalnızca röle konumundan elde ettiği bilgiler ile çalıştığından bahsedilmişti. Böyle bir koruma şemasının basitlik açısından belirgin avantajları vardır ve genellikle yüksek kalitede koruma ve hızlı yanıt sağlamak için yeterlidir. Fakat bazı durumlarda bu şema yeterli olmayabilir. Nitekim bir mesafe rölesinin 1. bölgesinin dışındaki bir arızayı temizlemek için zaman gecikmesinin istenmediği durumlar olabilmektedir. Büyük güç aktarımı yapan ve gecikmeli arıza açmasının ciddi şebeke kararlılık sorunlarına yol açabileceği yüksek gerilim sistemlerinde böyle bir gecikme istenmez. Bu gibi durumlarda, daha karmaşık iletim koruma şemaları gereklidir [4].

Seçicilik, güvenilirlik ve güvenlik olmak üzere herhangi bir koruyucu sistemin tasarımında temel olan üç önemli kavram vardır. Seçicilik, koruma sisteminin, koruma bölgelerindeki arızaları belirlemede güvenilir olmasını gerektirir. Söz konusu seçicilik koruma sistem tasarımcısı tarafından arıza tespiti ve hat açması yapmak için uygun mantığı kullanmakla elde edilir. Güvenilirlik, koruma sisteminin çalışır durumda olmasını, yani genel tasarımın, koruyucu teçhizatın bir kısmı arızalanmış olsa bile uygun koruyucu eylemi sağlamasını gerektirir. Böyle bir tanıma sahip olan güvenilirlik ise yüksek kaliteli ekipman kullanılarak, ekipmanın çalışır durumda kalmasını sağlamak için rutin testler yapılarak ve yedekli bir koruyucu sistem tasarlanarak elde edilir. Sistem güvenliği, koruma sisteminin çalışmaması gerektiğinde çalışmaktan kaçınma yeteneğini ifade eder. Sistem güvenliği özellikle aşırı yüklü bir hat açıldığında meydana gelen önemli sistem bozulması nedeniyle yüksek gerilim devrelerinde önemlidir [4].

Koruma bölgeleri tanımlanmış klasik koruma yöntemi ile yapılan bir koruma düzeninde korunan hattın uç kısmında meydana gelen bir arızadan bahsederseniz arıza korunan hatta olmasına rağmen rölenin zone 2 bölgesine düştüğü için röle belirli bir zaman gecikmesi ile açma yapacaktır. Söz konusu gecikme sistem kararlılığı açısından negatif etkiler oluşturabilmektedir. Böyle bir gecikme ile olumsuz etkilere sebebiyet vermemek için bu gecikmelerin minimum seviyelerde olması gerekir. Bu amaçla ve seçicilik, güvenilirlik ve güvenlik kavramlarını gözeterek bir koruma düzeni oluşturmak için enerji iletim hatlarında pilot röle uygulaması yapılmaktadır [6].

1.2.2.3.1. Pilot Koruma Fiziksel Sistemleri

Pilot röle farklı trafo merkezlerindeki röleler arasında açma ya da açmama bilgisini taşımak amacıyla bir iletişim ağı kullanan herhangi bir haberleşme sistemini ifade eder. Pilot röle kullanımındaki amaç, hat kesicilerini olabildiğince hızlı açtırmaktır. Pilot röle uygulaması için haberleşme işlemi kablolu haberleşme, PLC (Power Line Carrier), mikrodalga veya fiber optik kablo üzerinden gerçekleştirilebilmektedir. Haberleşme işlemi için bu araçların hepsinde temel ilkeler aynı olsa da her birinin farklı tasarım detayları vardır [6].

1. Kablolu Haberleşme Sistemleri: Kablo pilot röleleme sistemleri uzun yıllardır kullanılmaktadır. Kablo pilot haberleşme sistemi, röleleme için ayrı bir pilot devrenin kurulum veya kiralama maliyetinin az olduğu kısa olan hatlarda kullanılır. Bu uygulamada pilot kabloların kendileri, bir seri reaktans ve empedansı ve bir şönt kapasitansı olan bir iletim hattıdır. Bundan dolayı pilot iletim hatları uzadıkça, sinyal iletimini optimize etmek için pilot hatta özel ayarlama gerektirir ve bu ayarlamaların yapılması tüm iletim sistemi boyunca değil sadece iki terminalde mümkündür. Bu sebepten dolayı kablo pilot kullanımı nispeten kısa iletim hatlarıyla sınırlıdır [4].

2. PLC Sistemleri: Power line carrier ile yapılacak bir haberleşmede korunan hattın kendisi kanal olarak kullanılır. Açma ya da açmama sinyali güç frekansının üzerine yüksek frekanslı bir sinyal olarak bindirilir ve iletilir. Korunan hat aynı zamanda koruyucu cihazları harekete geçirmek için kullanılan ortam olduğundan, bir engelleme sinyali kullanılır. Bu, eğer uzak uçtan bir sinyal alınmazsa hattın her iki ucunda da bir açma meydana geleceği anlamına gelir. Uzun iletim hatlarında kullanımı uygundur.

3. Mikrodalga Pilot Sistemleri: Sistem koruması için sinyalizasyon hattın iki ucu arasında mikrodalga tekniği kullanılarak da yapılabilir. Bu teknikte, ses tonu sinyalleri mikrodalga frekanslarında hattın diğer ucuna iletilmeden önce mikrodalga modülatör-demodülatör ekipmanından geçer. Ses tonu sinyalleri, bir arıza tespit edildiğinde hattın karşı ucundaki hat rölelerinin açma yapmasına izin verir [4].

4. Fiber Optik Pilot Sistemleri: Fiber optik kanallar da mikrodalga tekniği gibi korunan iletim hattından bağımsızdır, bu yüzden bir arıza durumunda iletim hattının karşı ucuna bir açma sinyali gönderebilir [6].

1.2.2.3.2. Pilot Röleleme Türleri

Enerji iletim hatlarında uygulanabilecek çeşitli pilot röleleme türleri bulunmaktadır. Bunlar şu şekildedir:

1. Yönlü Karşılaştırmalı Pilot Koruma (Directional comparison pilot protection): PLC kanalı kullanarak en yaygın kullanılan pilot röle şemalarından biri yönlü karşılaştırmalı pilot şemasıdır. Bu şemanın dayandığı temel ilke belirli bir terminalde, bir arızanın ileri veya geri yönde olduğu bilgisinin bir yönlü röle tarafından kolayca belirlenmesi esasıdır. Bu şema ile bilgiyi uzak uca ileterek ve uygun mantık uygulayarak, her iki uç için bir arızanın korunan hat içinde mi yoksa hat dışında mı olduğunu belirlenebilir. Güç hattının kendisi iletişim ortamı olarak kullanıldığından, bir engelleme sinyali kullanılır [6].
2. Transfer Açma Pilot Koruma (Transfer trip pilot protection): İletişim kanalının güç hattından bağımsız olduğu durumlarda transfer açma şeması uygulanabilir bir koruma şemasıdır. Bir arızanın yerini belirlemek için aynı yönlü röle mantığını kullanarak, uzak uca bir açma sinyali gönderilir [6]. Transfer trip pilot koruması, tüm hat boyunca hat arızalarının yüksek hızda açılmasını sağlamak ve ayrıca bitişik hat bölümleri için yedek korumanın faydalarını sağlamak için tasarlanmıştır [4].
3. Faz Karşılaştırma (Phase comparison): Faz karşılaştırması, hattın uçlarındaki akımlar arasındaki faz açısını karşılaştıran bir diferansiyel şemadır. Akımlar aynı fazda ise, korunan bölümde arıza yoktur. Bu akımlar arasında 180 derece faz farkı var ise, hat bölümünde bir arıza vardır. Herhangi bir iletişim bağlantısı kullanılabilir [6].
4. Pilot Kablo Röle (Pilot wire relay): Pilot kablo röle, faz karşılaştırmasına benzer bir diferansiyel hat koruması şeklindedir. Pilot kanal genellikle yerel telefon şirketinden kiralanmış bir devredir. Ancak telefon şirketleri kablolu tesislerini mikrodalga veya fiber optiklerle değiştirdikleri için bu korumanın yakından izlenmesi gerekmektedir [4].

1.2.2.3.3. Pilot Röle Şemaları

Enerji iletim hatlarının korumasında en çok kullanılan pilot röle şemalarını temel olarak transfer trip koruma ve blokaj-blokaj kaldırma olarak iki ana başlık altında ele alabiliriz. Transfer trip şemaları DUTT (Direkt Düşük Menzil Transfer Açma), PUTT

(Müsaadeli Düşük Menzil Transfer Açma) ve POTT (Müsaadeli Aşırı Menzil Transfer Açma) şemalarıdır:

- Direkt Düşük Menzil Transfer Açma: Direkt düşük menzil kesici açtırma şemasında röle kısa devre arızasını koruduğu hattın birinci bölgesinde görmüşse gecikme yapmaksızın hem kendi kesicisine hem de hattın diğer ucundaki kesiciye doğrudan açma komutu gönderir.
- Müsaadeli Düşük Menzil Transfer Açma: Müsaadeli düşük menzil kesici açtırma şemasında eğer bir röle koruduğu hattın birinci bölgesinde bir arıza tespit etmişse gecikme yapmadan kesicisine ve hattın diğer ucundaki mesafe rölesine açma sinyali gönderir. Hattın karşı ucundaki röle de eğer bu arızayı ikinci bölgesinde görürse gecikme yapmadan kesicisini açtırır.
- Müsaadeli Aşırı Menzil Transfer Açma: Müsaadeli aşırı menzil kesici açtırma şemasında eğer bir röle koruduğu hattın ikinci bölgesinde bir arıza tespit etmişse ve hattın diğer ucundaki röleden de bu arızayı ikinci bölgesinde gördüğü bilgisi geliyorsa o röle gecikme yapmadan kesicisine açma yaptırır.

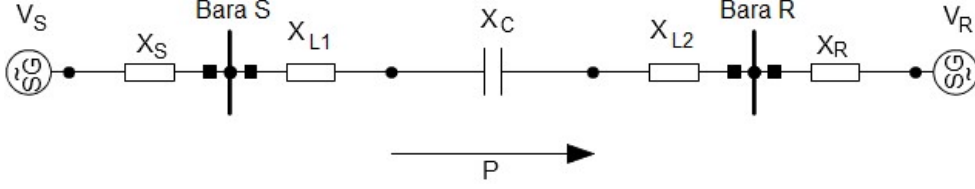
Blokaj-blokaj kaldırma pilot koruma şemaları ise Karşılaştırmalı Yönlü Blokaj (DCB) ve Karşılaştırmalı Yönlü Blokaj Kaldırma (DCUB) şemalarıdır:

- Karşılaştırmalı Yönlü Blokaj: Karşılaştırmalı yönlü blokaj şemasında eğer arıza rölenin ikinci bölgesinde ise iki çalışma senaryosu söz konusudur. Birinci senaryoda eğer arıza hattın diğer ucundaki rölenin geri bölgesinde değilse kısa zaman gecikmesi ile kesicisine açma yaptırır. İkinci senaryoda eğer arıza hattın diğer ucundaki rölenin geri bölgesinde ise uzun zaman gecikmesi ile açma yaptırır.
- Karşılaştırmalı Yönlü Blokaj Kaldırma: Karşılaştırmalı yönlü blokaj kaldırma şeması dahili arızalar haricinde sürekli bir blokaj sinyali iletir. Dahili bir arıza tespit ettiğinde blokaj kaldırma sinyali iletir.

1.3. Seri Kapasitörler

Seri kapasitörler yük ve kaynak arasındaki seri reaktansı düşürmek için kullanılırlar [3]. Seri kompanzasyon, çoğunlukla, uzun iletim hatlarına ve iletim mesafelerinin fazla

olduğu ve bu mesafeler üzerinden büyük güç transferlerinin gerekli olduğu yerlerde uygulanmaktadır. Şekil 10'da seri kapasitör içeren bir iletim hattı modeli verilmiştir [7].



Şekil 10. Seri kapasitörlü iletim hattı

İletim hatlarında çeşitli faydalarından dolayı seri kapasitörler kullanılır. Seri kapasitörün kullanımı ile hat empedansı düşecektir. Düşük hat empedansı kararlılığı artırır, gerilim regülasyonunu iyileştirir. İletim hattına seri kapasitans eklemek, yükün birkaç hat arasında bölünmesini kontrol etmek için bir olanak sağlar. Ayrıca iletim hattının seri kompanzasyonu ile hattın iletim kapasitesi artırılmış olur [8].

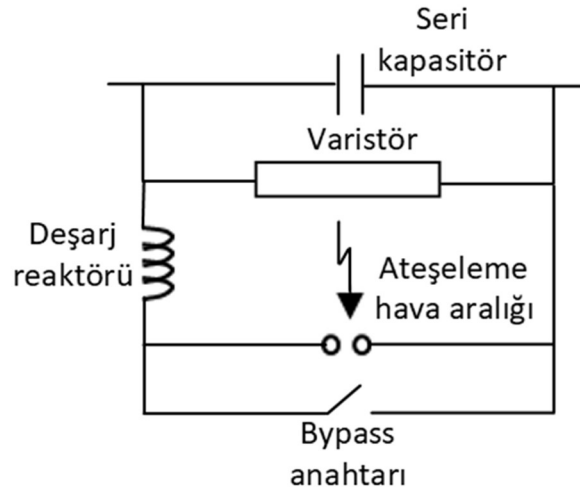
Belirtilen bu faydalarından dolayı, yük merkezleri arasındaki mesafelerin fazla olduğu ve büyük güç transferi yatırımlarının gerekli olduğu yerlerde seri kapasitörlü iletim hatları oldukça yaygınlaşmıştır. Seri kompanzasyonun sistem korumasında ve senkron altı rezonansta sorunlar yarattığı bilinmektedir. Fakat bu problemler günümüzde artık teknik olarak uygulanabilir çözümlere sahiptir. Böylece seri kompanzasyon yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [4].

İletim hatlarında seri kapasitör kullanımının çeşitli faydalarının olmasının yanı sıra seri kapasitörün varlığı karmaşık koruma problemlerini de beraberinde getirmektedir [9]. Bu karmaşıklığın seviyesi seri kapasitör boyutuna ve kapasitenin hat üzerinde bulunduğu konuma bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Seri kompanzasyon genellikle hat endüktif reaktansının bir yüzdesi olarak ifade edilir ki buna kompanzasyon derecesi denir. %50 veya %70 kompanzasyonlu bir hat demek endüktif reaktansın %50'sinin veya %70'inin seri kapasitif reaktans olarak tesis edildiğini ifade etmektedir. Kompanzasyon derecesinin yüksek olması röleleme işlemlerini daha karmaşık hale getirir [10].

Seri kapasitörün konumu koruma sistemlerinin tasarımında ayrıca bir öneme sahiptir. Mesafe röleleri, röle konumundan hatta bakıldığında görülen empedansı etkin bir şekilde hesaplayarak röle ile arıza arasındaki mesafeyi ölçer. Endüktif reaktansın büyük bir kısmı kapasitif reaktans tarafından kompanze edilirse, röle görünür empedans ölçümü doğrudan etkilenir. Birçok uygulamada seri kapasitörler hat başlarında tesis edilmektedir. Seri

kapasitörü hattın başına veya sonuna yerleştirilmesinde, orta hat istasyon tesisi gerekmediğinden ekonomik bir seçim olmaktadır [10].

Koruyucu strateji, seri kapasitörü devreden çıkarma yönteminden etkilenir. Kondansatör bankları, kondansatör etrafındaki arıza akımını baypas eden düzenlemeler ile aşırı gerilimden korunur. Bunu sağlamak için metal oksit varistörler kullanılır. Metal oksit varistör koruması kondansatörü hassas bir şekilde baypas edecek ve arıza akımı ortadan kalktığında kapasitörü hemen devreye alacak şekilde tasarlanmıştır. Metal oksit varistörün çalışmasının hat koruması üzerinde de etkileri vardır. Kondansatörün baypas edilmiş ve edilmemiş durumlarında röle tarafından görülen empedans değişiklik gösterecektir [11]. Şekil 11’de metal oksit varistörlü bir kapasitör bankası verilmiştir [12].



Şekil 11. MOV korumalı seri kapasitör

Seri kapasitörlerin koruyucu sistemi dört temel bileşenden oluşur. Ögelerin her birinin, cihazın genel işleyişinde oynayacağı belirli bir rolü vardır. En önemlisi, kondansatöre doğrudan paralel bağlanan ve arıza aşırı gerilim korumasını sağlayan metal oksit varistördür. Kapasitör ve varistör üzerinden bağlı bir akım sınırlayıcı reaktör aracılığıyla bir hava boşluğu ateşlenir. Bu boşluk seri kapasitör üzerindeki gerilimi sınırlandırmaz. Bu görevi varistör yerine getirir. Hava boşluğunun ateşlenmesi, çinko oksit varistörün görevini izleyen kontrol mantığı tarafından başlatılır. Böylece varistör akım büyüklüğünün veya süresinin aşırı hale geldiği belirli sistem arızalarında, boşluk ateşlenir, varistör kısa devre

yapar ve kapasitörü devre dışı bırakır. Ayrıca, boşluğa paralel bir baypas anahtarı, boşluktan uzun süreli akım akışına engel olmak için otomatik olarak kapanır [13].

Seri kompanzasyonlu hatların korunmasıyla ilgili sorunları anlamak için arıza meydana gelmiş bir seri kapasitörlü hattın şebeke özelliklerini incelemek gerekir. İlk olarak, kapasitör baypası oluşmadan önce röle tarafından korunan hat ele alınır. Daha sonra kapasitörü baypas edilmiş olan aynı hat tekrar ele alınır. Her iki durumda da bir arıza sırasında röle tarafından görülen olayların karmaşıklığını anlamak için röle akımı, gerilimi ve görünen empedans incelenir. Bu çalışma, değişen arıza konumları, farklı seri kapasitör konumları ve değişen kompanzasyon dereceleri için yapıldığında seri kapasitörlü hatların korunmasında ortaya çıkabilecek sorunlar daha anlaşılır olacaktır [10].

1.3.1. Kapasitörün Hat Üzerindeki Konumunun Etkileri

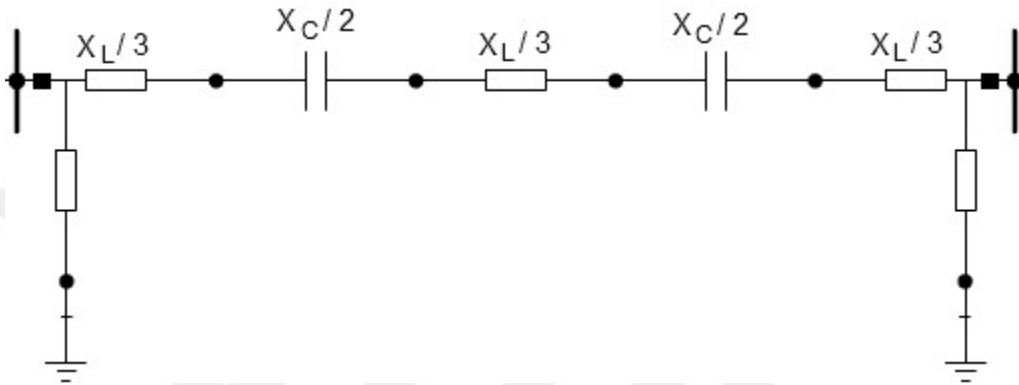
Seri kapasitör tesis edilmiş bir iletim şebekesi dizayn etmek için seri kapasitörün hat üzerindeki konumu önemli bir faktördür. Kapasitör konumu belirlenirken aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

- Seri kompanzasyonun etkinliği, bir iletim hattı boyunca konumun bir fonksiyonu olarak değişiklik gösterir.
- Seri kapasitörün iletim hattı üzerindeki konumu iletim hattı boyunca gerilim profilini etkiler.
- İletim hattının koruma ayarları seri kapasitenin hat üzerindeki konumuna bağlıdır.
- Kompanzasyonu yapılan iletim hatlarının ilerleyen zamanlardaki konfigürasyonu ve saha erişilebilirliği, arazi kullanılabilirliği ve telekomünikasyon gibi operasyonlar ve bakım sorunları, seri kapasitörün kurulduğu yerdeki koşullara bağlıdır [14].

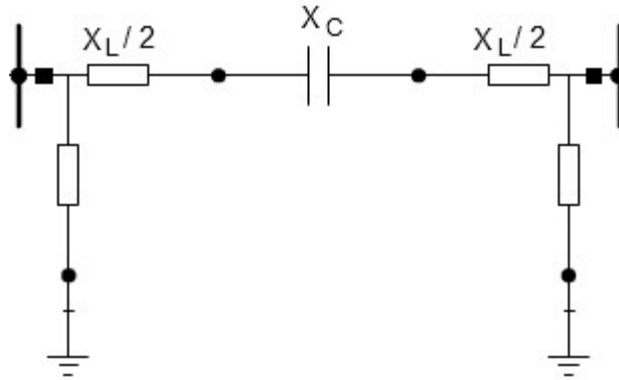
Seri kompanzasyonun etkinliği açısından, tek bir seri kapasitif reaktans için en uygun konum, iletim hattının orta noktasındadır. Seri kompanzasyonlu hattın gerilim profili, herhangi bir seri kapasitör bankının konumuna ve iletim hattının yükleme seviyelerine göre değişir. Seri kapasitör kurulumları hat ortasına; orta noktada tek bir ünite veya hattı üçe bölecek şekilde iki nokta üzerinde iki ünite olarak kurulabilir. Ayrıca hat başına veya sonuna kurulabilir [15].

1.3.1.1. Hattın Orta Noktasına Kapasitör Kurulumu

Hattın orta noktasına iki farklı şekilde kapasitör kurulabilir. Bunlardan biri hattın tam orta noktasına bir ünite kapasitör tesis etmektir. Diğeri ise hattın üçte birine denk gelecek şekilde iki ünite halinde kurulum yapmaktır. Şekil 12 ve şekil 13'te iki bağlantı türünü gösteren bir iletim hattı örneği verilmiştir [15].



Şekil 12. Hattın %33 ve %66'sında hat ortası kompanzasyonu



Şekil 13. Hattın %50'sinde hat ortası kompanzasyonu

Bu kurulum türünün avantajı:

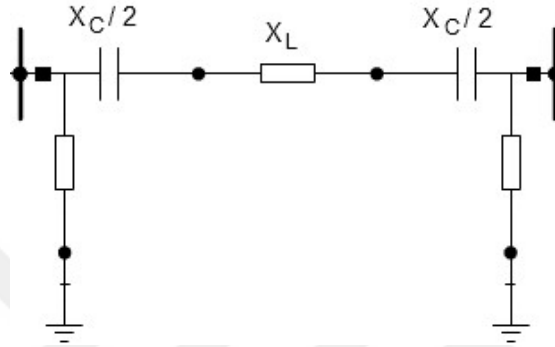
- Bir kısa devre olması durumunda arıza akımı nispeten düşük seviyelerde olur.
- Kapasitör etkinliği arttırılmış olur.

Dezavantajı:

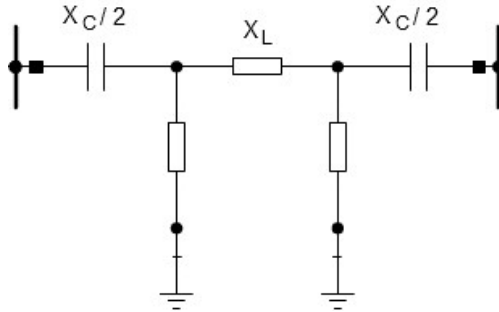
- Seri kapasitör trafo merkezinden uzakta olacağı için ani gelişen bir durum karşısında kapasitör bankasına erişim zorluğu vardır.

1.3.1.2. Hat Başına Kapasitör Kurulumu

Bu tür bir düzenlemede seri kapasitör eğer trafo merkezinde değilse hat terminaline çok yakın bir noktada kurulur. İletim hatlarının kapasitif etkisini dengelemek ve dolayısıyla iletim hatlarının gerilim profillerini iyileştirmek amacıyla genellikle seri kapasitör ile birlikte şönt reaktör de kurulur. Reaktör, seri kapasitörün bara tarafında veya hat tarafında olabilir. Şekil 14 ve şekil 15'te kapasitörün hat başına kurulduğu bir iletim hattı verilmiştir [15].



Şekil 14. Şönt reaktörleri bara tarafında olan hat sonu kompanzasyonu



Şekil 15. Şönt reaktörleri hat tarafında olan hat sonu kompanzasyonu

Avantajları:

- Trafo merkezinde kurulu iken kapasiteye erişim sorunu yoktur.
- Bakım ve operasyonlar için kapasite bankalarına ve ekipmanlara erişim daha kolaydır.
- Ayrıca bir şalt tesisine ihtiyaç yoktur.

Dezavantajları:

- Kompanzasyonun etkinliği düşüktür.

- Yüksek arıza akımlarında daha karmaşık bir koruma ve daha yüksek değerli kompanzasyon gerektirir.

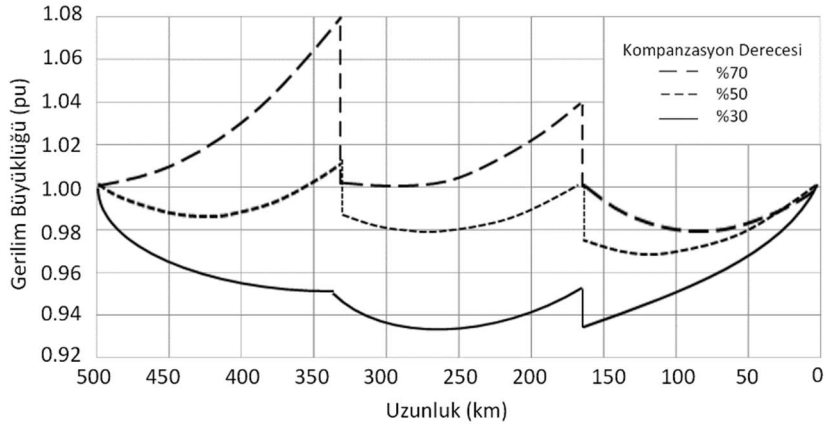
1.3.2. Seri Kapasitörün Şebeke Üzerinde Olumlu Etkileri

Seri kapasitörlerin güç sistemleri üzerinde birçok olumlu etkisi vardır. İletim hatlarında seri kompanzasyon yapılması hatların gerilim profilini iyileştirir, güç sisteminin geçici kararlılığına olumlu yönde katkıları olur ve iletim hatlarının aktif güç taşıma kapasitesini artırır.

1.3.2.1. Seri Kapasitörlü Hatların Gerilim Profili

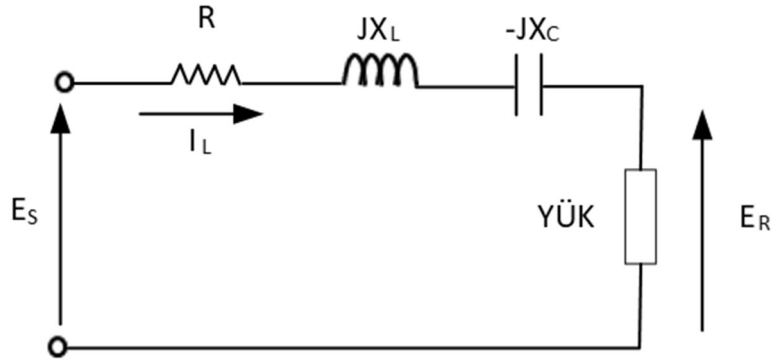
İletim hattının gerilim profili, hattın uzunluğu boyunca ölçülen mesafenin bir fonksiyonu olarak çizilen gerilimin büyüklüğü demektir. İletim hatları, gerilime karşı mesafenin düzgün bir eğrisi olarak temsil edilen bir gerilim profili sergiler. Bu eğrinin gerçek şekli hat yüklemesine bağlıdır. Seri kapasitörlü hatlar, mesafenin düzgün bir fonksiyonu olan bir gerilim profiline sahiptir. Kapasite gerilimi, o noktada hatta akan akıma bağlıdır. Uzun bir iletim hattı için akım, mesafenin sürekli bir fonksiyonudur, ancak hattın uzunluğu boyunca değişir. Bu nedenle, birden fazla seri kapasitöre sahip böyle uzun bir hatta, iki seri kapasitör arasındaki gerilim değişimi mutlaka aynı değildir [4].

Şekil 16, 500 kilometrelik, 500 kilovoltluk bir iletim hattının gerilim profilini göstermektedir. Hat, dalgalanma empedansı yüklemesinin iki katına yüklenir, bu da yukarı doğru içbükey bir gerilim profiline yol açar. Hafif yüklü hatların aşağı doğru içbükey gerilim profilleri vardır ve tam olarak aşırı yük empedansı yüklemesi için yüklenen hatların doğrusal gerilim profilleri vardır. Şekil 12'de gösterilen hat, hattı eşit uzunlukta üç parçaya bölen mesafelere yerleştirilmiş iki seri kapasitöre sahiptir. Akım hat boyunca değiştiğinden, iki seri kapasitör üzerindeki gerilimlerin eşit olmadığı gözükmemektedir. Ayrıca, daha büyük seri kapasitörlerin, yüksek yük seviyelerinde yüksek akımlar nedeniyle oldukça yüksek bir kapasite gerilimine sahip olabileceği de bilinmelidir. Eğer iletim hattında bir kısa devre arızası meydana gelirse, akımlar çok daha büyük olur ve seri kapasitörlerdeki gerilim aşırı derecede büyüyebilir. Bu koşullar altında, kapasitör bankasını kalıcı hasarlardan korumak için seri kapasitörler bir şekilde baypas edilir [4].



Şekil 16. 500 kilometre uzunluğunda hattın gerilim profili

Şekil 17'de görülen R , X_L ve X_C 'nin sırasıyla hat direnci, hat reaktansı ve seri kapasitörün reaktansı olduğu tipik bir seri kompanzasyonlu radyal şebekeyi temsil eden devreyi ele alalım. Fazör diyagramından elde edilen kaynaktan yüke faz başına yaklaşık gerilim düşümü 1 numaralı eşitlikte verilmiştir [16].



Şekil 17. Seri kapasitörlü hattı temsil eden elektrik devresi

$$\Delta V = R \cdot I_L \cdot \cos(\phi_R) + (X_L - X_C) \cdot I_L \cdot \sin(\phi_R) \quad (1)$$

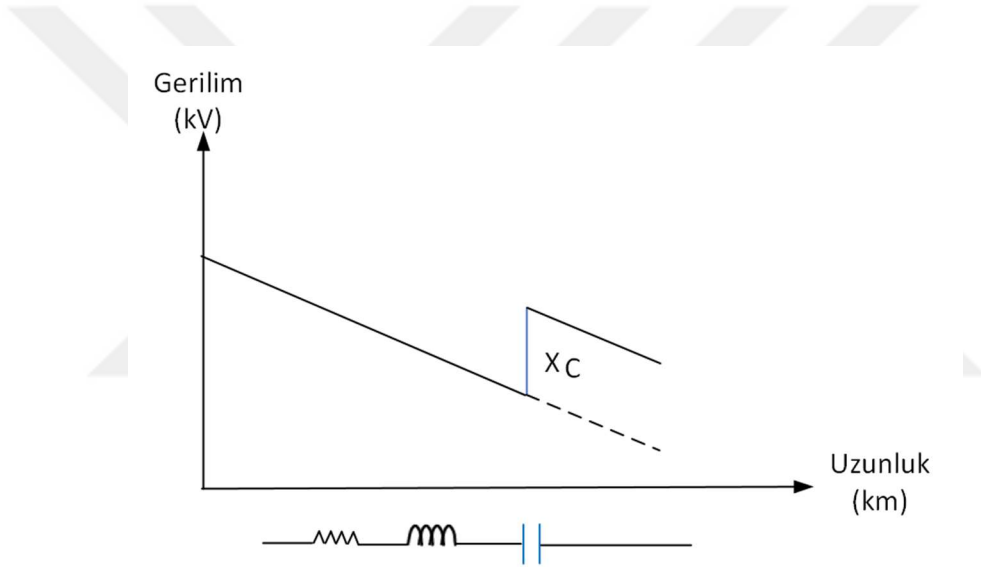
$$P_R = E_R \cdot I_L \cdot \cos(\phi_R) \quad (2)$$

$$Q_R = E_R \cdot I_L \cdot \sin(\phi_R) \quad (3)$$

Gerilim düşümünü aktif ve reaktif güçler cinsinde ifade edecek olursak:

$$\Delta V = \frac{P_R \cdot R + Q_R \cdot (X_L - X_C)}{E_R} \quad (4)$$

4 numaralı eşitliği elde etmiş oluruz. Denklem 4, seri kapasitör tarafından sağlanan gerilim regülasyonunun sürekli ve anlık olduğunu göstermektedir. Yükte meydana gelen büyük değişiklikler nedeniyle gerilim dalgalanmaları olması durumunda, bir seri kapasitör, kendisinden sonraki yüklerde gerilim kalitesini iyileştirecektir. Şekil 18, endüktif yüklere sahip bir radyal şebeke için seri kapasitörün gerilim profili üzerindeki etkisini göstermektedir [16].



Şekil 18. Endüktif özellikte seri kapasitörlü bir hattın gerilim profili

1.3.2.2. Seri Kapasitörlü Hatlarda Kararlılık

Genel anlamda kararlılık bozucu bir etkiye maruz kalan bir güç sisteminin söz konusu bozucu etki ortadan kalktıktan sonra tekrar nominal çalışma koşullarına geri dönebilme yeteneğidir [17]. Genellikle güç sistemlerinde iki tür kararlılıktan bahsedilir. Bunlar sürekli ve geçici hal kararlılıklarıdır.

Sürekli hal kararlılığı, bir güç iletim şebekesinin nominal işletme şartlarında olması durumudur. Daha kapsamlı bir şekilde ifade edecek olursak generatörlerin, iletim hatlarının ve transformatörlerin nominal işletme koşullarında olduğu, tüm tüketicilerin taleplerinin karşılandığı, oluşabilecek herhangi bir kısa devre neticesinde bir hattın açması durumunda,

bir bara boşalması halinde, çok sayıda üretim merkezinin devre dışı kalması durumunda güç sisteminin frekans ve gerilim kontrolünün sağlanması ile bir noktada denge sağlayıp çalışmasını devam ettirmesidir [18].

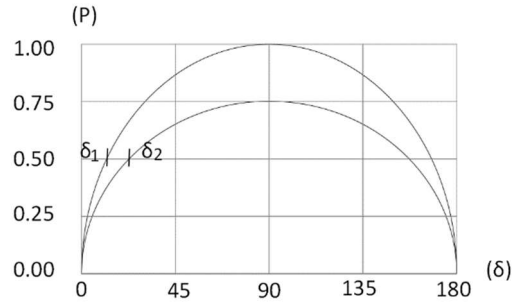
Geçici hal kararlılığı için ise güç sisteminde meydana gelebilecek bir kısa devre, üretim merkezlerinden veya büyük güçlü tüketicilerin güç sisteminden kopması ya da ayrılması gibi durumlara karşı sistemin senkronizasyon halinde kalabilme yeteneğidir diyebiliriz [19].

Bir güç sisteminde kararlılığı bozan etkenleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Üretim ve tüketim arasındaki dengesizlik
- Üretimin talep ve kayıp toplamını karşılamaması
- Bara gerilim büyüklüklerinin nominal değerlerden uzaklaşması
- Generatörlerin belirtilmiş aktif ve reaktif güç sınırlarının dışında işletilmesi
- İletim hatları ve transformatörlerin aşırı yüklenmesi

Bir güç sisteminde senkron generatörlerin reaktansları ve hızlanma sabitleri, iletim hatlarının endüktif reaktanslarının geçici kararlılık üzerinde etkileri vardır [19]. İletim hatlarının reaktansları açısından geçici kararlılığını ele alacak olursak iletim hatlarına seri kompanzasyon yapılması ile geçici kararlılığa katkıda bulunulacağını söyleyebiliriz. Nitekim kapasite elemanı üzerindeki gerilim akımdan 90 derece geri fazdadır. Böyle bir eleman ile üzerindeki gerilimi akımdan 90 derece ileri fazda olan bir endüktif reaktans seri bağlanırsa toplam empedans düşecektir. Bu durumu bir iletim hattı üzerinde düşünecek olursak iletim hattına seri kapasitör konması ile hattın toplam endüktif reaktansı azalacaktır. Toplam hat empedansının azalması geçici kararlılığı olumlu yönde etkilemektedir.

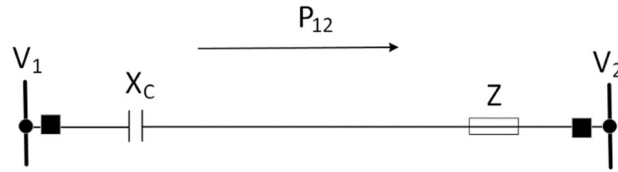
Geçici hal kararlılığında yük açısı dirac büyük öneme sahiptir [20]. Kararlılığın sağlanması için güç sistemi küçük yük açısı ile çalışır. Şekil 19'da iki nokta arasında aktarılan aktif güç- açı grafiği verilmiştir. Burada 1 numaralı eğri ve dirac1 sırasıyla iletim hattına seri kompanzasyon yapıldığı durumdaki aktarılan güç eğrisi ve yük açısı dirac2 ise kompanzasyonun olmadığı durumda aktarılan güç eğrisi ve yük açısıdır. Grafikten de anlaşılacağı üzere aynı miktarda güç iletimi için iletim hattında seri kapasitör varken oluşan güç açısı daha küçüktür [21].



Şekil 19. Aktarılan gücün sabit olması durumunda güç açıları

1.3.2.3. Seri Kapasitörlü Hatların İletim Kapasitesi

Enerji iletim hatlarında aktarılan aktif güç miktarının artırılması amacıyla seri kapasitörler yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 20’de iki baralı örnek bir iletim hattı verilmiştir.



Şekil 20. İki baralı seri kapasitörlü iletim hattı

Verilen iletim hattında bara 1’den bara 2’ye akan akım için ohm kanunu eşitliğini düzenlersek 5 numaralı eşitlik elde edilir.

$$I_{12} = \frac{|V_1| \angle \delta_1 - |V_2| \angle \delta_2}{|Z| \angle \gamma} \quad (5)$$

Bir numaralı baradan iki numaralı baraya aktarılan kompleks güç 6 numaralı eşitlikte verilmiştir:

$$S_{12} = V_1 * I_{12}^* \quad (6)$$

5 numaralı eşitliği 6 numaralı eşitlikte yerine koyup denklemini düzenlersek:

$$\begin{aligned}
S_{12} &= |V_1| \angle \delta_1 \cdot \left[\frac{|V_1|}{|Z|} \angle (\gamma - \delta_1) - \frac{|V_2|}{|Z|} \angle (\gamma - \delta_2) \right] \\
&= \frac{|V_1|^2}{|Z|} \angle \gamma - \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{|Z|} \angle (\gamma + \delta_1 - \delta_2)
\end{aligned} \tag{7}$$

elde ederiz. Elde edilen kompleks güç eşitliğinden aktif güç bileşenini çekersek denklem 8'i elde ederiz.

$$P_{12} = \frac{|V_1|^2}{|Z|} \cos \gamma - \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{|Z|} \cos(\gamma + \delta_1 - \delta_2) \tag{8}$$

İletim hatlarının reaktansı direncine göre çok büyük olduğu için direnç ihmal edilir. O halde hattın empedansı endüktif reaktanstan ibaret olup açısı 90 derece olur. Bu bilgiyi göz önünde bulundurarak kompleks güç formülünden aktif gücü çekecek olursak 9 numaralı denklemde verilen iki bara arasında aktarılan aktif güç eşitliğini elde ederiz.

$$P_{12} = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_L} \sin(\delta_1 - \delta_2) \tag{9}$$

9 numaralı eşitlikte yer alan büyüklükler şu şekildedir:

V_1 : Birinci baranın gerilimi

V_2 : İkinci baranın gerilimi

P_{12} : Bara 1'den bara 2'ye aktarılan aktif güç

X_L : İletim hattının endüktif reaktansı

δ_1 : Bara 1'in geriliminin açısı

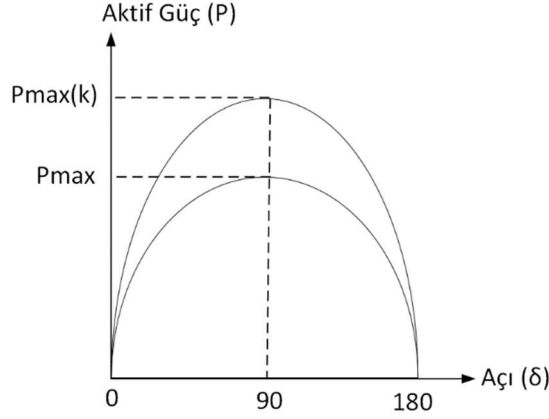
δ_2 : Bara 2'nin geriliminin açısı

9 numaralı eşitlikte gösterildiği gibi güç aktarımının yapıldığı bir iletim sistemine seri kapasitör eklendiğinde aktarılan aktif güç denklemi şu şekilde değişecektir:

$$P_{12} = \frac{|V_1| \cdot |V_2|}{X_L - X_C} \sin(\delta_1 - \delta_2) \tag{10}$$

Formülden anlaşılacağı üzere eğer yük açısı sabitse seri kapasitörün kapasitif reaktansının artması durumunda iki bara arasında aktarılan aktif güç miktarı artacaktır.

Şekil 21’de iletim hattında seri kompanzasyonun olması ve olmaması durumunda aktarılan aktif gücün yük açısına göre grafiği verilmiştir.



Şekil 21. Güç açısının sabit olması durumunda aktarılan güçler

Grafikten anlaşılacağı üzere yük açısının aynı olması koşulu ile seri kapasitörlü iletim hattında aktarılan güç miktarı daha fazladır.

1.3.3. Seri Kapasitörlerin Olumlu Etkileri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Literatürde birçok çalışmada seri kapasitörün iletim hatlarında iletim kapasitesini arttırdığı, kararlılığa katkıda bulunduğu ve gerilim profilini düzenlediği tespit edilmiştir.

Kumar vd. [22] uzun mesafe iletim hatlarında sistem kararlılığını iyileştirme açısından seri kapasitör kullanımının etkilerini analiz etmişlerdir. Çalışmada, kompanzasyon verimliliği açısından kompanzasyon derecesi, hat uzunluğu ve kapasitör konumu gibi çeşitli faktörlerin etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda hat üzerindeki kompanzasyonun verimliliği arttırdığında güç sisteminin daha kararlı hale geleceği ortaya konmuştur.

Matele [23] çalışmasında, Güney Amerika ve Kuzey Avrupa ülkelerindeki uzun mesafede AC güç iletim sistemlerinde seri kompanzasyon ve tristör kontrollü seri kompanzasyon kavramlarına değinmiş ve söz konusu teknolojinin mevcut uygulamalarını ele almıştır. Çalışma sonucunda elde ettiği verilere göre seri kapasitör bulunan uzun iletim hatlarında iletim kapasitesinin arttığı ve güç sisteminin sürekli hal ve dinamik kararlılığının

olumlu yönde etkilendiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte TCSC ile seri kapasitörlü kompanzasyonun, birbirlerine zayıf bir şekilde bağlı olan santraller arasında aktif güç salınımlarını sönmleme konusunda da faydalı olduğu görülmüştür.

Öztürk [19] çalışmasında, seri kompanzasyonun geçici hal kararlılığına etkilerini incelemiştir. Çalışmada arıza durumunda kompanzasyonlu ve kompanzasyonsuz sistemin davranışı ayrı ayrı ele alınmış, kompanzasyon yapılan durumda taşıma kapasitesi, gerilim kararlılığı ve açılabilirlik gibi değerlerin arttığı gözlemlenmiştir.

Joshi ve Kothari [7] iletim hatlarında seri kapasitör kullanılmasının iletim hatlarının performansı üzerine etkilerini incelemiştir. Çalışmalarını radyal bir şebeke üzerinde kapasitörlü ve kapasitörsüz olarak yapmışlardır. Hatlarda seri kapasitör kullanılması durumunda hattın iletim kapasitesinin arttığını, kararlılığa olumlu yönde katkıda bulunduğunu, daha iyi bir gerilim regülasyonu ve paralel hatlar arasında yük paylaşımı üzerinde daha iyi bir kontrol sağladığını ortaya koymuşlardır.

Miller vd. [15] seri kapasitörün gerilim profili, aktif güç iletim kapasitesi ve sistem kararlılığı üzerine kapsamlı bir çalışma yürütmüşlerdir.

Sheth vd. [24] tristör kontrollü seri kapasitörün hat üzerindeki konumunun gerilim kararlılığı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. TCSC'nin konumuna bağlı olarak güç sisteminin gerilim kararlılığını iyileştirmek için parçacık sürü optimizasyonu (PSO) optimizasyon tekniğini kullanmışlardır. Sonuç olarak sistemin gerilim kararlılığının iyileştirildiğini gözlemlemişlerdir.

Biabani vd. [25] statik seri senkron kapasitörlü (SSSC) bir iletim hattını ele almışlardır. Çalışmaları sonucunda SSSC'nin güç sistemi üzerinde belirli bir noktada güç akış kontrolü yapabildiğini ve güç iletim hatlarında güç salınımlarını sönmlemek için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Elagab ve Elamin [26] seri kompanzasyonun uzun iletim hatlarında gerilim profili üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmaları sonunda seri kompanzasyon yapılmış iletim hattının yüklenme durumu ve gerilim kontrol ayarına bağlı olarak gerilim profilinin yüksek veya düşük seyredeceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca anormal koşullarda oluşabilecek herhangi bir sorunu önlemek için hattın kompanzasyon miktarının başlangıçta belirlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Aslam vd. [27] statik seri senkron kapasitör (SSSC) ve tristör kontrollü seri kapasitörün (TCSC) geçici bir arıza sonrasında sistem kararlılığı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bunun için şebekede tek faz toprak ve üç faz arıza simülasyonları

yapmışlardır. Simülasyon sonucunda, güç sisteminin geçici kararlılığının SSSC ve TCSC'den büyük ölçüde olumlu yönde etkilendiğini gözlemlemişlerdir.

(Barua ve Quamruzzaman [28] Bangladeş güç sisteminde sürekli durum, dinamik durum ve geçici durum kararlılığını geliştirmek için tristör kontrollü seri kapasitör, statik var kompensatör ve statik senkron kompensatör uygulamaları arasında karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır. Tristör kontrollü seri kapasitörün statik var kompensatör ile bileşik kullanımı durumunda iletim kapasitesini %57,45'e statik senkron kompensatör ile bileşik kullanımı durumunda ise %65,69'a kadar yükselttiğini gözlemlemişlerdir.

Ananda ve Shivakumar [29] iletim hattına seri kapasitör ekleyerek hatların yüklenme kabiliyetini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, şebekeye bir seri kapasitörün eklenmesinin, termal limitler göz önüne alındığında, incelenen hattın güç akışını önemli ölçüde artıracakını ortaya koymuşlardır.

1.3.4. Seri Kapasitörün Şebeke Üzerindeki Olumsuz Etkileri

Enerji iletim hatlarında seri kapasitör kullanımı güç sistemi üzerindeki birçok faydasından dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çok sayıda olumlu etkilerinin yanı sıra seri kapasitörün varlığı birtakım problemleri de beraberinde getirmektedir.

Seri kapasitörler hattın orta kısmına veya uç kısımlarına tesis edilebilmektedir. Eğer kapasitörler hat başına kurulursa bu durum koruyucu sistem üzerinde birtakım karmaşıklara sebep olabilmektedir. Aynı şekilde kapasitör bankalarının hattın orta noktasına kurulması ayrı bir trafo merkezinin tesis edilmesini gerektireceği için bu seçenekte de yine koruma sistemi ve röle koordinasyonu üzerinde birtakım zorluklar yaşanabilmektedir. Özetle bir iletim hattına seri kapasitör eklenmesi, hattın hem kendisinin röle koruması hem de bitişik ve paralel hatların röle koruması açısından zorluklar getirmektedir [15].

Seri kapasitörün koruyucu röle ekipmanları üzerindeki etkilerini ele almadan önce kapasitör koruyucu düzeneği hakkında bilgi vermek faydalı olacaktır. Seri kapasitörler kendilerine paralel bağlı bir metal oksit varistör (MOV) vasıtası ile korunmaktadır. MOV kapasitör uçları arasındaki gerilimi sınırlandırır. Geçici koşullar için, MOV, kondansatör üzerinde periyodik aşırı gerilimleri sınırlamak için gerekli olan enerjiyi absorbe eder. MOV iletime geçtiğinde, doğrusal olmayan direnç özelliklerine sahip olduğundan kendisine paralel elemanların görünür seri empedansı doğrusal olmayan bir şekilde değişir. MOV'un

koruyucu gerilim seviyesi, normal koşullara, sistem güç salınımı koşullarına ve beklenen aşırı yük koşullarına göre seçilir [30].

MOV, aynı zamanda, nominal enerji kaybı seviyesine göre tetiklenen bir baypas anahtarı ile de korunmaktadır. Anahtar çalıştığında hem MOV hem de seri kapasitör, enerji seviyesi istenen ayarın altına düşene kadar baypas edilir. Seri kapasitör üzerinden yüksek akımların akmasına neden olan çoğu arıza için MOV tabanlı koruma, seri kapasitörü baypas eder ve mesafe röleleri yalnızca iletim hattının empedansını görür. Fakat yüksek empedanslı faz-toprak arızaları için arıza akımı, baypas anahtarını tetiklemek için yeterli olmayabilir ve kapasitörün reaktansı, mesafe röleleri tarafından görülen görünür empedansı etkileyecektir. Tek faz toprak arızaları için, yalnızca arızalı fazdaki MOV koruması çalışabilirken arızasız fazlardaki kapasitörler baypas edilmemiş olacaktır. Sonuç olarak, MOV koruması, mesafe röleleri tarafından görülen görünür empedansı büyük ölçüde etkileyebilir ve bu, röle koruma sistemi tasarımında dikkatlice düşünülmelidir. Yüksek empedanslı arızalar ve minimum üretim koşullarındaki arızalar, röle sistemi tasarımı ve değerlendirmesinin bir parçası olarak değerlendirilmelidir [31].

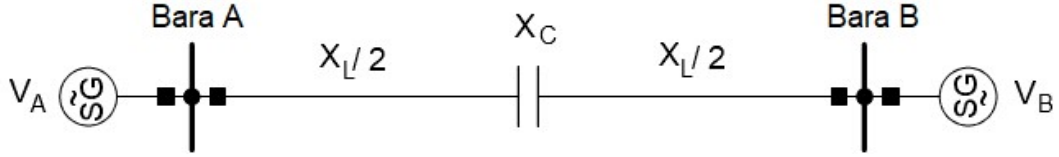
Seri kompanzasyonlu yüksek gerilim iletim hatlarında koruma yaparken mesafe rölesinin karşılaştığı çeşitli problemler arasında arıza tespiti, arızalı hat belirleme, arıza sınıflandırması ve arıza yeri tahmini bulunur [32]. Bu problemler kapasite ve kapasitenin zati korumasının varlığından dolayı arızanın türüne ve hat üzerinde meydana geldiği yere bağlı olarak aşağıda gerçekleşen olaylar neticesinde ortaya çıkmaktadır.

- Kademe genişlemesi
- Gerilimin yön değiştirmesi
- Akımın yön değiştirmesi

1.3.4.1. Kademe Genişlemesi

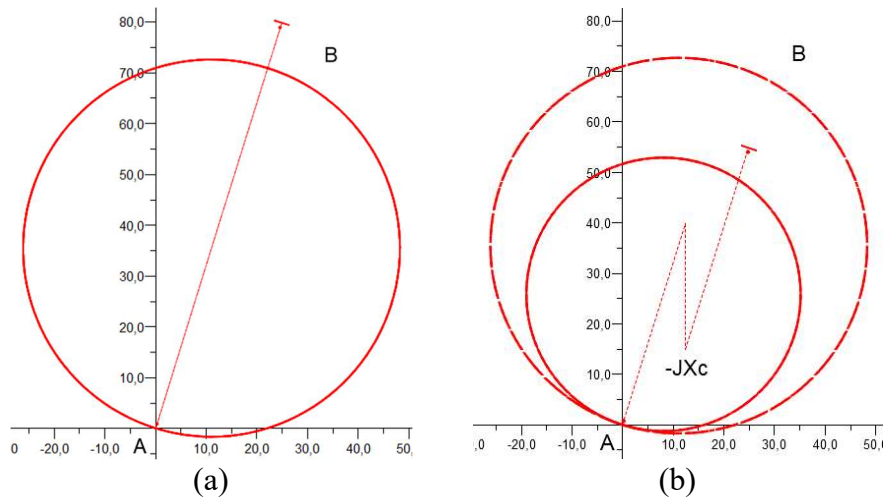
Mesafe rölesi, gerilim ve akım ölçümlerinden bir empedans değeri elde eder ve bu değeri kullanarak çalışan bir koruyucu ekipmandır. Seri kompanzasyon, mesafe rölelerinin tahmin ettiği empedansta hatalara neden olur. Çünkü seri kapasitör, rölenin ölçtüğü hat empedansını değiştirir. Ayrıca, alt harmonik frekans salınımları, empedans tahmininin salınmasına neden olur. Burada temel sorun, empedans tahmininin kapasitör korumasının

durumuna bağlı olmalıdır. Şekil 22’de hattın orta noktasına seri kapasitör tesis edilmiş bir iletim hattı görülmektedir [31].



Şekil 22. Hattın orta noktasında seri kapasitör bulunan güç iletim sistemi

Şekil 23’te hat ortasında seri kapasitör bulunan iletim hattında kapasitörün devrede olması ve olmaması durumlarında hattın mesafe rölesi karakteristikleri görülmektedir. Kapasitör devrede değilken röle, olası bir hat sonu arızası için hat empedansını doğru bir şekilde ölçer. Şekil 23(a), kapasitör devre dışı olduğunda hattın yüzde 90’ını kapsayacak şekilde ayarlanmış bir empedans rölesinin zone 1 karakteristiğidir. Böyle bir karakteristiğe sahip empedans rölesi kapasitenin devrede olması durumunda kademe genişlemesi problemi ile karşılaşır. Geleneksel çözüm, kondansatör kullanılmadıkça empedans rölesini hattın yüzde 90’ını kapsayacak şekilde ayarlamaktır. Şekil 23(b)’de görülen içi dolu daire kapasitör devrede iken, kesikli daire ise kapasitör devrede değil iken hattın %90’ını kapsayan zone 1 karakteristiğidir.

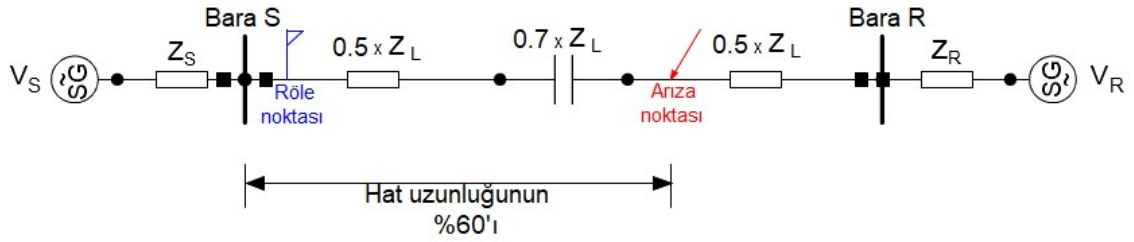


Şekil 23. Seri kapasitörlü hatta bulunan mesafe rölesi karakteristiği

Seri kapasitörlerin mesafe koruma elemanları üzerindeki etkisi orta hat kapasitörler ile kıyaslandığında hat uçlarında bulunan kapasitörler için daha kritiktir. Hat sonu kapasitörleri yalnızca mesafe tahminini etkilemez. Ayrıca gerilimin yön değiştirmesi nedeniyle yön ayırımını da etkilerler. Orta hat kapasitörleri, seri kompanzasyon seviyesi çok yüksek olmadıkça yön ayırımını etkilemez [31].

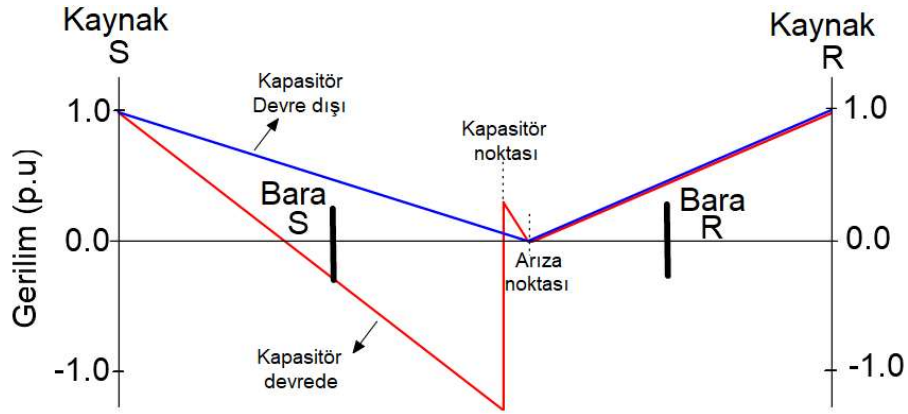
1.3.4.2. Gerilimin Yön Değiştirmesi

Seri kapasitörlü bir iletim hattında meydana gelen bir arıza için, eğer arıza noktası ile röle noktası arasındaki empedans kapasitif, ancak kaynak ile arıza noktası arasındaki genel empedans endüktif ise, gerilimin yön değiştirmesi problemi ortaya çıkacaktır. Gerilim trafosunun konumuna bağlı olarak, koruyucu röle ortaya çıkan gerilim inversiyonunu ölçebilir. Söz konusu gerilim inversiyonunun neden oluştuğunu anlamak için Şekil 24'ü ele alalım [33].



Şekil 24. Orta noktasında seri kapasitör bulunan iki baralı iletim sistemi

Şekil 24'te arızanın meydana geldiği nokta ile röle noktası arasındaki empedansın kapasitif, Vs kaynağı ile arıza noktası arasındaki empedansın endüktif olduğu bir iletim hattı verilmiştir. Seri kapasitör devrede iken iletim hattının S barası tarafından %60'ında bir arıza meydana geldiğinde Vs kaynağı ile arıza noktası arasındaki empedans endüktif olduğu için Vs tarafından sağlanan arıza akımı endüktif olacaktır. Homojen bir güç sistemi olduğunu varsayarsak arıza akımı kaynak geriliminin hat açısı kadar gerisinde olacaktır. Güç sisteminin her bir bileşenindeki gerilim düşümünü hesaplırsak şekil 25'teki gerilim profilini elde ederiz.



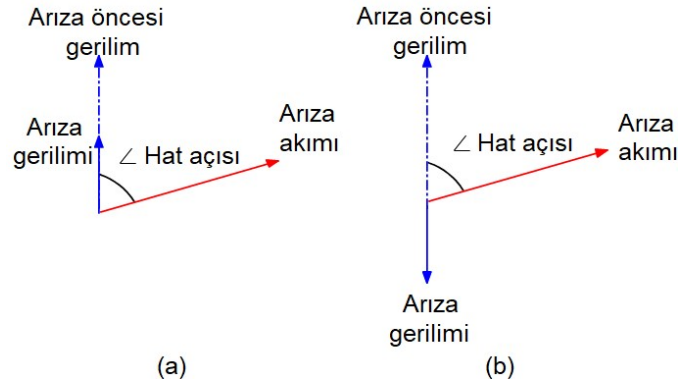
Şekil 25. Şekil 24'te görülen iletim hattının gerilim profili

Burada kaynaktan arızaya doğru ilerlerken $X_L > X_C$ olduğu müddetçe empedans endüktif olur. Empedans endüktif olduğu için arıza akımı ile empedansın çarpımı sonucu oluşan gerilim pozitif işaretli olur. Bu durumda elde edilen gerilim pozitif kaynak gerilimi ile ters yönde olur ve kaynaktan X_L 'nin X_C 'ye eşit olduğu noktaya gidene kadar hat gerilimi, kaynak noktasının pozitif geriliminden başlayarak sifıra kadar azalır. $X_L = X_C$ olduğunda empedans sıfır olacağı için gerilim sıfır olur.

X_L 'nin X_C 'ye eşit olduğu noktadan kapasitör noktasına kadar giden hat parçasında $X_L < X_C$ olması nedeni ile empedans kapasitif olur. Empedans kapasitif olduğunda arıza akımı ile kapasitif empedansın çarpımı sonucu oluşan gerilim negatif işaretli olur. X_L 'nin X_C 'ye eşit olduğu hat kesitinden (ki bu röle noktasına denk gelebilir) kapasitenin bağlı olduğu noktaya kadar olan hat parçasının gerilimi, sıfırdan başlayarak negatif yönde artar. Bu negatif artış, kaynak gerilimi ile seri kapasitenin gerilim genliklerinin toplamı kadar olur. Kapasitenin bağlı olduğu noktadan arıza noktasına kadar hat empedansı tekrar endüktif olacağı için bu noktadan itibaren gerilim yön değiştirir ve kapasite noktasının geriliminden başlayarak arıza noktasının gerilimi olan sifıra kadar azalır.

Özetle hat boyunca arıza noktasına doğru ilerlerken empedansı endüktif olan hat kesitlerinde gerilim genliği azalacak, kapasitif olan hat kesitlerinde gerilim genliği artacaktır. Kapasitenin bağlı olduğu noktadan itibaren gerilim yön değiştirerek artış veya azalışını sürdürecektir [33].

Şekil 26 (a) ve (b)'de kapasitör devre dışı ve devrede iken gerilimin akım ile ilişkisini veren fazörler gözükmemektedir.

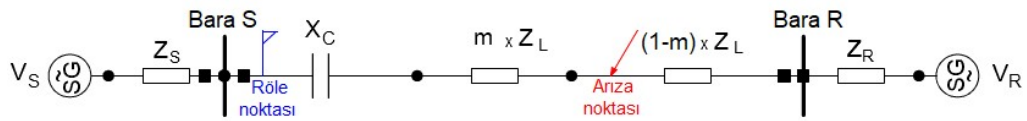


Şekil 26. Şekil 24’te görülen iletim hattında seri kapasitör devredeyken (a) ve seri kapasitör devre dışıyken (b) Arızalı fazın gerilimi ve akımı arasındaki fazör ilişkisi

1.3.4.3. Akımın Yön Değiştirmesi

Seri kapasitörlü bir güç sisteminde meydana gelen kısa devre arızası için, güç sistemi kaynağı ile arıza noktası arasındaki empedansın kapasitif olma olasılığı vardır. Böyle bir durum söz konusu olursa, endüktif olması gereken arıza akımı kapasitif olacaktır. Bu olay akımın yön değiştirmesi olarak bilinir. Akımın yön değiştirmesi, yalnızca arıza durumu sırasında akımı etkilemekle kalmaz, aynı zamanda güç sistemindeki gerilim profilini de etkiler [33].

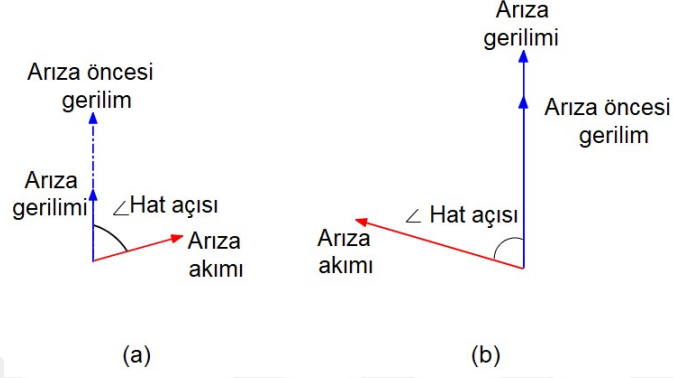
Bu olayı daha iyi anlamak için, yine basit bir güç sistemini ele alalım. Şekil 27’de, akımın yön değiştirme olayının meydana gelebileceği bir güç sistemi verilmiştir.



Şekil 27. Hat başında seri kapasitör bulunan iki baralı iletim sistemi

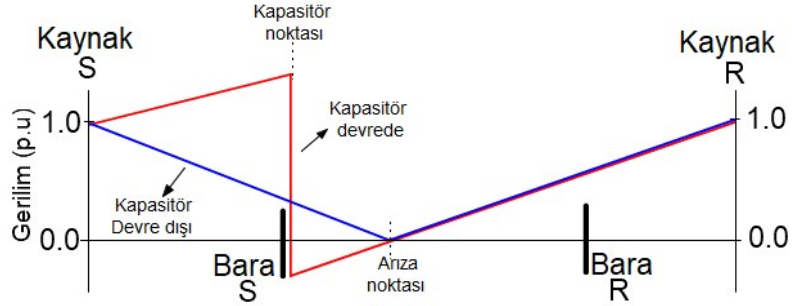
Şekil 27’de verilen iletim hattına dair empedans değerleri $X_C > Z_S + m \cdot Z_L$ eşitsizliğini sağlamaktadır. Bu, kaynak ile arıza noktası arasındaki empedansın kapasitif olduğu, başka bir deyişle arıza akımının geri fazda olduğu anlamına gelir. Bu durumda şekil’27’de görülen noktada bir kısa devre arızası meydana geldiğinde akım arıza noktasına doğru akması gerekirken S barasına doğru akar. R barası ile arıza noktası arasındaki empedans ise endüktif

olduğu için arıza akımı ileri fazda olur ve arıza noktasına doğru akması gereken akım R barasına doğru akar. Şekil 28’de kapasitör devrede ve devre dışı iken S barası noktasındaki akım ve gerilim ilişkisini gösteren bir fazör çizimi verilmiştir.



Şekil 28. Şekil 27’de görülen iletim hattında seri kapasitör devredeyken (a) ve seri kapasitör devre dışıyken (b) Arızalı fazın gerilimi ve akımı arasındaki fazör ilişkisi

Akımın yön değiştirmesi sırasında, şekil 27’de verilen güç sistemine ait gerilim profili de şekil 29’da gösterilmiştir.



Şekil 29. Şekil 27’de görülen iletim hattının gerilim profili

Hat empedansı kapasitif olduğu için kaynaktan kapasitör noktasına kadar olan hat gerilimi negatif genlikli olur. Bu durumda elde edilen gerilim pozitif kaynak gerilimi ile aynı yönde olduğu için kaynaktan kapasitenin bulunduğu noktaya kadar hat gerilimi artar. Kapasitörün bağlı bulunduğu noktada gerilim yön değiştirir ve bu noktadan arızaya kadar olan hat parçası için ölçülen empedans endüktif olur. Empedansın endüktif olması hattın bu kısmı için oluşan gerilimi pozitif işaretli yapar. Elde edilen pozitif gerilim, kapasitörün bulunduğu noktanın negatif gerilimi ile aynı yönde olur ve bu noktadan arıza noktasına

gidene kadar olan hat gerilimi, kapasitör noktasının negatif geriliminden başlayarak sıfıra kadar genlik olarak azalır.

1.3.5. Seri Kapasitörlerin Olumsuz Etkileri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Çeşitli faydalarından dolayı iletim hatlarında seri kompanzasyon işleminin uygulanması koruma sistemleri üzerinde birtakım problemleri de beraberinde getirmektedir. Literatür incelendiğinde seri kapasitör kullanımı ile ortaya çıkan sorunları inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır.

Jamali vd. [34] tristör kontrollü seri kapasitörün iletim hattına tesis edildiğinde mesafe koruma rölesinin çalışmasını incelemiştir. İletim hattında TCSC bulunması durumunda kademe genişlemesi problemi nedeni ile mesafe koruma rölesinin yanlış bir operasyon yaptığını gözlemlemiştir.

Zellagui ve Chaghi [16] Cezayir iletim sisteminde bulunan seri kapasiteli 220kV iletim hattını ele almışlar ve çeşitli kısa devre arızası durumlarında seri kapasitörün mesafe koruma rölesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak kompanzasyon değeri ve kapasitör konumuna bağlı olarak mesafe koruma rölesinin düzgün çalışmadığını tespit etmişlerdir.

Magagula vd. [35] yapmış oldukları çalışmada arıza koşulları altında seri kapasiteli iletim hattındaki mesafe koruma rölesinin davranışlarını incelemiştir. Hatlardaki seri kapasiteden dolayı olağan dışı bir empedans oluştuğunu ve bunun bir sonucu olarak da rölelerin yanlış bir şekilde çalıştığını gözlemlemiştir. Ayrıca hat harmonik salınımlarının ve lineer olmayan hat empedansının, iletim hatlarının seri kompanzasyonu ile ortaya çıktığını gözlemlemiştir.

Bakie vd. [33] çalışmalarında, enerji iletim hatlarında seri kapasitör kullanılması durumunda meydana gelen akım ve gerilimin yön değiştirmesi olaylarının mesafe koruma rölelerinin üzerinde nasıl bir etkisi olacağını incelemiştir. Yeni nesil mikroişlemcili mesafe rölelerinin gerilimin yön değiştirmesi halinde hatasız çalışmasına devam ettiğini fakat akımın yön değiştirmesi durumunda rölenin hatalı çalıştığını tespit etmişlerdir.

Seri kapasitelerin bozucu etkilerinin giderilmesine dair literatürde görülen bazı çalışmalar şu şekildedir:

Çapar ve Arsoy [36] seri kapasiteli iletim hatları için empedans tabanlı bir arıza yeri algoritması geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda önerilen tekniğin, seri kapasiteli iletim

hatları için karmaşık hesaplamalar yapmadan arıza yerini doğru bir şekilde belirlediği görülmüştür.

Tonape vd. [37] iletim hattında seri kapasite olması durumunda mesafe rölelerinin yanlış açma yapmasını önlemek amacıyla bir koruma şeması önermişlerdir. Çalışmaları sonucunda geliştirilen koruma şemasının seri kapasitörün çeşitli arıza koşulları altında seri kompanzasyonlu iletim hattına güvenilir bir yedek koruma sağladığını kaydetmişlerdir.

Kumar ve Raja [38] iletim hatlarındaki seri kapasitörlerin geleneksel üç adımlı mesafe rölesinin koruma düzenleri üzerindeki etkisini değerlendirmek ve seri kompanzasyonun farklı arıza koşullarında, farklı taşıyıcı destekli kesici açtırma düzenleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda ise geleneksel röle ayarları ile karşılaştırıldığında modifiye edilmiş mesafe rölesi ayarlarının doğruluk ve güvenilirlik açısından daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Rahul vd. [39] seri kapasiteli iletim hatlarında geniş bölge yedek koruma ve arızalı hattı belirleyebilmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaları sonucunda önerilen FLI şemasının etkinliğini, normal ve kritik koşullar için test etmişler ve etkili bir şekilde çalıştığını ortaya koymuşlardır.

Ayrıca genel olarak günümüze kadar yapılan çalışmaları sınıflandıracak olursak [40], [41], [42] ve [43] arıza tespiti, [44], [45], [46] ve [47] arıza yeri belirleme, [48] ve [49] arıza tespiti ve arızalı faz belirleme, [50], [51], [52], [53], [54], [55], [56] ve [57] arıza tespiti ve sınıflandırması, [58] arıza sınıflandırma ve arıza yeri belirleme [59], [60], [61], [62], [63] ve [64] arıza tespiti, sınıflandırması ve arıza yeri belirleme, [65] arıza tespiti, sınıflandırması, arıza noktası belirleme ve arızalı faz tespiti, [66] arıza sınıflandırma ve arızalı fazı belirleme çalışmalarıdır. [67] ve [68] mesafe rölelerinin ağır çalışma koşulları ve arıza durumunu birbirinden ayırt etmesini sağlayan bir çalışma ve [69] arızalı hat tespiti yapan bir çalışmadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Giriş

Dünyada enerjiye olan ihtiyaç sürekli artan bir eğilim göstermektedir. Yeryüzündeki sınırlı sayıda enerji kaynağı kullanılarak enerji ihtiyacı karşılanmaya çalışılmaktadır. Artan talebi karşılamak için yeni üretim merkezleri kurmak ve üretilen enerjinin güvenli, güvenilir, ekonomik bir şekilde tüketicilere sunulması gerekmektedir. Fakat yeni kurulan enerji tesislerinin hali hazırda kullanılan iletim hatlarına bağlantısı ile iletim hatlarında aşırı yüklenme olmaktadır.

Aşırı yüklenme güç sistemlerinde önemli bir problemdir ve problemin çözümü, güç sisteminin sağlıklı bir şekilde işletilmesi açısından önem arz etmektedir. Aşırı yüklenme sorununu çözmek için birtakım yöntemler mevcuttur. Bunlardan en etkili ve ekonomik olanı iletim hattının aktif güç taşıma kapasitesinin artırılması amacıyla seri kapasitör kullanmaktır.

İletim hatlarında yapılan seri kompanzasyon ile hatların empedans değeri azalır ve aktif güç iletim kapasitesi artar. Ayrıca seri kapasitörler güç sisteminin geçici kararlılığına olumlu yönde etki eder, komşu hatlar arasında yük paylaşımına olanak sağlar, hattın gerilim profilini düzenlemeye yardımcı olur. Bu gibi olumlu etkilerinden dolayı enerji iletim hatlarında seri kapasitörler kullanılmaktadır. Tüm bu olumlu etkilerinin yanında seri kapasitörler, iletim hatlarında koruma görevini yerine getiren mesafe rölelerinin çalışmasını olumsuz yönde etkilemektedir.

Seri kapasitör bulunduran iletim hattında kısa devre arızası olduğunda, arızanın hat üzerinde gerçekleştiği yere bağlı olarak hattın mesafe röleleri arızayı görmeyebilir. Böyle bir durumda arızalı hattın mesafe rölesi açma yaptırmayı gerektiren herhangi bir işlem gerçekleştiremez. Arızalı hatta komşu olan hatların mesafe röleleri ise kendi koruma bölgeleri içinde yer almayan arızayı görerek açma yapabilir.

Böyle bir problemin önüne geçmek amacıyla mesafe rölelerinin çalışmasını düzenleyen, bir yönetim rölesi geliştirilmiştir. İletim hattında kısa devre olduğunda yönetim rölesi arızalı hattı belirler. Eğer arıza seri kapasitörlü bir hatta meydana gelmişse hattın mesafe rölelerine açma sinyali, başka bir hatta meydana gelmişse blokaj sinyali gönderir.

Bu çalışma dört ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde örnek bir güç sistemi üzerinde seri kapasitörün yük akışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. İletim hattında farklı kompanzasyon seviyelerine göre yapılan seri kompanzasyonun hatların aktif güç iletim kapasiteleri, hatlar arasında yük paylaşımı, baraların gerilim profili ve reaktif güç kaybı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

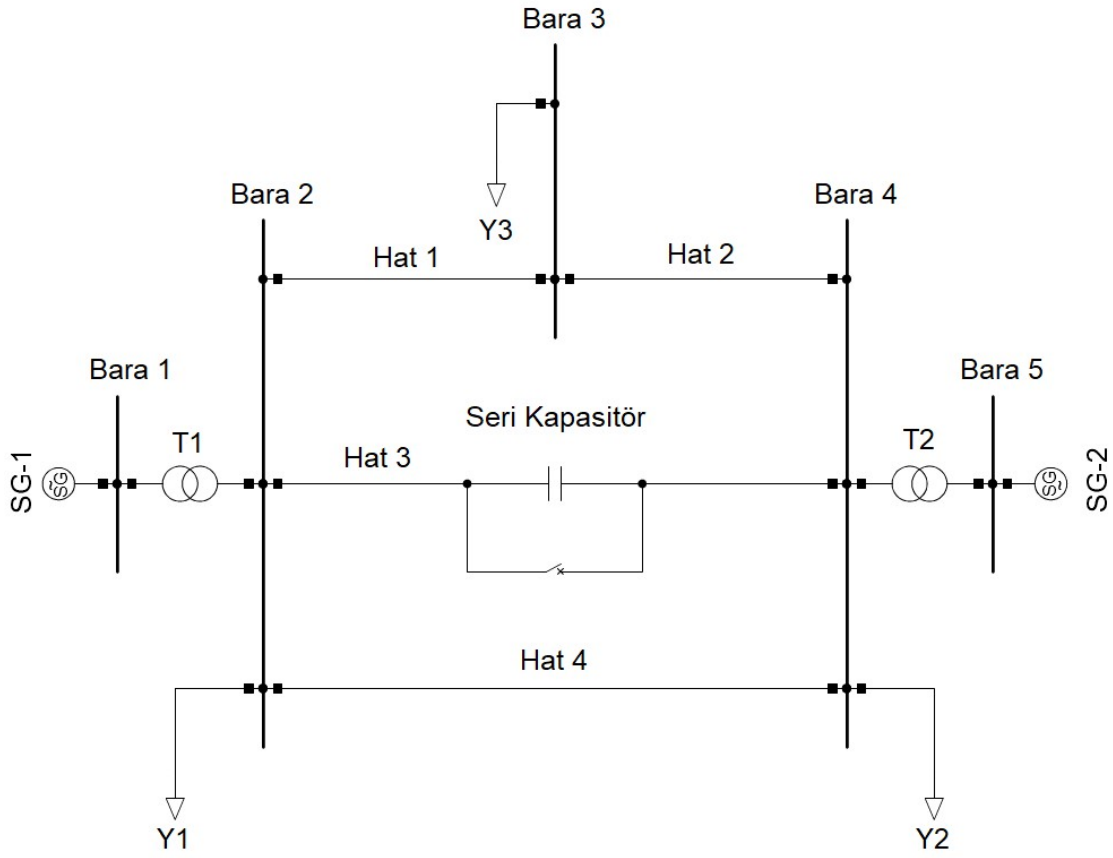
İkinci bölümde kısa devre analizleri yapmak amacıyla örnek bir güç sistemi modellenmiştir. Güç sisteminde yer alan hatların farklı noktalarında yapılan kısa devre analizleri ile seri kapasitörün devrede olması ve olmaması durumlarında mesafe rölelerinin tepkileri incelenmiştir.

Üçüncü bölümde mesafe rölelerinin operasyonlarını düzenleyen yönetim rölesinin arızalı hattı belirlemek için kullanacağı arızalı hat tespit algoritması, çalışması, tasarımı ve geliştirileceği platform açıklanmıştır.

Son olarak yönetim rölesi, Türkiye iletim şebekesinde yer alan Kayabaşı 380kV kısmi şebekesine uygulanmıştır. Geliştirilen yönetim rölesi devrede ve devrede değil iken şebeke üzerinde gerçekleştirilen arıza simülasyonları ile yönetim rölesinin etkinliği ortaya konulmuştur.

2.2.Seri Kapasitörün Yük Akışı Üzerindeki Etkisi

Bilindiği gibi çeşitli faydalarından dolayı güç iletim hatlarında seri kapasitörler kullanılmaktadır. Bu faydalardan biri de seri kapasitörün güç iletim kapasitesini arttırmasıdır. Kapasitörün negatif genliğinden dolayı hat empedansı azalacağı için hattın aktif güç aktarım kapasitesi artacaktır. Seri kapasitörlerin yük akışı üzerindeki etkisini incelemek için şekil 30'da görülen güç iletim sistemi ele alınmıştır. Örnek iletim şebekesi 4 iletim hattı, 5 bara, 2 transformatör ve 2 senkron generatörden oluşmaktadır. Generatörler 600 MVA ve 18 kV nominal güç ve gerilim değerindedir. Transformatörler 18/230kV çevirme oranı ve 600 MVA gücündedir. T1 transformatörü %6,1, T2 transformatörü %5,76 gerilim düşümü değerine sahiptir. Yük akış analizi için G1 generatörü referans seçilmiş ve gerilimi 1.05 p.u değerindedir. G2 generatörü 300 MW gücünde ve 1.04 p.u. gerilim değerinde seçilmiştir.



Şekil 30. 5 baralı iletim şebekesi

Şekil 30'da görülen güç sisteminde yer alan iletim hatlarına ait parametreler tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hatların direnç ve reaktans değerleri

Hat Parametreleri	Hat 1	Hat 2	Hat 3	Hat 4
Uzunluk (km)	30	20	50	50
Direnç (Ohm)	3,99	2,66	6,65	6,65
Reaktans (Ohm)	12,66	8,44	21,1	21,1

Şebekede yer alan yüklerle ait bilgiler ise tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Yüklere güç değerleri

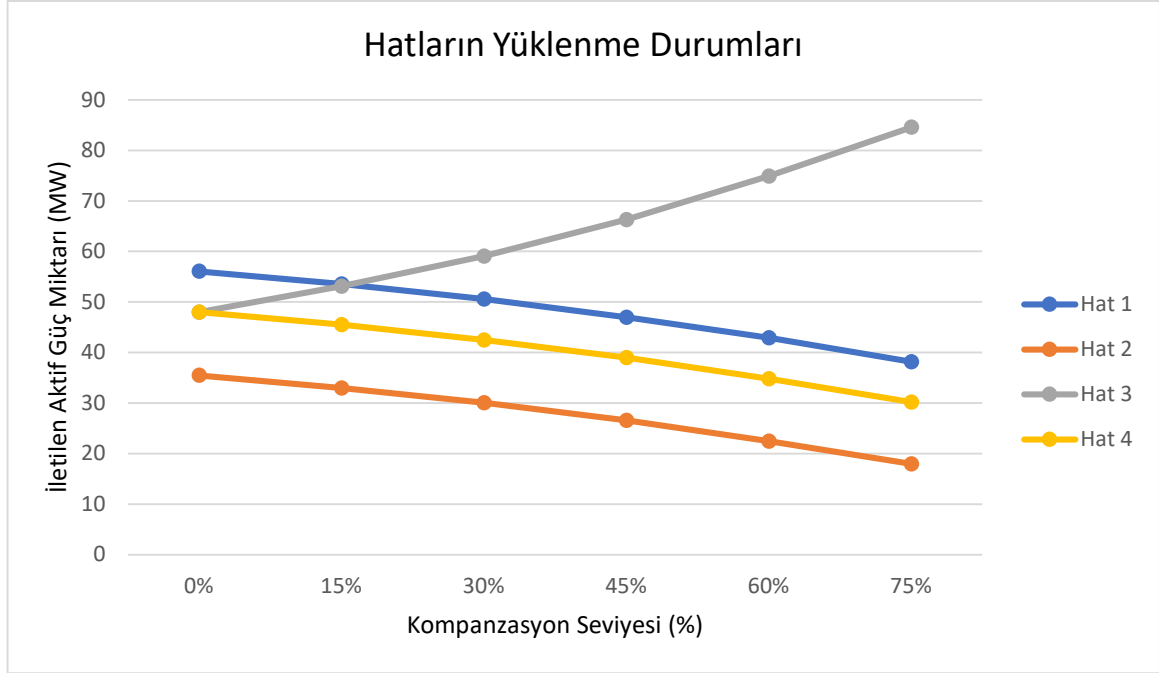
Yükler	Yük 1	Yük 2	Yük 3
Aktif Güç (MW)	60	190	20
Reaktif Güç (MVar)	10	40	5
Görünür Güç (MVA)	60,83	194,16	20,62

Seri kapasitör Hat 3 hattının orta noktasına konumlandırılmıştır ve bir kesici vasıtası ile by-pass edilebilmektedir. Çeşitli kompanzasyon seviyelerinde yapılan güç akış analizleri sonucu hatların yüklenme durumları tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Hatların yüklenme durumları

Hatlar	Şebeke Büyüklükleri	Kompanzasyon Seviyesi (%)					
		0%	15%	30%	45%	60%	75%
Hat 1	P (MW)	56,1	53,6	50,6	47	42,9	38,2
	Q (MVar)	2,6	3,4	4,6	6,3	9,1	13,6
	Yüklenme (%)	21,5	20,6	19,5	18,2	16,8	15,5
Hat 2	P (MW)	35,5	33	30,1	26,6	22,5	18
	Q (MVar)	-4,1	-3,2	-1,9	0,1	3	7,7
	Yüklenme (%)	13,9	12,9	11,7	10,3	8,8	7,6
Hat 3	P (MW)	48	53,1	59,1	66,3	74,9	84,6
	Q (MVar)	0,4	-1,4	-4,2	-8,5	-15,5	-26,9
	Yüklenme (%)	18,4	20,4	22,7	25,6	29,3	33,9
Hat 4	P (MW)	48	45,5	42,5	39	34,8	30,2
	Q (MVar)	0,4	1,1	2,3	4,1	6,9	11,4
	Yüklenme (%)	18,4	17,5	16,3	15	13,6	12,3

Tablo 3'te görülen kompanzasyon seviyelerinde hatların yüklenme durumunu gösteren grafik şekil 31'de görülmektedir.



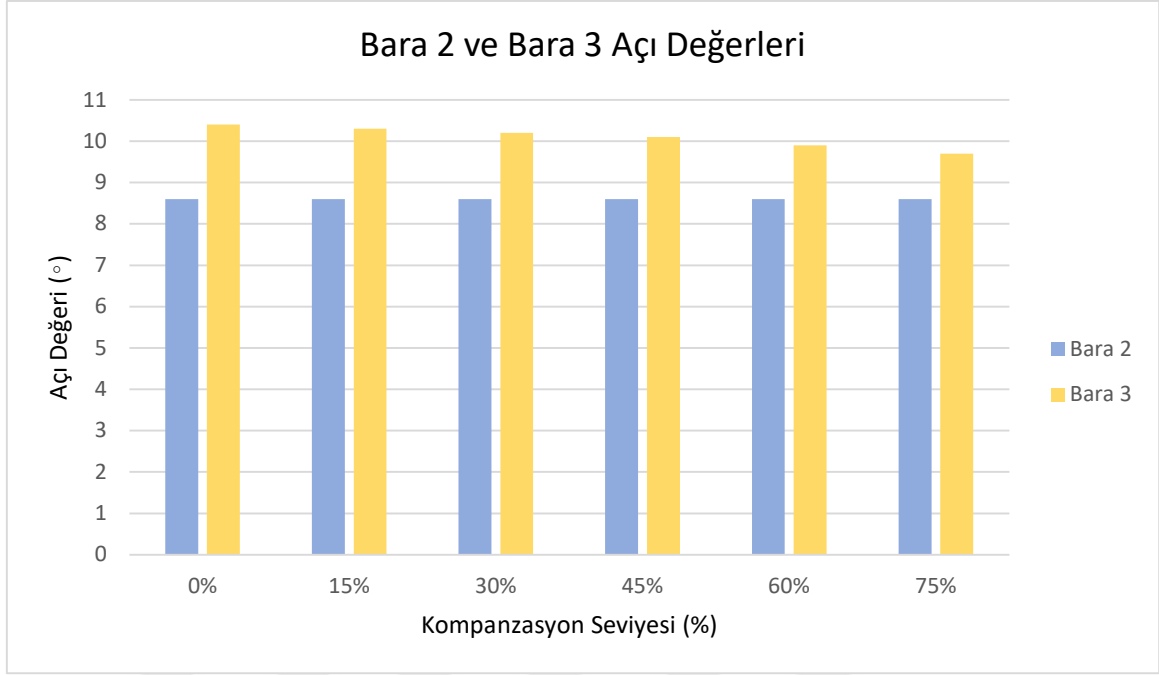
Şekil 31. Kompanzasyon seviyesine göre hatların yüklenme durumları

Şekil 31’de verilen grafiğe bakıldığında iletim hattında kompanzasyon yapılmazken birbirlerine paralel olan Hat 3 ve Hat 4 aynı seviyede güç aktarımı yaparken kompanzasyon seviyesi arttığında seri kapasitör bulunan hattın güç aktarım kapasitesi artmıştır. Bununla birlikte kapasitör bulunmayan paralel hat olan Hat 4’ün aktardığı güç miktarı azalmıştır. Baraların gerilim ve açı değerleri ise tablo 4’te görülmektedir.

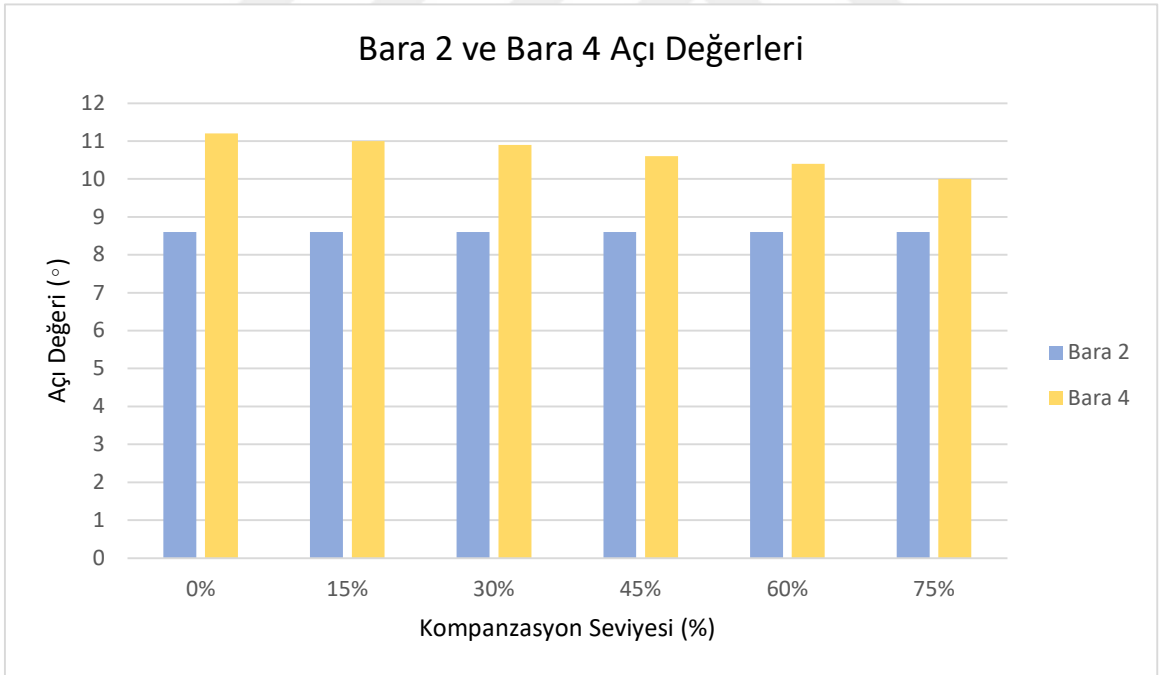
Tablo 4. Kompanzasyon seviyesine göre bara gerilim ve açı değerleri

Baralar	Şebeke Büyüklikleri	Kompanzasyon Seviyesi (%)					
		0%	15%	30%	45%	60%	75%
Bara 2	Gerilim (kV)	150,5	150,6	150,6	150,6	150,8	151,1
	Açı (°)	-8,6	-8,6	-8,6	-8,6	-8,6	-8,6
Bara 3	Gerilim (kV)	148,8	148,9	148,9	148,9	148,9	148,9
	Açı (°)	-10,4	-10,3	-10,2	-10,1	-9,9	-9,7
Bara 4	Gerilim (kV)	148,5	148,5	148,5	148,4	148,4	148,2
	Açı (°)	-11,2	-11	-10,9	-10,6	-10,4	-10

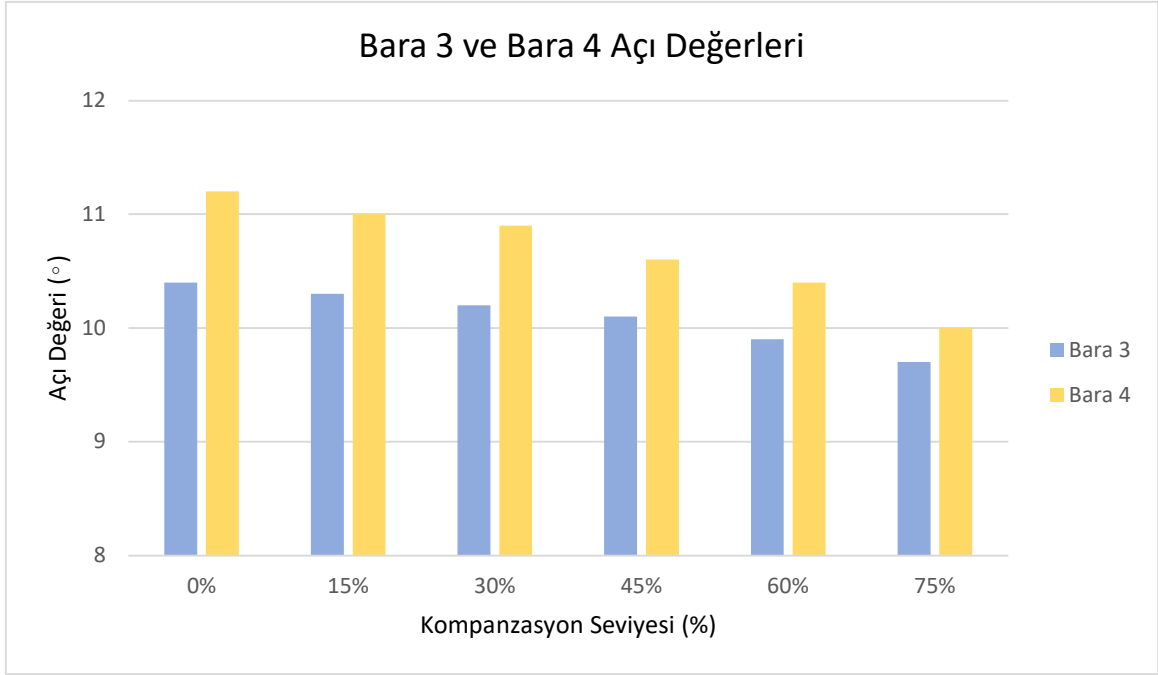
Bara gerilimlerinin açıları arasındaki değişimler şekil 32, şekil 33 ve şekil 34’te görülmektedir.



Şekil 32. Bara 2 ve Bara 3 arasındaki gerilim açısı değerleri



Şekil 33. Bara 2 ve Bara 4 arasındaki gerilim açısı değerleri



Şekil 34. Bara 3 ve Bara 4 arasındaki gerilim açısı değerleri

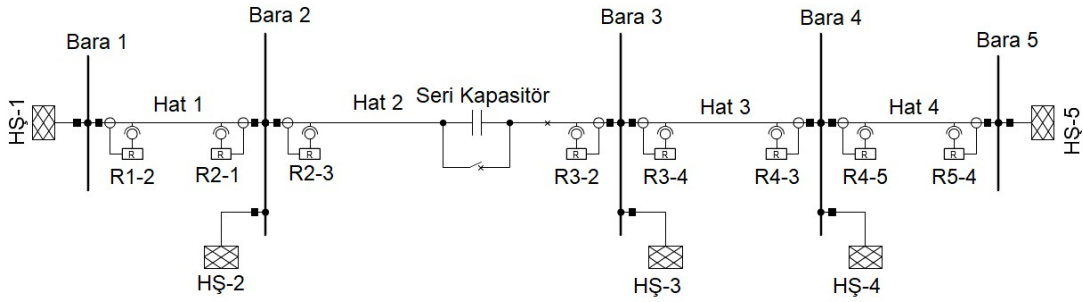
Şekil 32, şekil 33 ve şekil 34'te görülen grafikler incelendiğinde kompanzasyon seviyesinin artmasıyla birlikte bara açısı değerleri birbirlerine yaklaşmıştır. Bu durum geçici hal kararlılığına olumlu yönde katkıda bulunur. Şekil 35'te ise kompanzasyon seviyesinin artması ile reaktif güç kaybındaki değişiklik görülmektedir.



Şekil 35. Kompanzasyon seviyesine göre şebekenin reaktif güç kaybı

2.3.Seri Kapasitörün Kısa Devre Analizi Üzerindeki Etkisi

Seri kapasitörün kısa devre analizi üzerindeki etkisini incelemek için şekil 36'da görülen radyal şebeke ele alınmıştır. Şebeke 380kV iletim şebekesidir. Hat 2 hattında bulunan seri kapasitör hattın Bara 3 tarafından başında konumlu olup 15 ohm reaktans değerindedir.



Şekil 36. 5 baralı radyal şebeke

Her bir hattın %1'i, %10'u, %45'i, %55'i, %90'ı ve %99'u olmak üzere 6 noktada tek faz toprak arızası oluşturulmuştur. Hat 1, Hat 2, Hat 3 ve Hat 4 üzerinde oluşturulan kısa devrelerde radyal şebeke üzerinde bulunan mesafe koruma rölelerinin çalışmaları sırasıyla tablo 5, tablo 6, tablo 7 ve tablo 8'de görülmektedir. Tablolarda kırmızı punto ile yazılı "Açma" ifadesi yanlış açma, "Açmama" ifadesi yanlış açmama anlamına gelmektedir.

Tablo 5. Hat 1 üzerinde tek faz toprak kısa devre arızasında mesafe rölelerinin işlemleri

Mesafe Röleleri	Hat 1 üzerindeki arıza yerleri					
	1%	10%	45%	55%	90%	99%
R1-2	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
R2-1	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
R2-3	-	-	-	-	-	-
R3-2	-	-	-	-	-	Açma
R3-4	-	-	-	-	-	-
R4-3	-	-	-	-	-	-
R4-5	-	-	-	-	-	-
R5-4	-	-	-	-	-	-

Tablo 5 incelendiğinde Hat 1 isimli hattın %99’unda bir kısa devre meydana geldiğinde Hat 2 hattının R3-2 isimli rölesi kendi koruma bölgesinde olmayan arızayı görerek açmaması gerekirken açma yapmıştır. Hat 1 hattının mesafe koruma röleleri arıza kendi bölgelerinde olduğu için açma yapmıştır. Diğer hatların mesafe röleleri kısa devre arızası kendi koruma bölgelerinde olmadığı için herhangi bir operasyon gerçekleştirilmemiştir.

Tablo 6. Hat 2 üzerinde tek faz toprak kısa devre arızasında mesafe rölelerinin işlemleri

Mesafe Röleleri	Hat 2 üzerindeki arıza yerleri					
	1%	10%	45%	55%	90%	99%
R1-2	-	-	-	-	-	-
R2-1	-	-	-	-	-	-
R2-3	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
R3-2	Açmama	Açmama	Açma	Açma	Açma	Açma
R3-4	Açma	Açma	-	-	-	-
R4-3	Açma	Açma	-	-	-	-
R4-5	-	-	-	-	-	-
R5-4	-	-	-	-	-	-

Tablo 6 incelendiğinde Hat 2 isimli hattın %1’i ve %10’unda bir kısa devre meydana geldiğinde Hat 2 hattının R3-2 isimli rölesi kendi koruma bölgesinde olan arızayı görmeyerek açması gerekirken açma yapmamıştır. Ayrıca Hat 3 hattının mesafe koruma röleleri kendi koruma bölgelerinde olmayan arızayı görerek hatalı bir şekilde açma yapmıştır.

Tablo 7. Hat 3 üzerinde tek faz toprak kısa devre arızasında mesafe rölelerinin işlemleri

Mesafe Röleleri	Hat 3 üzerindeki arıza yerleri					
	1%	10%	45%	55%	90%	99%
R1-2	-	-	-	-	-	-
R2-1	-	-	-	-	-	-
R2-3	Açma	Açma	-	-	-	-
R3-2	-	-	-	-	-	-
R3-4	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
R4-3	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
R4-5	-	-	-	-	-	-
R5-4	-	-	-	-	-	-

Tablo 7 incelendiğinde Hat 3 isimli hattın %1'i ve %10'unda bir kısa devre meydana geldiğinde Hat 2 hattının R2-3 isimli rölesi kendi koruma bölgesinde olmayan arızayı görerek açmaması gerekirken açma yapmıştır.

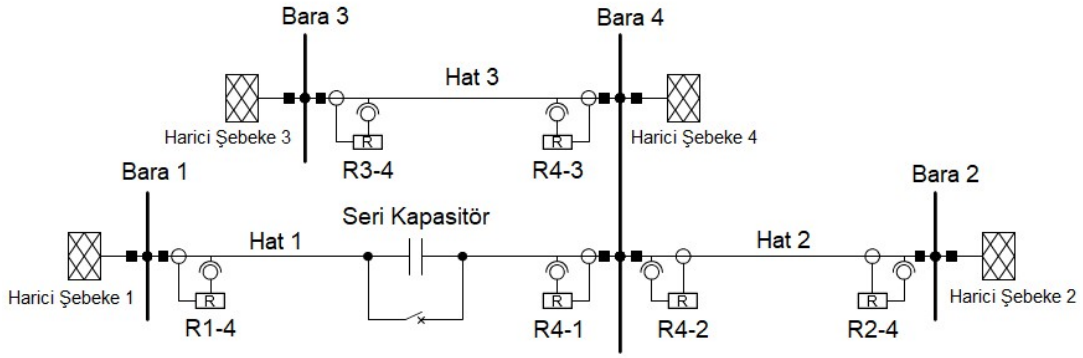
Tablo 8. Hat 4 üzerinde tek faz toprak kısa devre arızasında mesafe rölelerinin işlemleri

Mesafe Röleleri	Hat 4 üzerindeki arıza yerleri					
	1%	10%	45%	55%	90%	99%
R1-2	-	-	-	-	-	-
R2-1	-	-	-	-	-	-
R2-3	-	-	-	-	-	-
R3-2	-	-	-	-	-	-
R3-4	-	-	-	-	-	-
R4-3	-	-	-	-	-	-
R4-5	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
R5-4	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma

Şekil 36'da görüldüğü gibi Hat 4 isimli hat seri kapasitör bulunan Hat 2 hattından uzaktadır. Bu sebeple Hat 1, Hat 2 ve Hat 3 hatlarının mesafe röleleri kendi bölgelerinde olmayan arıza için herhangi bir operasyon gerçekleştirmemiştir. Hat 4 hattının mesafe röleleri ise seri kapasitöre uzak olduğu için bozucu bir etkiye maruz kalmamış ve hattın çeşitli yerlerinde gerçekleştirilen kısa devre arızalarını görmüş ve olması gerektiği şekilde açma yapmışlardır.

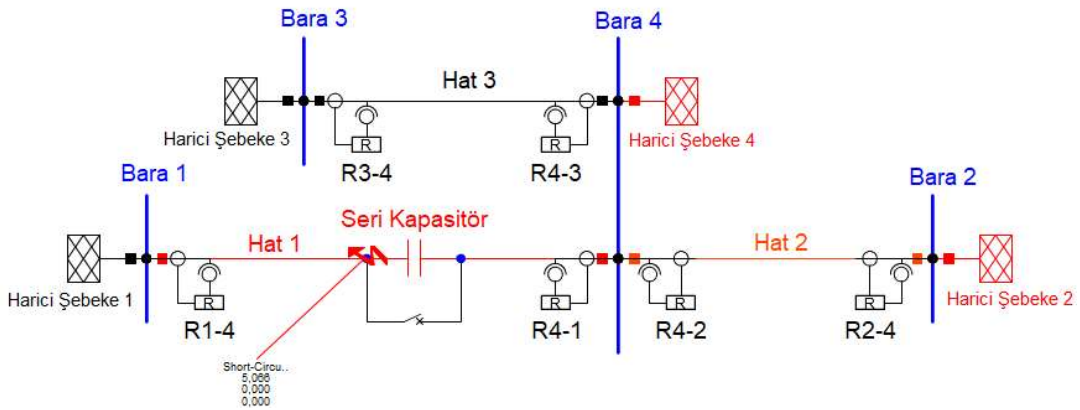
2.4. Problemin Tanımlanması

Elektrik güç sistemlerinde iletim hatları, oluşabilecek kısa devrelere karşı mesafe koruma röleleri ile korunmaktadır. İletim hattında seri kapasitör bulunması durumunda empedans hesabına dayalı çalışan mesafe röleleri olumsuz yönde etkilenmektedir. Mesafe rölelerinin yaşadığı olumsuzlukları incelemek için şekil 37'de örnek bir güç sistemi verilmiştir. Güç sistemi dört bara ve üç iletim hattından oluşmaktadır. Hat 1 isimli hattın Bara 4 tarafında seri kapasitör bulunmaktadır. Seri kapasitörün bağlı olduğu bara, çalışma içinde kritik bara olarak adlandırılmıştır.



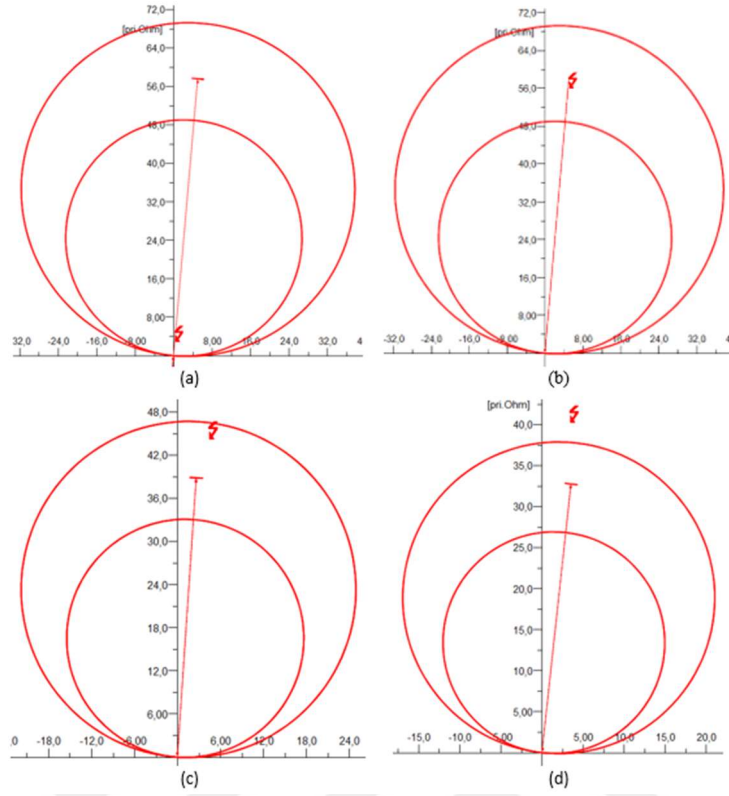
Şekil 37. 4 baralı iletim şebekesi

Böyle bir iletim şebekesinde mesafe rölelerinin çalışmasını izlemek için şekil 38'de görüldüğü gibi Hat 1 hattının kapasiteye yakın bir yerinde 3 faz kısa devre arızası oluşturulmuştur.



Şekil 38. Seri kapasitörlü iletim hattında oluşan kısa devre

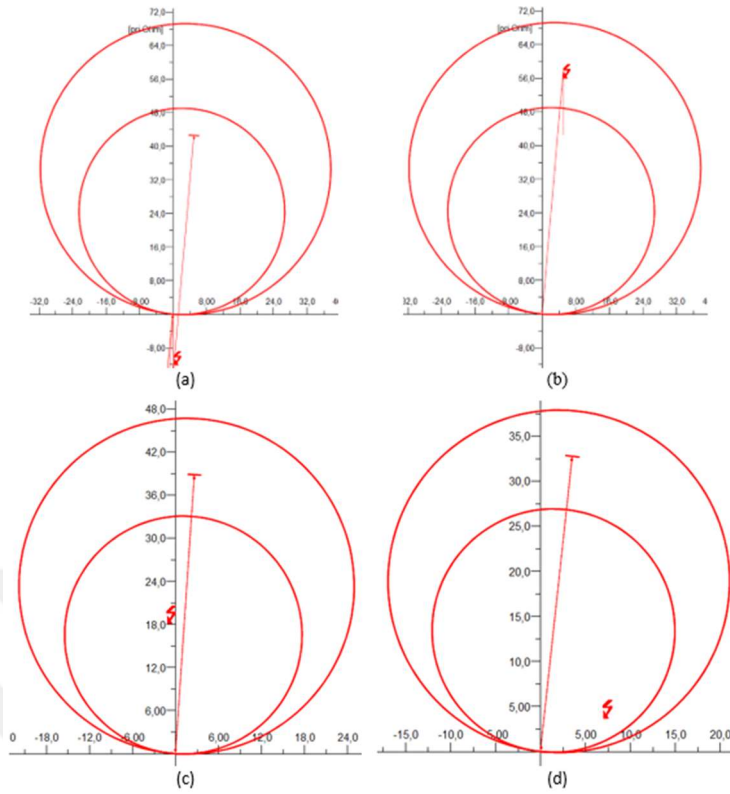
Mesafe rölelerinin iletim hattında oluşan kısa devreye karşı verdiği tepki kapasitörün devrede olup olmaması durumları göz önüne alınarak incelenmiştir. Kapasitör devrede değilken kısa devre olması durumunda R2-4, R3-4 ve Hat 1 hattının mesafe rölelerinin empedans karakteristikleri şekil 39'da verilmiştir.



Şekil 39. Kapasitör devre dışıyken (a) R4-1, (b) R1-4, (c) R2-4, (d) R3-4 empedans karakteristiği

Seri kapasitörün devrede olmaması durumunda hatların empedansını değiştiren bir durum söz konusu olmadığı için tüm mesafe röleleri hatasız çalışmaktadır. Arıza, Hat 1 hattının kapasiteye yakın bir noktasında meydana geldiği için R4-1 rölesinin birinci bölgesinde R1-4 rölesinin ikinci bölgesindedir. Komşu hatların R2-4 ve R3-4 isimli rölelerinin ise birinci bölgesinin dışındadır.

Şekil 38’de görülen kısa devrenin, Hat 1 hattı üzerinde bulunan kapasitör devreye alındıktan sonra oluşması durumunda ise mesafe rölelerinin röle karakteristikleri şekil 40’ta verilmiştir.



Şekil 40. Kapasitör devredeyken (a) R4-1, (b) R1-4, (c) R2-4, (d) R3-4 empedans karakteristiği

Kısa devre arızası, R4-1 rölesinin hemen önünde meydana geldiği için ve röle ile arıza noktası arasında kapasitör bulunduğu için rölenin hesapladığı empedans negatif yönlü olacaktır. Bu durum, şekil 40 (a)'da görüldüğü gibi rölenin arızayı menzil dışında görmesine neden olmuştur. R1-4 rölesi ile arıza noktası arasında empedans değişikliğine neden olan bir durum olmadığı için şekil 40 (b)'de görüldüğü gibi röle, arızayı ikinci bölgesinde görmüştür. Arıza noktası ile R2-4 ve R3-4 röleleri arasındaki empedansın kapasitörün varlığı ile azalması, Şekil 40 (c) ve şekil 40 (d)'de görüldüğü gibi rölelerin arızayı birinci bölgelerinde görmelerine neden olmuştur.

Şekil 37'de verilen iletim şebekesinde oluşan bir arızada seri kapasitörün varlığı ile açma yapması gereken röle açma yapmazken, açmaması gereken röleler açma yapmıştır. Yapılan incelemelerden anlaşılacağı üzere iletim hatlarında seri kapasitör bulunması sadece kapasitörün bulunduğu hattın koruma ekipmanları için değil, kapasitör bulunmayan hatların mesafe röleleri için de problem teşkil etmektedir. Bu probleme çözüm getirmek amacıyla iletim hatlarında bulunan seri kapasitörlerin devrede olması ve olmaması durumlarında

arızalı hattı belirleyip açması gereken mesafe rölelerine açma, açmaması gereken mesafe rölelerine blokaj sinyali üreten “Yönetim Rölesi” geliştirilmiştir.

2.5. Önerilen Yönetim Rölesi

Yönetim rölesi, iletim hatlarında bir arıza oluşması durumunda arızalı hattı tespit eder. Yapılan tespite göre mesafe rölelerine açma ve/veya blokaj sinyali gönderir. Cihazın çalışması ve tasarımı dört ana başlık altında ele alınmıştır. Öncelikle yönetim rölesinin arızalı hattı tespit etmek için kullanacağı arızalı hat tespit algoritması açıklanmıştır. Daha sonra rölenin çalışma prensibi ve işlem adımları verilmiştir. Üçüncü olarak rölenin tasarlanacağı simülasyon ortamı tanıtılmıştır. Son olarak rölenin tasarım aşamaları izah edilmiştir.

2.5.1. Arızalı Hat Belirleme Algoritması

Güç sistemlerinde seri kapasitör bulunması, mesafe röleleri tarafından arıza yerinin yanlış belirlenmesine neden olabilmektedir. Böyle bir problemin önüne geçmek enerjinin sürekliliği ve sistem güvenliği açısından büyük önem arz etmektedir. Bu noktadan hareketle KNN en yakın komşu arama yöntemi kullanılarak bir arızalı hat belirleme algoritması (AHB) geliştirilmiştir.

KNN metodu ilk olarak 1950’li yıllarda ortaya çıkmıştır. Bilgisayarla hesaplama imkanlarının gelişme gösterdiği 1960’lı yıllarda kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. O yıllardan bu yana örüntü tanıma alanında yaygın bir şekilde kullanılmıştır [70]. KNN en yakın komşu sınıflandırma yöntemi, sınıflandırılmamış bir noktanın, daha önce sınıflandırılmış bir dizi noktanın hangisine daha yakınsa o sınıfa ait olduğunu kabul eden bir sınıflandırma tekniğidir. Eğer daha önce sınıflandırılmış örnek sayısı miktar olarak fazla ise sadece tek bir en yakın komşu yerine k adet en yakın komşuyu dikkate alarak sınıflandırma yapar [71].

KNN en yakın komşu arama tekniğinde iki temel kavram vardır. Bunlar Test verisi ve Eğitim verisi kavramlarıdır. Daha önceden hangi sınıfa ait olduğu bilinen veriler eğitim verisi setini oluşturur. Eğitim veri seti birden fazla sınıfa ait eğitim verilerinden oluşmaktadır. Her bir sınıfa bir sınıf etiketi numarası verilir.

Sınıfı bilinmeyen, başka bir deyişle hangi sınıfa ait olduğu belirlenmek istenen veri ise test verisidir. Bir test verisinin hangi sınıfa ait olduğunu tespit etmek için test verisinin eğitim verilerine olan uzaklığı hesaplanır. Bu uzaklıklar küçükten büyüğe sıralanır. Bu sıralamada baştan başlamak üzere en küçük k adet uzaklıktan en fazlası hangi sınıfa ait ise test verisinin o sınıfa ait olduğuna karar verilir. KNN algoritmasında, komşu sayısı (k) parametresinin değerine dayalı olarak sınıflandırma yapılmaktadır. Sınıflandırma sürecinde, k=1 için, test verisi sadece en yakın komşunun bulunduğu sınıfa atanırken, k sayısı örnek sayısına yaklaştıkça veri setinde yer alan tüm veriler dikkate alınmakta ve oylamaya göre seçim yapılmaktadır [72]. Eğer iki sınıf arasında sınıflandırma yapılacaksa k değeri tek tam sayı olarak seçilmelidir. İkiiden fazla sınıfın aralarında sınıflandırma yapılacaksa algoritma, sınıfları ikişerli karşılaştırıp nihai karar verecek şekilde düzenlenmelidir.

Test verilerinin eğitim verilerine uzaklığını belirlemek için birçok yöntem vardır. Bunlar:

- Öklid Uzaklığı,
- Minkowski Uzaklığı,
- Manhattan Uzaklığı,
- Chebyshev Uzaklığı,
- Hamming Uzaklığı,

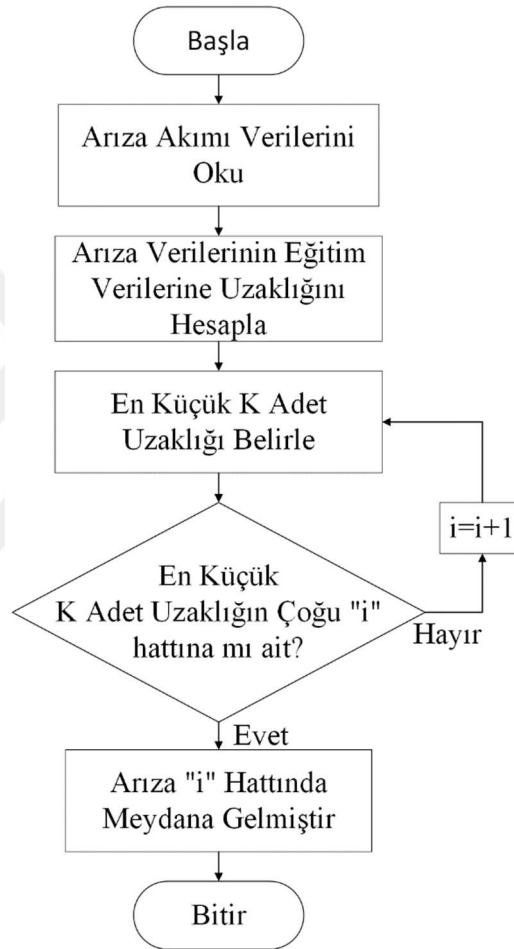
yöntemleridir. Bu çalışmada uzaklık belirlemede, sınıflandırma işlemi için yeterli doğrulukta sonuçlar verdiği için öklid uzaklık hesaplama yöntemi tercih edilmiştir. Öklid yöntemi ile iki nokta arasındaki mesafe, iki noktanın x-y düzleminde birbirlerine olan uzaklıkları farkının karesinin karekökünün hesaplanması ile bulunur.

Örneğin $P=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ verisi ile ve $Q=(y_1, y_2, \dots, y_n)$ verisi arasındaki uzaklık aşağıdaki bağıntı ile bulunur [73]:

$$A = (P, Q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

Arızalı hat belirleme algoritmasının işleyişi şekil 37’de verilen 4 baralı iletim şebekesi üzerinden izah edilmiştir. Algoritmanın icra edilebilmesi için gerekli olan eğitim ve test verileri şebeke üzerinde arıza simülasyonları gerçekleştirilerek elde edilmiştir.

AHB, kritik baraya bağlı tüm hatlarda meydana gelebilecek bir kısa devrenin, seri kompanzasyon yapılmış Hat 1 hattında meydana gelip gelmediğini belirleyen bir algoritmadır. Şekil 41’de algoritmanın işleyişini temsil eden blok gösterimi verilmiştir.



Şekil 41. AHB algoritması akış diagramı

Arızalı hat belirleme algoritmasının çalışması 3 başlık altında açıklanmıştır. Öncelikle sınıf etiketlerinin belirlenmesi, daha sonra eğitim ve test verilerinin belirlenmesi, son olarak test verilerinin eğitim verilerine olan uzaklığının hesaplanması açıklanmıştır.

2.5.1.1. Sınıf Etiketlerinin Verilmesi

Arızalı hat belirleme algoritmasının işlem adımları gereği seri kapasitör bulunan iletim hattına bir sınıf etiketi verilir. Ayrıca kritik baraya bağlı kapasitör bulunmayan diğer hatlara da sınıf etiketi verilir.

Etiketleme işleminde kapasitör bulunduran hat öncelikli öneme sahiptir. Bu sebeple “Sınıf1” etiketi verilir. Kapasitör bulunmayan diğer hatlar ise eşit öneme sahiptir ve hepsine “Sınıf2” etiketi verilir. Tablo 9’da kritik baraya bağlı olan iletim hatlarının isimleri ve onlara verilen sınıf etiketleri görülmektedir.

Tablo 9. Sınıf etiketleri

Sınıf Etiketi	Hat İsmi
Sınıf1	Hat 1
Sınıf2	Hat 2
Sınıf2	Hat 3

2.5.1.2. Eğitim ve Test Verilerinin Oluşturulması

Etiketleme işleminden sonra ikinci adım eğitim verilerinin oluşturulmasıdır. Eğitim verileri, arıza esnasında kritik baradan akan akımların genlik ve açılarından oluşur. Bu veri matris formundadır. Eğitim verilerinin elde edilmesi için Şekil 37’de görülen Hat 1, Hat 2 ve Hat 3 hatlarının her biri için hatların başından başlayarak hat sonuna kadar belirli aralıklarla kısa devre arıza simülasyonları oluşturulmuştur. Simülasyonlar esnasında kritik baradan çıkan akımların genlik ve açı bilgileri her hat için ayrı matrislere kaydedilmiştir. Test verisi de eğitim verisi gibi kısa devre arıza simülasyonu ile oluşturulmaktadır. Arıza esnasında kritik baradan çıkan akımların genlik ve açı bilgileri bir dizi içine kaydedilir.

2.5.1.3. Test - Eğitim Verisi Uzaklıklarının Belirlenmesi

Bir test verisinin, daha önceden sınıfları bilinen eğitim verilerinin hangisine daha yakın olduğunu belirlemek, güç sisteminde meydana gelen bir kısa devrenin hangi hatta olduğunu belirlemek anlamına gelir. Aşağıda test verisinin iki farklı sınıfa ait eğitim verilerine olan uzaklığının hesaplanmasını gösteren kod satırları verilmiştir.

```

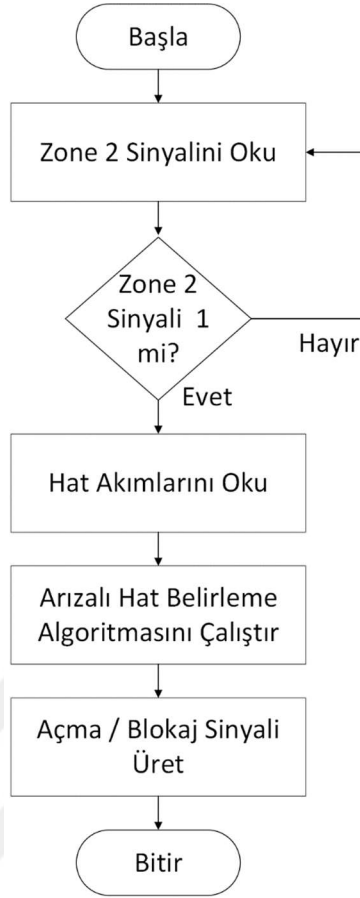
for i = 1:evs
    for j = 1:vs
        uzaklik1 = sqrt( ( ( test (1 , j) - sinif1 (i , j) ) )^2)
        uzaklik2 = sqrt( ( ( test (1 , j) - sinif2 (i , j) ) )^2)
    end
end
end

```

Burada “evs” bir sınıfa ait eğitim verisi sayısı “vs” ise eğitim ve test verilerinin içinde bulunan veri sayısıdır. “test”, sınıfı bilinmeyen test verisi dizisidir. “sinif1” ve “sinif2” sırasıyla hatlara ait eğitim verilerinin bulunduğu matrislerdir. “uzaklik1” ve “uzaklik2” ise test verisinin sırasıyla sınıf 1 ve sınıf 2’ye olan uzaklıklarının tutulduğu matrislerdir. Döngülerin sonlanması ile test verisinin iki sınıfa olan uzaklıkları hesaplanmış olur.

2.5.2. Yönetim Rölesinin Çalışması

Yönetim rölesi seri kapasitörlü hatların mesafe rölelerine açma/blokaj sinyali üreten bir cihazdır. Röle, Hat 1 hattında bulunan R1-4 isimli mesafe rölesinin ikinci bölgesinde bir arıza tespit etmesi ile çalışır. İkinci bölge arıza tespit sinyali alan röle kritik baradan çıkan akımların genlik ve açı bilgilerini kullanarak içinde bulunan arızalı hat belirleme algoritması vasıtasıyla arızanın meydana geldiği hattı tespit eder. Bu aşamadan sonra röle, daha önceden öngörülen açma ve blokaj şemasına göre işlemlerini gerçekleştirir. Eğer arıza seri kapasitörlü hatta meydana gelmişse hattın mesafe rölelerine açma sinyali, başka bir hatta meydana gelmişse blokaj sinyali gönderir. Yönetim rölesinin işlem adımlarını içeren blok gösterim şekil 42’de verilmiştir.



Şekil 42. Yönetim rölesi çalışma diyagramı

Arızanın seri kapasitör bulunduran Hat 1 hattında meydana gelmesi durumunda yönetim rölesi arızalı hattı belirler. Arızalı hat belirlendikten sonra röle sadece arızanın meydana geldiği hattın mesafe rölelerine açma sinyali gönderir ve hattı güç sisteminden izole eder. Röle işlemi tamamlaması için işlem süresine ihtiyaç duyacaktır. Bu süre içinde Hat 2 ve Hat 3 hatlarının mesafe rölelerinin, Hat 1 hattında meydana gelen arızayı birinci bölgesinde görüp bekleme yapmadan açma sorunu ortaya çıkabilir. Böyle bir problemin önüne geçmek için Hat 2 ve Hat 3 hatlarının mesafe rölelerinin birinci bölgeleri için yönetim rölesinin işlem süresinden daha uzun bir gecikme verilmesi gerekir. Bu süre içinde Hat 1 hattında meydana gelen arıza, yönetim rölesi tarafından tespit edilir ve arızalı hat sistemden izole edilir. Arıza sistemden temizlendiği için kritik baraya bağlı diğer hatların mesafe röleleri herhangi bir arıza görmeyecektir. Mesafe röleleri için bu süre 100 msn olarak belirlenmiştir.

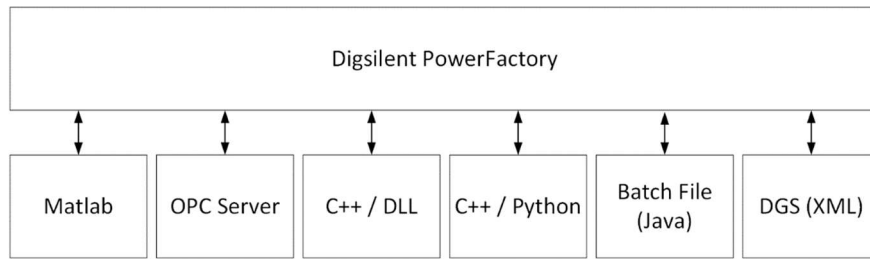
Eğer arıza Hat 2 veya Hat 3 hattında meydana gelmişse yönetim rölesi arızanın seri kapasitörlü Hat 1 hattında meydana gelmediğini tespit eder ve Hat 1 hattının mesafe

rölelerine blokaj sinyali uygular. Arıza seri kapasitörlü hatta meydana gelmediği için ortada bozucu bir etki yoktur. Bu durumda Hat 2 ve Hat 3 hatlarının hangisinde arıza meydana gelmişse ilgili hattın mesafe rölesi arızayı sorunsuz bir şekilde tespit eder ve verilen gecikme süresi sonunda hat kesicilerine açma sinyali gönderir.

Eğer yönetim rölesi veri alışverişi sırasında bir gecikme yaşayıp işlevini yerine getirememişse tüm mesafe röleleri gecikme süresi dolduğu zaman geleneksel koruma prosedürlerini yerine getirirler. Özetle, geliştirilen yönetim rölesi, mesafe rölelerinin yerini almaz, sadece onların çalışmasına yardımcı olur.

2.5.3. Simülasyon Ortamının Tanıtılması

Artan enerji talebinden dolayı güç sistemlerinin daha karmaşık hale gelmesiyle birlikte, yeni şebeke elemanlarının tasarımı, mevcut güç sistemlerinin modellenmesi ve analizinin yapılması daha da önem kazanmıştır. “Digsilent PowerFactory” güç sistemleri simülatörü karmaşık güç sistemlerinin modellenmesi ve analizi için uygun bir çalışma ortamı sağlamaktadır. Güç akış analizi, kısa devre analizi gibi temel çalışmaların yanı sıra kontrolör, cihaz geliştirme gibi daha pek çok çalışma için geniş bir analiz, hesaplama ve tasarım olanağı sunar. Ayrıca Digsilent PowerFactory harici ortamlarla bağlantı kurabilmek için bir çok olanağa sahiptir [74]. Digsilent PowerFactory güç sistemleri simülatörünün çeşitli kanallar vasıtası ile dış ortamla entegrasyonu Şekil 43’te gösterilmiştir [75].



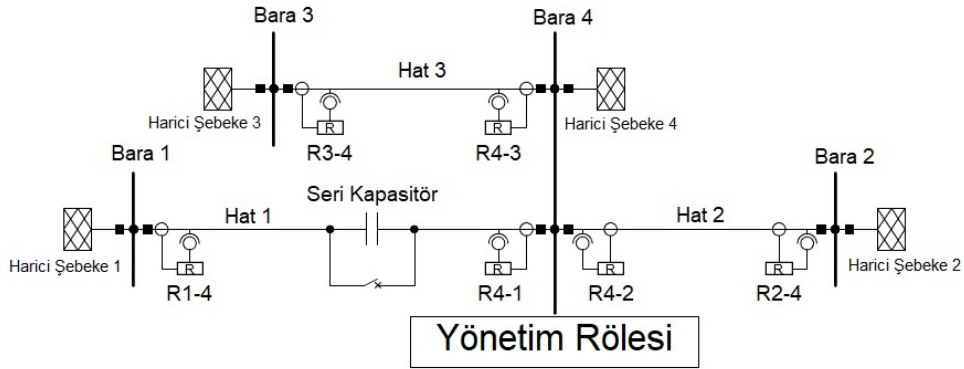
Şekil 43. PowerFactory yazılımının etkileşim kanalları

Yönetim rölesi Şekil 43’te görülen Digsilent PowerFactory simülatörünün yazılım dili (Digsilent Simulation Language) ile oluşturulan DSL model ve harici C++ DLL dosyası etkileşimi ile çalışmaktadır. DSL, RMS simülasyon esnasında çalışabilen bir simülasyon yazılım dilidir. Güç sisteminden sinyaller alıp geri tepki veren dinamik kontrolörler tanımlamak için etkili bir şekilde kullanılabilir [76]. DSL, bir denetleyici tasarlamak

için kullanışlı olmakla birlikte algoritmalar içinde kullanılan if ve for gibi temel komutların karşılığı olmayan bir simülasyon dilidir. Tasarladığımız yönetim rölesi için bu tür komutları kullanmak üzere Digsilent PowerFactory, DSL ve Digexfun arayüzünün birlikte kullanılmasıyla gelişmiş uygulamaların yapılmasına imkân sağlamaktadır. Digexfun, Digsilent PowerFactory'nin, Matlab, C++ gibi dış ortamdaki yazılımlardan veri alıp gönderebilmesine olanak sağlayan arayüzdür [73].

2.5.4. Yönetim Rölesinin Tasarımı

Yönetim rölesi iletim şebekesi üzerinde çalışan bir cihazdır. Seri kapasitörün bağlı bulunduğu kritik bara üzerine konumlandırılır. Şekil 44'te kritik bara üzerine konumlandırılmış yönetim rölesi görülmektedir.



Şekil 44. Kritik bara üzerinde yönetim rölesi

“Yönetim Rölesi” bloğu içinde kritik baraya bağlı iletim hatları, seri kapasitör bulunan Hat 1 hattının mesafe röleleri ve denetleyici birimi yer almaktadır. Bloğun içini temsil eden gösterim Şekil 45'te verilmiştir. Yönetim rölesi içinde görülen Hat 1, Hat 2 ve Hat3 isimli slotlar akım bilgilerinin alındığı portlardır. Mikrodenetleyici slotu arızalı hat belirleme algoritmasının (AHB) çalıştırılacağı ve mesafe rölelerine iletilecek açma ve blokaj sinyallerinin üretileceği kısımdır. R1-4 rölesinin 2. bölge arıza tespit sinyali mikrodenetleyici bloğunun sınıflandırma işlemine başlaması için kullanılacaktır. Mikrodenetleyici bloğunun açma ya da blokaj çıkış sinyali R4-1 ve R1-4 rölelerine gönderilecektir.

Ad: Yönetim Rölesi

Çerçeve: ...er Defined Models\MicroFrame0801

Servis Harici

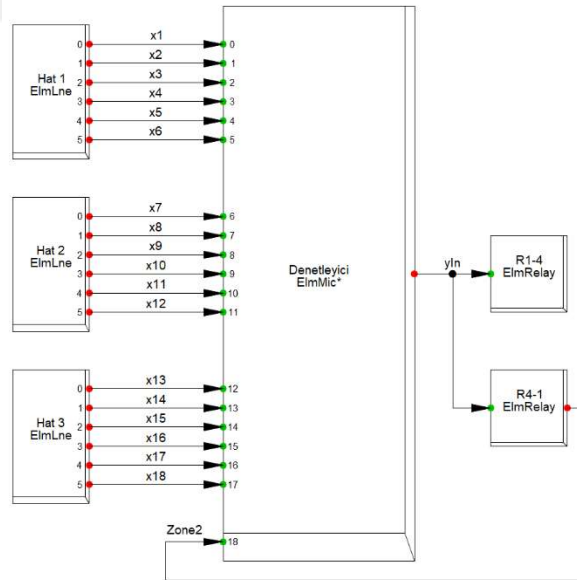
Yuva Tanımı:

	Yuvalar BlkSlot	Şebeke Ekipmanları Elm*,Sta*,IntRef,IntVecobj
1	Hat 1	Hat 1
2	Hat 2	Hat 2
3	Hat 3	Hat 3
4	Denetleyici	dsl Denetleyici
5	R1-4	R1-4
6	R4-1	R4-1

Yuva Güncelleme Adım Tepki Testi Show Graphic

Şekil 45. Yönetim rölesi kompozit modeli

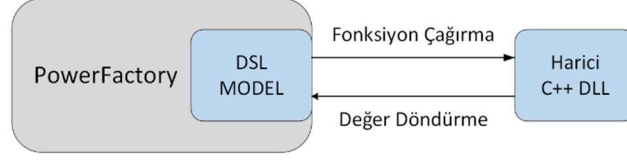
Yönetim rölesinin blok gösterimi şekil 46'da görüldüğü gibidir. Mikrodenetleyici bloğu, girişine uygulanan hat akımlarını kullanarak ürettiği açma/blokaj sinyallerini ilgili çıkışlara iletir.



Şekil 46. Yönetim rölesi blok diagramı

Arızalı hat belirleme algoritması içinde bulunan bazı kodlar DSL simülasyon dilinde bulunmamaktadır. Bu sebeple AHB algoritmasının çalışması için digexfun arayüzü kullanılarak DSL model ile bu kodların çalıştırılabildiği harici C++ DLL dosyası arasında

veri alışverişi yapılmalıdır. Şekil 47’de DSL model ile harici C++ DLL dosyası arasındaki etkileşim görülmektedir.



Şekil 47. PowerFactory ile Harici DLL dosyası veri alışverişi

DSL model içinde çalışması istenen kod satırlarını içeren yazılım, C++ dilinde, fonksiyon oluşturacak şekilde yazılmıştır. Oluşturulan fonksiyonu PowerFactory ortamında kullanılabilir hale getirmek için Visual Studio ortamında C++ dosyası derlenerek digexfun.dll isimli bir DLL dosyası elde edilmiş ve DLL dosyası PowerFactory yazılımının kurulum dosyaları içine konulmuştur. Böylelikle PowerFactory tarafında oluşturulan DSL model içinde bu kodlar kullanılabilir hale getirilmiştir. Şekil 48’de Hat 1 hattı için oluşturulan arızalı hat tespit algoritmasını içeren “Hat1” isimli fonksiyon ve aldığı parametreler verilmiştir.

```

Ek denklemler
inc(y1) = 0
inc(y2) = 0

y1 = Hat1(x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,x8,x9,x10,x11,x12,
          x13,x14,x15,x16,x17,x18,zone2);
y2=y1;
  
```

Şekil 48. Oluşturulan DSL fonksiyonun kullanımı

Fonksiyonun kullandığı parametreler kritik baraya bağlı iletim hatlarından çıkan akımların genlik ve açı bilgileridir.

DSL model içinde fonksiyon halinde yer alan AHB sonsuz döngü içinde çalışır. R1-4 rölesi bir kısa devre arızası tespit ettiğinde AHB giriş parametrelerini kullanarak temsil ettiği hatta arıza olup olmadığını belirler. “Hat1” fonksiyonunun içinde ayrıca arızalı hat belirlendikten sonra daha önceden öngörülen bir açma ve blokaj şeması vardır. Tablo 10’da Hat 1 hattına ait mesafe röleleri için öngörülen çıkış matrisi görülmektedir.

Tablo 10. Röle çıkış matrisi

Çıkış İsmi	R1-4	R4-1
y1=0	0	0
y1=1	1	1

2.5.5. Yönetim Rölesi Devre Dışı İken Durum İncelemeleri

Yönetim rölesinin etkinliğini görebilmek için şekil 44'te görülen 4 baralı iletim şebekesinde öncelikle yönetim rölesinin devre dışı olması durumunda durum incelemeleri yapılmıştır. Şebekede görülen mesafe rölelerinin zone ayarları ve hatların empedans değerleri tablo 11 ile tablo 13 arasında verilmiştir.

Tablo 11. Hat 1 hattının mesafe rölesi zone ayarları

R4-1 Mesafe Rölesi Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
57,8163	85,0252	5,0136	57,5985
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	49,14	85,03
2	120	69,38	85,03
3	150	86,72	85,03

R1-4 Mesafe Rölesi Hat Parametreleri			
Z₁	Z₁	Z₁	Z₁
57,8163	85,0252	5,0136	57,5985
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	49,14	85,03
2	120	69,38	85,03
3	150	86,72	85,03

Tablo 12. Hat 2 hattının mesafe rölesi zone ayarları

R4-2 Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
38,9622	86,1731	2,6004	38,8753
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	33,12	86,17
2	120	46,75	86,17
3	150	58,44	86,17

R2-4 Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Z₁	Z₁	Z₁
38,9622	86,1731	2,6004	38,8753
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	33,12	86,17
2	120	46,75	86,17
3	150	58,44	86,17

Tablo 13. Hat 3 hattının mesafe rölesi zone ayarları

R4-3 Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
32,9828	83,7959	3,5644	32,7896
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	28,03	83,80
2	120	39,58	83,80
3	150	49,47	83,80

R3-4 Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Z₁	Z₁	Z₁
32,9828	83,7959	3,5644	32,7896
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	28,03	83,80
2	120	39,58	83,80
3	150	49,47	83,80

Kritik bara olan Bara 4' e bağlı olan Hat 1 hattında bulunan seri kapasitörün devrede olması ve olmaması durumlarını göz önünde bulundurarak Hat 1 hattı için 2, seri kapasitörün devrede olması durumunda yine kritik baraya bağlı fakat seri kapasitör bulunmayan hat 2 hattı için 1 olmak üzere 3 farklı durum incelemesi yapılmıştır. Her durum incelemesi için ilgili hattın %1'i, %10'u, %50'si, %90'ı ve %99'unda tek faz toprak arıza simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

2.5.5.1. Kısa Devre Analizi 1

İlk kısa devre analizi Hat 1 hattında, kritik baraya bağlı seri kapasitör devre dışı iken gerçekleştirilmiştir. Kısa devre arıza simülasyonları Hat 1 hattında gerçekleştirildiği için sadece ilgili hattın mesafe röleleri açma yaptırmalı diğer hatların mesafe röleleri ise bir işlem gerçekleştirilmemelidir. Tablo 14 incelendiğinde durumun böyle olduğu görülmektedir. Yani Hat 1 hattında bulunan seri kapasitör devre dışında iken tüm mesafe röleleri hatasız çalışmaktadır.

Tablo 14. Kapasitör devre dışı iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler

Hat 1 Hattı Tek Faz Toprak Arızası (Kapasitör Devre Dışı)					
Mesafe Röleleri	1%	10%	50%	90%	99%
R4-1	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
R1-4	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
R4-2	-	-	-	-	-
R2-4	-	-	-	-	-
R4-3	-	-	-	-	-
R3-4	-	-	-	-	-

2.5.5.2. Kısa Devre Analizi 2

İkinci kısa devre analizi Hat 1 hattında kritik baraya bağlı seri kapasitör devrede iken gerçekleştirilmiştir. Tablo 15 incelendiğinde Hat 1 hattının %1'i ve %10'unda

gerçekleştirilen arıza simülasyonunda açmaması gereken R4-2 ve R4-3 röleleri açma yaparak hatalı çalışmışlardır.

Tablo 15. Kapasitör devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler

Hat 1 Hattı Tek Faz Toprak Arızası (Kapasitör Devrede)					
Mesafe Röleleri	1%	10%	50%	90%	99%
R4-1	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
R1-4	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
R4-2	Açma	Açma	-	-	-
R2-4	-	-	-	-	-
R4-3	Açma	Açma	-	-	-
R3-4	-	-	-	-	-

2.5.5.3. Kısa Devre Analizi 3

Üçüncü kısa devre analizi Hat 2 hattı üzerinde Hat 1’de bulunan kapasitör devrede iken gerçekleştirilmiştir. Tablo 16 incelendiğinde Hat 2 hattının %1’inde gerçekleştirilen arıza simülasyonunda açmaması gereken R1-4 rölesi açma yaparak hatalı çalışmıştır. Bu durum haricinde hattın 5 farklı noktasında gerçekleştirilen arıza simülasyonları için sadece ilgili hattın mesafe röleleri açma yaptırmış olup diğer hatların mesafe röleleri açma yaptırmamıştır.

Tablo 16. Kapasitör devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler

Hat 2 Hattı Tek Faz Toprak Arızası (Kapasitör Devrede)					
Mesafe Röleleri	1%	10%	50%	90%	99%
R4-1	-	-	-	-	-
R1-4	Açma	-	-	-	-
R4-2	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma

Tablo 16'nın devamı

R2-4	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
R4-3	-	-	-	-	-
R3-4	-	-	-	-	-

2.5.6. Yönetim Rölesi Devrede İken Durum İncelemeleri

Yönetim rölesi devrede iken kritik baraya bağlı seri kapasitörün etkisi ile mesafe rölelerinin çalışmalarını gözlemlemek üzere çeşitli iletim hatlarında tek faz toprak arıza simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

Tablo 17. Kritik baraya bağlı hatların açma yapan mesafe röleleri

Arızalı Hat	1%	10%	50%	90%	99%
Hat 1 (Kapasitör Devrede)	R4-1	R4-1	R4-1	R4-1	R4-1
	R1-4	R1-4	R1-4	R1-4	R1-4
Hat 1 (Kapasitör Devre Dışı)	R4-1	R4-1	R4-1	R4-1	R4-1
	R1-4	R1-4	R1-4	R1-4	R1-4
Hat 2 (Kapasitör Devrede)	R4-2	R4-2	R4-2	R4-2	R4-2
	R2-4	R2-4	R2-4	R2-4	R2-4

Yapılan kısa devre simülasyonları kritik baraya bağlı ve seri kapasitör bulunan Hat 1 hattında bulunan kapasitörün devrede olup olmamasını içeren durumlar için 2, kritik baraya bağlı ve seri kapasitör bulunmayan Hat 2 hattı için 1 olmak üzere 3 farklı arıza simülasyonudur. Her kısa devre simülasyonu ilgili hattın %1'i, %10'u, %50'si, %90'ı ve %99'unda arıza türü tek faz toprak arızası olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tüm arıza simülasyonları için hiçbir mesafe rölesi hatalı bir işlem yapmamıştır. Kayabaşı barasına bağlı hatların mesafe rölelerinin operasyonları tablo 17'de görülmektedir. Ayrıca yönetim rölesi içinde bulunan AHB algoritması, tablo 18'de görülen kombinasyonlar göz önünde bulundurularak, hatların çeşitli noktalarında oluşturulmuş toplam 720 test verisi ile sınanmış olup algoritmanın arızalı hattı hatasız bir şekilde belirlediği gözlemlenmiştir.

kaynağı eşdeğeri olarak modellenmiş ve kısmi şebeke üzerinde harici şebeke olarak görülmektedir. Şebekede görülen seri kapasitörler 380kV anma değerinde olup Kurşunlu kapasitörü 15 ohm, Bağlum kapasitörü 13 ohm ve Deçeko kapasitörü 11 ohm reaktans değerine sahiptir. Şebekede kullanılan iletken tiplerinin direnç, reaktans ve süseptans değerleri tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. Hat iletkenleri parametreleri

İletken Tipi		$R_{1,2}$	$X_{1,2}$	R_0	X_0	$Y_{1,2}$	Y_0
		Ω/km	Ω/km	Ω/km	Ω/km	$\mu\text{S}/\text{km}$	$\mu\text{S}/\text{km}$
Cardinal	2x954	0,034735	0,319528	0,293589	1,059507	3,504304	2,380250
	3x954	0,023156	0,266024	0,305035	0,999486	4,191364	2,494140
Pheasant	3x1272	0,017398	0,260093	0,307915	0,985230	4,289632	2,635920

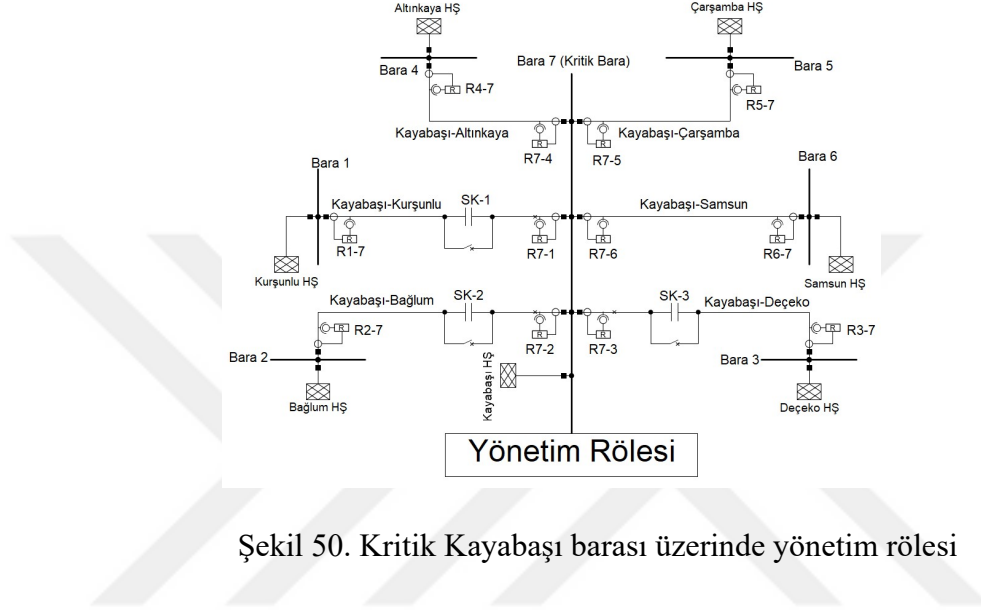
Kayabaşı kısmi şebekesinde yer alan iletim hatlarında kullanılan iletken tipleri, kesitleri, uzunlukları ve gerilim ve akım değerleri tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. Kayabaşı şebekesinde yer alan iletken tipleri

İletim Hattı	İletken Tip	Kesit MCM	Uzunluk km	Gerilim kV	Akım kA
Kayabaşı-Kurşunlu	Cardinal	3x954	216,516	380	2.296
Kayabaşı-Bağlum	Cardinal	3x954	264,517	380	2.296
Kayabaşı-Deçeko	Cardinal	3x954	168,183	380	2.296
Kayabaşı-Altinkaya	Cardinal	2x954	102,619	380	1.528
Kayabaşı-Çarşamba	Cardinal	2x954	126,080	380	1.528
Kayabaşı-Samsun	Pheasant	3x1272	149,467	380	2.776
Kurşunlu-Osmanca	Cardinal	3x954	206,954	380	2.296
Kurşunlu-Boyabat	Pheasant	3x1272	157,004	380	2.776
Boyabat-Altinkaya	Pheasant	3x1272	66,503	380	2.776
Altinkaya-Cengiz	Cardinal	3x954	83,903	380	2.296
Cengiz-Çarşamba	Cardinal	3x954	27,260	380	2.296
Çarşamba-H. Uğurlu	Cardinal	2x954	18,595	380	1.528
Çarşamba-Samsun	Pheasant	3x1272	47,334	380	2.776
Samsun-Ordu	Pheasant	3x1272	71,200	380	2.776
Ordu-Tirebolu	Pheasant	3x1272	92,600	380	2.776
Tirebolu-Kalkandere	Pheasant	3x1272	135,939	380	2.776
Kalkandere-Borçka	Pheasant	3x1272	128,722	380	2.776

2.7. Yönetim Rölesinin Kayabaşı Şebekesine Uygulanması

Kayabaşı kısmi şebekesinde yer alan seri kapasitörlü iletim hatları Kayabaşı barasına bağlı olduğu için kritik bara Kayabaşı barasıdır. Bu sebeple yönetim rölesi Kayabaşı barasına konumlandırılmıştır. Şekil 50’de kritik bara ve yönetim rölesi görülmektedir.



Şekil 50. Kritik Kayabaşı barası üzerinde yönetim rölesi

Yönetim rölesinin Kayabaşı barasına uyarlanması için baraya bağlı iletim hatlarının sınıf etiketlerinin belirlenmesi ve eğitim ve test verilerinin oluşturulması gerekmektedir.

2.7.1. Ahb'nin Kayabaşı Barasına Uyarlanması

Sınıflandırma işleminin ilk işlem adımı olarak Kayabaşı barasına bağlı bulunan iletim hatlarına birer sınıf etiketi verilmiştir. Tablo 21’de kritik Kayabaşı barasına bağlı olan iletim hatlarına verilen sınıf etiketleri görülmektedir.

Tablo 21. İletim hatlarının sınıf etiketleri

Sınıf Etiketi	Hat ismi	Hat Türü
Sınıf 1	Kayabaşı-Kurşunlu	Kapasitörlü Hat
Sınıf 2	Kayabaşı-Bağlum	Kapasitörlü Hat
Sınıf 3	Kayabaşı-Deçeko	Kapasitörlü Hat
Sınıf 4	Kayabaşı-Altinkaya	Kapasitörsüz Hat
Sınıf 4	Kayabaşı-Çarşamba	Kapasitörsüz Hat
Sınıf 4	Kayabaşı-Samsun	Kapasitörsüz Hat

Eğitim verilerinin elde edilmesi için Şekil 50’de görülen iletim hatlarının her biri için hatların başından başlayarak hat sonuna kadar %5’er aralıklarla 21 adet kısa devre arıza simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar esnasında hatlardan akan akımların genlik ve açı bilgileri her hat için ayrı matrislere kaydedilmiştir. Eğitim verileri 6 hat için de arıza empedansı 0 ohm olacak şekilde ve kısmi şebekedeki kapasitelerin hepsi devre dışı bırakılarak oluşturulmuştur. Arıza türü ise 3 faz kısa devre arızasıdır. Tablo 22’de Kurşunlu hattına ait bir eğitim verisi parametreleri gözükmemektedir.

Tablo 22. Eğitim verisi parametreleri

Kayabaşı-Kurşunlu Akımı						Kayabaşı-Bağlum Akımı					
la	Θa	lb	Θb	lc	Θc	la	Θa	lb	Θb	lc	Θc

Kayabaşı-Kurşunlu hattında kısa devre oluşması durumunda Kayabaşı barasından Kurşunlu ve Bağlum yönünde akan akımların genlik ve açı bilgileri bir eğitim verisini oluşturur. Bu çalışmada kullanılan tüm eğitim verileri 1x12 boyutunda bir dizi olup her hattın eğitim verisini oluşturan 21 adet arıza için eğitim verisi matrisi 21x12 boyutundadır.

Test verileri de tıpkı eğitim verileri gibi hat akımlarının genlik ve açı bilgilerinden oluşmaktadır. Her test verisi 1x12 boyutunda bir dizidir.

Şekil 51’de Kurşunlu, Bağlum ve Deçeko hatları için oluşturulan arızalı hat tespit algoritmasını içeren fonksiyonlar ve aldığı parametreler verilmiştir.

```

Ek denklemler
inc(y1) = 0
inc(y2) = 0
inc(y3) = 0
inc(y4) = 0
inc(y5) = 0
inc(y6) = 0

y1 = Kursunlu(r2, x73, x74, x75, x76, x77, x78, x85, x86, x87, x88, x89, x90);
y2=y1;
y3 = Baglum(r4, x85, x86, x87, x88, x89, x90, x109, x110, x111, x112, x113, x114);
y4=y3;
y5 = Deceko(r6, x97, x98, x99, x100, x101, x102, x109, x110, x111, x112, x113, x114);
y6=y5;

```

Şekil 51. Kritik kayabaşı barası için oluşturulan DSL fonksiyonların kullanımı

Kritik Kayabaşı barasına bağlı seri kapasitörlü hatlar için oluşturulan ve arızalı hat belirlendikten sonra icra edilecek açma ve blokaj şeması Tablo 23’te görülmektedir.

Tablo 23. Röle çıkış matrisi

Çıkış İsmi	R1-7	R7-1	R2-7	R7-2	R3-7	R7-3
y1=0	0	0	0	0	0	0
y1=1	1	1	0	0	0	0
y3=0	0	0	0	0	0	0
y3=1	0	0	1	1	0	0
y5=0	0	0	0	0	0	0
y5=1	0	0	0	0	1	1

Geliştirilen algoritmanın sınıflandırma yeteneğini sınamak için farklı senaryolar altında test verileri oluşturulmuştur. Test verilerinin elde edilmesi için kritik baraya bağlı hatların her biri için Tablo 24’te verilen kombinasyonlar göz önünde bulundurularak arıza simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

Tablo 24. Test verisi kombinasyonları

Arızanın Oluştuğu Hat	Arıza Türü	Kapasite Konumları	Arıza Empedansı	Arıza Noktası
Kayabaşı-Kurşunlu	3P	Sadece SC-1	0 ohm	%0,1
Kayabaşı-Bağlum	2P	Sadece SC-2	10 ohm	%2
Kayabaşı-Deçeko	1PE	Sadece SC-3		%4
Kayabaşı-Altınkaya	2PE	SC-1 ve SC-2		%6
Kayabaşı-Çarşamba		SC-1 ve SC-3		%8
Kayabaşı-Samsun		SC-2 ve SC-3		%12
		Hepsi Devrede		%23
		Hepsi Devredışı		%53
				%77
				%88
				%92
				%94
				%96
				%98
				%99,9

Kayabaşı barası için uyarlanan AHB algoritması Tablo 24’te verilen kombinasyonlar ile oluşturulan 5760 test verisi ile sınanmış olup algoritmanın arızalı hattı hatasız bir şekilde belirlediği gözlemlenmiştir.

2.7.2. Yönetim Rölesi Devrede Değil İken Durum İncelemeleri

Geliştirilen yönetim rölesinin etkinliğini incelemek için öncelikle yönetim rölesi devrede değil iken durum incelemeleri yapılmıştır.

Kayabaşı barasına bağlı iletim hatları her iki başlarında bulunan mesafe röleleri ile korunmaktadır. Yönetim rölesi devrede değil iken yapılacak kısa devre analizleri için bu mesafe rölelerinin zone ayarları ve hatların empedans değerleri tablo 25 ile tablo 30 arasında verilmiştir.

Tablo 25. Kayabaşı-Kurşunlu hattının mesafe rölesi zone ayarları

Kayabaşı-Kurşunlu Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
57,8163	85,0252	5,0136	57,5985
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	49,14	85,03
2	120	69,38	85,03
3	150	86,72	85,03

Kurşunlu-Kayabaşı Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
57,8163	85,0252	5,0136	57,5985
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	49,14	85,03
2	120	69,38	85,03
3	150	86,72	85,03

Tablo 26. Kayabaşı-Bağlum hattının mesafe rölesi zone ayarları

Kayabaşı-Bağlum Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
70,6339	85,0252	6,1252	70,3678
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	60,04	85,03
2	120	84,76	85,03
3	150	105,95	85,03

Tablo 26'nın devamı

Bağlum-Kayabaşı Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
70,6339	85,0252	6,1252	70,3678
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	60,04	85,03
2	120	84,76	85,03
3	150	105,95	85,03

Tablo 27. Kayabaşı-Deçeko hattının mesafe rölesi zone ayarları

Kayabaşı-Deçeko Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
44,9098	85,0252	3,8944	44,7407
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	38,17	85,03
2	120	53,89	85,03
3	150	67,36	85,03

Deçeko-Kayabaşı Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
44,9098	85,0252	3,8944	44,7407
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	38,17	85,03
2	120	53,89	85,03
3	150	67,36	85,03

Tablo 28. Kayabaşı-Altinkaya hattının mesafe rölesi zone ayarları

Kayabaşı-Altinkaya Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
32,9828	83,7959	3,5644	32,7896
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	28,03	83,80
2	120	39,58	83,80
3	150	49,47	83,80

Tablo 28'in devamı

Altınkaya-Kayabaşı Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
32,9828	83,7959	3,5644	32,7896
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	28,03	83,80
2	120	39,58	83,80
3	150	49,47	83,80

Tablo 29. Kayabaşı-Çarşamba hattının mesafe rölesi zone ayarları

Kayabaşı-Çarşamba Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
40,5234	83,7959	4,3793	40,2860
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	34,44	83,80
2	120	48,63	83,80
3	150	60,78	83,80

Çarşamba-Kayabaşı Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
40,5234	83,7959	4,3793	40,2860
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	34,44	83,80
2	120	48,63	83,80
3	150	60,78	83,80

Tablo 30. Kayabaşı-Samsun hattının mesafe rölesi zone ayarları

Kayabaşı-Samsun Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
38,9622	86,1731	2,6004	38,8753
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	33,12	86,17
2	120	46,75	86,17
3	150	58,44	86,17

Tablo 30'un devamı

Samsun-Kayabaşı Mesafe Rölesi			
Hat Parametreleri			
Z₁	Açı	R₁	X₁
38,9622	86,1731	2,6004	38,8753
Zone	% Hat	Z	Açı
1	85	33,12	86,17
2	120	46,75	86,17
3	150	58,44	86,17

Yönetim rölesi devrede değil iken Kayabaşı barasına bağlı seri kapasitörlerin etkisi ile mesafe rölelerinin operasyonlarını gözlemlemek üzere kısa devre analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kısa devre analizleri;

- Kayabaşı barasına bağlı ve seri kapasitör bulunan Kayabaşı-Deçeko hattında Kurşunlu, Bağlum ve Deçeko hatlarında bulunan toplam 3 kapasitörün devrede olup olmama kombinasyonlarını içeren tüm durumlar için 8,
- Kayabaşı barasına bağlı ve seri kapasitör bulunmayan Kayabaşı-Samsun hattı için 1,
- Kayabaşı barasına bağlı olmayan Kurşunlu-Boyabat hattı için 1

olmak üzere 10 farklı analizdir. Her kısa devre analizinde ilgili hattın %1'i, %10'u, %50'si, %90'ı ve %99'unda 3 faz arıza simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

2.7.2.1. Kısa Devre Analizi 1

İlk kısa devre analizi Kayabaşı-Deçeko hattında Kayabaşı barasına bağlı seri kapasitörlerin tümü devre dışı iken gerçekleştirilmiştir. Kısa devre analizinin sonuçları tablo 31’de verilmiştir.

Kısa devre arıza simülasyonları Kayabaşı-Deçeko hattında gerçekleştirildiği için sadece ilgili hattın mesafe röleleri açma yaptırmalı diğer hatların mesafe röleleri ise bir işlem gerçekleştirmemelidir.

Tablo 31 incelendiğinde Kayabaşı-Deçeko hattının 5 farklı noktasında gerçekleştirilen arıza simülasyonları için sadece ilgili hattın mesafe röleleri açma yaptırmış olup diğer hatların mesafe röleleri açma yaptırmamıştır. Yani Kurşunlu, Bağlum ve Deçeko hatlarında bulunan seri kapasitörler devre dışında iken tüm mesafe röleleri hatasız çalışmaktadır.

Tablo 31. Kapasitörler devre dışı iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler

Kayabaşı-Deçeko Hattı 3 Faz Arızası (Tüm Kapasitörler Devre Dışı)					
Mesafe Röleleri	1%	10%	50%	90%	99%
Kayabaşı-Kurşunlu	-	-	-	-	-
Kurşunlu-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Bağlum	-	-	-	-	-
Bağlum-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Deçeko	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
Deçeko-Kayabaşı	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
Kayabaşı-Altinkaya	-	-	-	-	-
Altinkaya-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Çarşamba	-	-	-	-	-
Çarşamba-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Samsun	-	-	-	-	-
Samsun-Kayabaşı	-	-	-	-	-

2.7.2.2. Kısa Devre Analizi 2

İkinci kısa devre analizi Kayabaşı-Deçeko hattında Kayabaşı barasına bağlı seri kapasitörlerin tümü devrede iken gerçekleştirilmiştir. Kısa devre analizinin sonuçları tablo 32’de verilmiştir.

Tablo 32 incelendiğinde Kayabaşı-Deçeko hattının %1’inde gerçekleştirilen arıza simülasyonunda açmaması gereken Kayabaşı-Kurşunlu, Kayabaşı-Bağlum, Bağlum-Kayabaşı, Kayabaşı-Altinkaya, Kayabaşı-Çarşamba ve Kayabaşı-Samsun röleleri açma yaparak, açması gereken Kayabaşı-Deçeko rölesi açma yaptırmayarak hatalı çalışmışlardır. Hattın %10’unda gerçekleştirilen arıza simülasyonunda açmaması gereken Kayabaşı-Kurşunlu, Kurşunlu-Kayabaşı, Kayabaşı-Bağlum, Bağlum-Kayabaşı, Kayabaşı-Altinkaya, Kayabaşı-Çarşamba ve Samsun-Kayabaşı röleleri açma yaparak, açması gereken Kayabaşı-Deçeko rölesi açma yaptırmayarak hatalı çalışmışlardır.

Tablo 32. Tüm kapasitörler devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler

Kayabaşı-Deçeko Hattı 3 Faz Arızası (Tüm Kapasitörler Devrede)					
Mesafe Röleleri	1%	10%	50%	90%	99%
Kayabaşı-Kurşunlu	Açma	Açma	-	-	-
Kurşunlu-Kayabaşı	-	Açma	-	-	-
Kayabaşı-Bağlum	Açma	Açma	-	-	-
Bağlum-Kayabaşı	Açma	Açma	-	-	-
Kayabaşı-Deçeko	Açmama	Açmama	Açma	Açma	Açma
Deçeko-Kayabaşı	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
Kayabaşı-Altinkaya	Açma	Açma	-	-	-
Altinkaya-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Çarşamba	Açma	Açma	-	-	-
Çarşamba-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Samsun	Açma	-	-	-	-
Samsun-Kayabaşı	-	Açma	-	-	-

2.7.2.3. Kısa Devre Analizi 3

Üçüncü kısa devre analizi Kayabaşı-Deçeko hattında Kayabaşı barasına bağlı Kurşunlu ve Bağlum kapasitörleri devrede iken gerçekleştirilmiştir. Kısa devre analizinin sonuçları tablo 33'te verilmiştir.

Kısa devre arıza simülasyonları Kayabaşı-Deçeko hattında gerçekleştirildiği için sadece ilgili hattın mesafe röleleri açma yaptırmalı diğer hatların mesafe röleleri ise bir operasyon gerçekleştirilmemelidir. Tablo 33 incelendiğinde durumun böyle olmadığı görülmektedir. Kayabaşı-Deçeko hattının %1'inde gerçekleştirilen arıza simülasyonunda açmaması gereken Kurşunlu-Kayabaşı rölesi açma yaparak hatalı çalışmıştır. Bu durum haricinde hattın 5 farklı noktasında gerçekleştirilen arıza simülasyonları için sadece ilgili hattın mesafe röleleri açma yaptırmış olup diğer hatların mesafe röleleri açma yaptırmamıştır.

Tablo 33. Kurşunlu ve Bağlum kapasitörleri devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler

Kayabaşı-Deçeko Hattı 3 Faz Arızası (Kurşunlu ve Bağlum Kapasitörleri Devrede)					
Mesafe Röleleri	1%	10%	50%	90%	99%
Kayabaşı-Kurşunlu	-	-	-	-	-
Kurşunlu-Kayabaşı	Açma	-	-	-	-
Kayabaşı-Bağlum	-	-	-	-	-
Bağlum-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Deçeko	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
Deçeko-Kayabaşı	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
Kayabaşı-Altinkaya	-	-	-	-	-
Altinkaya-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Çarşamba	-	-	-	-	-
Çarşamba-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Samsun	-	-	-	-	-
Samsun-Kayabaşı	-	-	-	-	-

2.7.2.4. Kısa Devre Analizi 4

Dördüncü kısa devre analizi Kayabaşı-Deçeko hattında Kayabaşı barasına bağlı Kurşunlu ve Deçeko kapasitörleri devrede iken gerçekleştirilmiştir. Kısa devre analizinin sonuçları tablo 34’te verilmiştir.

Tablo 34 incelendiğinde Kayabaşı-Deçeko hattının %1’inde gerçekleştirilen arıza simülasyonunda açmaması gereken Kayabaşı-Kurşunlu, Kayabaşı-Bağlum, Bağlum-Kayabaşı, Kayabaşı-Altinkaya, Kayabaşı-Çarşamba ve Kayabaşı-Samsun röleleri açma yaparak, açması gereken Kayabaşı-Deçeko rölesi açma yaptırmayarak hatalı çalışmışlardır. Hattın %10’unda gerçekleştirilen arıza simülasyonunda açmaması gereken Kayabaşı-Kurşunlu, Kurşunlu-Kayabaşı, Kayabaşı-Bağlum, Bağlum-Kayabaşı, Kayabaşı-Altinkaya, Kayabaşı-Çarşamba ve Samsun-Kayabaşı röleleri açma yaparak, açması gereken Kayabaşı-Deçeko rölesi açma yaptırmayarak hatalı çalışmışlardır.

Tablo 34. Kurşunlu ve Deçeko kapasitörleri devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler

Kayabaşı-Deçeko Hattı 3 Faz Arızası (Kurşunlu ve Deçeko Kapasitörleri Devrede)					
Mesafe Röleleri	1%	10%	50%	90%	99%
Kayabaşı-Kurşunlu	Açma	Açma	-	-	-
Kurşunlu-Kayabaşı	-	Açma	-	-	-
Kayabaşı-Bağlum	Açma	Açma	-	-	-
Bağlum-Kayabaşı	Açma	Açma	-	-	-
Kayabaşı-Deçeko	Açmama	Açmama	Açma	Açma	Açma
Deçeko-Kayabaşı	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
Kayabaşı-Altinkaya	Açma	Açma	-	-	-
Altinkaya-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Çarşamba	Açma	Açma	-	-	-
Çarşamba-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Samsun	Açma	-	-	-	-
Samsun-Kayabaşı	-	Açma	-	-	-

2.7.2.5. Kısa Devre Analizi 5

Beşinci kısa devre analizi Kayabaşı-Deçeko hattında Kayabaşı barasına bağlı Bağlum ve Deçeko kapasitörleri devrede iken gerçekleştirilmiştir. Kısa devre analizinin sonuçları tablo 35’te verilmiştir.

Tablo 35 incelendiğinde Kayabaşı-Deçeko hattının %1’inde gerçekleştirilen arıza simülasyonunda açmaması gereken Kayabaşı-Kurşunlu, Kayabaşı-Bağlum, Bağlum-Kayabaşı, Kayabaşı-Altinkaya, Kayabaşı-Çarşamba ve Kayabaşı-Samsun röleleri açma yaparak, açması gereken Kayabaşı-Deçeko rölesi açma yaptırmayarak hatalı çalışmışlardır. Hattın %10’unda gerçekleştirilen arıza simülasyonunda açmaması gereken Kayabaşı-Kurşunlu, Kurşunlu-Kayabaşı, Kayabaşı-Bağlum, Bağlum-Kayabaşı, Kayabaşı-Altinkaya, Kayabaşı-Çarşamba ve Samsun-Kayabaşı röleleri açma yaparak, açması gereken Kayabaşı-Deçeko rölesi açma yaptırmayarak hatalı çalışmışlardır.

Tablo 35. Bağlum ve Deçeko kapasitörleri devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler

Kayabaşı-Deçeko Hattı 3 Faz Arızası (Bağlum ve Deçeko Kapasitörleri Devrede)					
Mesafe Röleleri	1%	10%	50%	90%	99%
Kayabaşı-Kurşunlu	Açma	Açma	-	-	-
Kurşunlu-Kayabaşı	-	Açma	-	-	-
Kayabaşı-Bağlum	Açma	Açma	-	-	-
Bağlum-Kayabaşı	Açma	Açma	-	-	-
Kayabaşı-Deçeko	Açmama	Açmama	Açma	Açma	Açma
Deçeko-Kayabaşı	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
Kayabaşı-Altinkaya	Açma	Açma	-	-	-
Altinkaya-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Çarşamba	Açma	Açma	-	-	-
Çarşamba-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Samsun	Açma	-	-	-	-
Samsun-Kayabaşı	-	Açma	-	-	-

2.7.2.6. Kısa Devre Analizi 6

Altıncı kısa devre analizi Kayabaşı-Deçeko hattında sadece Kurşunlu kapasitörü devrede iken gerçekleştirilmiştir. Kısa devre analizinin sonuçları tablo 36'da verilmiştir.

Kısa devre arıza simülasyonları Kayabaşı-Deçeko hattında gerçekleştirildiği için sadece ilgili hattın mesafe röleleri açma yaptırmalı diğer hatların mesafe röleleri ise bir operasyon gerçekleştirilmemelidir. Tablo 36 incelendiğinde durumun böyle olmadığı görülmektedir. Kayabaşı-Deçeko hattının %1'inde gerçekleştirilen arıza simülasyonunda açmaması gereken Kurşunlu-Kayabaşı rölesi açma yaparak hatalı çalışmıştır. Bu durum haricinde hattın 5 farklı noktasında gerçekleştirilen arıza simülasyonları için sadece ilgili hattın mesafe röleleri açma yaptırmış olup diğer hatların mesafe röleleri açma yaptırmamıştır.

Tablo 36. Sadece Kurşunlu kapasitörü devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler

Kayabaşı-Deçeko Hattı 3 Faz Arızası (Sadece Kurşunlu Kapasitörü Devrede)					
Mesafe Röleleri	1%	10%	50%	90%	99%
Kayabaşı-Kurşunlu	-	-	-	-	-
Kurşunlu-Kayabaşı	Açma	-	-	-	-
Kayabaşı-Bağlum	-	-	-	-	-
Bağlum-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Deçeko	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
Deçeko-Kayabaşı	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
Kayabaşı-Altinkaya	-	-	-	-	-
Altinkaya-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Çarşamba	-	-	-	-	-
Çarşamba-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Samsun	-	-	-	-	-
Samsun-Kayabaşı	-	-	-	-	-

2.7.2.7. Kısa Devre Analizi 7

Yedinci kısa devre analizi Kayabaşı-Deçeko hattında sadece Bağlum kapasitörü devrede iken gerçekleştirilmiştir. Kısa devre analizinin sonuçları tablo 37’de verilmiştir.

Kısa devre arıza simülasyonları Kayabaşı-Deçeko hattında gerçekleştirildiği için sadece ilgili hattın mesafe röleleri açma yaptırmalı diğer hatların mesafe röleleri ise bir operasyon gerçekleştirilmemelidir.

Tablo 37 incelendiğinde Kayabaşı-Deçeko hattının 5 farklı noktasında gerçekleştirilen arıza simülasyonları için sadece ilgili hattın mesafe röleleri açma yaptırmış olup diğer hatların mesafe röleleri açma yaptırmamıştır. Yani sadece Bağlum kapasitörü devrede iken tüm mesafe röleleri hatasız çalışmaktadır.

Tablo 37. Sadece Bağlum kapasitörü devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler

Kayabaşı-Deçeko Hattı 3 Faz Arızası (Sadece Bağlum Kapasitörü Devrede)					
Mesafe Röleleri	1%	10%	50%	90%	99%
Kayabaşı-Kurşunlu	-	-	-	-	-
Kurşunlu-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Bağlum	-	-	-	-	-
Bağlum-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Deçeko	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
Deçeko-Kayabaşı	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
Kayabaşı-Altinkaya	-	-	-	-	-
Altinkaya-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Çarşamba	-	-	-	-	-
Çarşamba-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Samsun	-	-	-	-	-
Samsun-Kayabaşı	-	-	-	-	-

2.7.2.8. Kısa Devre Analizi 8

Sekizinci kısa devre analizi Kayabaşı-Deçeko hattında sadece Deçeko kapasitörü devrede iken gerçekleştirilmiştir. Kısa devre analizinin sonuçları tablo 38’de verilmiştir.

Tablo 38 incelendiğinde Kayabaşı-Deçeko hattının %1’inde gerçekleştirilen arıza simülasyonunda açmaması gereken Kayabaşı-Kurşunlu, Kayabaşı-Bağlum, Bağlum-Kayabaşı, Kayabaşı-Altinkaya, Kayabaşı-Çarşamba ve Kayabaşı-Samsun röleleri açma yaparak, açması gereken Kayabaşı-Deçeko rölesi açma yaptırmayarak hatalı çalışmışlardır. Hattın %10’unda gerçekleştirilen arıza simülasyonunda açmaması gereken Kayabaşı-Kurşunlu, Kurşunlu-Kayabaşı, Kayabaşı-Bağlum, Bağlum-Kayabaşı, Kayabaşı-Altinkaya, Kayabaşı-Çarşamba ve Samsun-Kayabaşı röleleri açma yaparak, açması gereken Kayabaşı-Deçeko rölesi açma yaptırmayarak hatalı çalışmışlardır.

Tablo 38. Sadece Deçeko kapasitörü devrede iken arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler

Kayabaşı-Deçeko Hattı 3 Faz Arızası (Sadece Deçeko Kapasitörü Devrede)					
Mesafe Röleleri	1%	10%	50%	90%	99%
Kayabaşı-Kurşunlu	Açma	Açma	-	-	-
Kurşunlu-Kayabaşı	-	Açma	-	-	-
Kayabaşı-Bağlum	Açma	Açma	-	-	-
Bağlum-Kayabaşı	Açma	Açma	-	-	-
Kayabaşı-Deçeko	Açmama	Açmama	Açma	Açma	Açma
Deçeko-Kayabaşı	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
Kayabaşı-Altinkaya	Açma	Açma	-	-	-
Altinkaya-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Çarşamba	Açma	-	-	-	-
Çarşamba-Kayabaşı	-	Açma	-	-	-
Kayabaşı-Samsun	Açma	-	-	-	-
Samsun-Kayabaşı	-	Açma	-	-	-

2.7.2.9. Kısa Devre Analizi 9

Dokuzuncu kısa devre analizi Kayabaşı-Samsun hattı üzerinde ve Kayabaşı barasına bağlı tüm kapasitörler devrede iken gerçekleştirilmiştir. Kısa devre analizinin sonuçları tablo 39'da verilmiştir.

Kısa devre arıza simülasyonları Kayabaşı-Samsun hattında gerçekleştirildiği için sadece ilgili hattın mesafe röleleri açma yaptırmalı diğer hatların mesafe röleleri ise bir operasyon gerçekleştirilmemelidir. Tablo 39 incelendiğinde durumun böyle olmadığı görülmektedir. Kayabaşı-Samsun hattının %1'inde gerçekleştirilen arıza simülasyonunda açmaması gereken Kurşunlu-Kayabaşı ve Deçeko-Kayabaşı röleleri açma yaparak hatalı çalışmıştır. Bu iki durum haricinde hattın 5 farklı noktasında gerçekleştirilen arıza simülasyonları için sadece ilgili hattın mesafe röleleri açma yaptırmış olup diğer hatların mesafe röleleri açma yaptırmamıştır.

Tablo 39. Tüm kapasitörler devrede iken Kayabaşı-Samsun hattında arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler

Kayabaşı-Samsun Hattı 3 Faz Arızası (Tüm Kapasitörler Devrede)					
Mesafe Röleleri	1%	10%	50%	90%	99%
Kayabaşı-Kurşunlu	-	-	-	-	-
Kurşunlu-Kayabaşı	Açma	-	-	-	-
Kayabaşı-Bağlum	-	-	-	-	-
Bağlum-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Deçeko	-	-	-	-	-
Deçeko-Kayabaşı	Açma	-	-	-	-
Kayabaşı-Altinkaya	-	-	-	-	-
Altinkaya-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Çarşamba	-	-	-	-	-
Çarşamba-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Samsun	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma
Samsun-Kayabaşı	Açma	Açma	Açma	Açma	Açma

2.7.2.10. Kısa Devre Analizi 10

Onuncu kısa devre analizi Kurşunlu-Boyabat hattı üzerinde ve Kayabaşı barasına bağlı tüm kapasitörler devrede iken gerçekleştirilmiştir. Kısa devre analizinin sonuçları tablo 40'ta verilmiştir.

Kısa devre arıza simülasyonları Kurşunlu-Boyabat hattında gerçekleştirildiği için sadece ilgili hattın mesafe röleleri açma yaptırmalı diğer hatların mesafe röleleri ise bir operasyon gerçekleştirilmemelidir. Tablo 40 incelendiğinde durumun böyle olmadığı görülmektedir. Kurşunlu-Boyabat hattının %1'inde gerçekleştirilen arıza simülasyonunda açmaması gereken Kayabaşı-Kurşunlu rölesi açma yaparak hatalı çalışmıştır. Bu durum haricinde hattın 5 farklı noktasında gerçekleştirilen arıza simülasyonları için sadece ilgili hattın mesafe röleleri açma yaptırmış olup diğer hatların mesafe röleleri açma yaptırmamıştır.

Tablo 40. Tüm kapasitörler devrede iken Kurşunlu-Boyabat hattında arıza oluşması durumunda mesafe rölelerinin yaptığı işlemler

Kurşunlu-Boyabat Hattı 3 Faz Arızası (Tüm Kapasitörler Devrede)					
Mesafe Röleleri	1%	10%	50%	90%	99%
Kayabaşı-Kurşunlu	Açma	-	-	-	-
Kurşunlu-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Bağlum	-	-	-	-	-
Bağlum-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Deçeko	-	-	-	-	-
Deçeko-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Altinkaya	-	-	-	-	-
Altinkaya-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Çarşamba	-	-	-	-	-
Çarşamba-Kayabaşı	-	-	-	-	-
Kayabaşı-Samsun	-	-	-	-	-
Samsun-Kayabaşı	-	-	-	-	-

2.7.3. Yönetim Rölesi Devrede İken Durum İncelemeleri

Yönetim rölesi devrede iken Kayabaşı barasına bağlı seri kapasitörlerin etkisi ile mesafe rölelerinin çalışmalarını gözlemlemek üzere şebekenin çeşitli hatlarında 3 faz arıza simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

Tablo 41. Kayabaşı barasına bağlı hatların açma yapan mesafe röleleri

Arızalı Hat	1%	10%	50%	90%	99%
Kayabaşı-Deçeko (Tüm Kapasitörler Devrede)	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7
Kayabaşı-Deçeko (Tüm Kapasitörler Devre Dışı)	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7
Kayabaşı-Deçeko (Kurşunlu ve Bağlum Devrede)	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7
Kayabaşı-Deçeko (Kurşunlu ve Deçeko Devrede)	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7
Kayabaşı-Deçeko (Bağlum ve Deçeko Devrede)	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7
Kayabaşı-Deçeko (Sadece Kurşunlu Devrede)	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7
Kayabaşı-Deçeko (Sadece Bağlum Devrede)	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7
Kayabaşı-Deçeko (Sadece Deçeko Devrede)	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7	R7-3 R3-7
Kayabaşı-Samsun (Tüm Kapasitörler Devrede)	R7-6 R6-7	R7-6 R6-7	R7-6 R6-7	R7-6 R6-7	R7-6 R6-7
Kurşunlu-Boyabat (Tüm Kapasitörler Devrede)	-	-	-	-	-

Yapılan kısa devre simülasyonları Kayabaşı barasına bağlı ve seri kapasitör bulunan Kayabaşı-Deçeko hattında Kurşunlu, Bağlum ve Deçeko hatlarında bulunan toplam 3 kapasitörün devrede olup olmama kombinasyonlarını içeren tüm durumlar için 8, Kayabaşı barasına bağlı ve seri kapasitör bulunmayan Kayabaşı-Samsun hattı için 1, Kayabaşı barasına bağlı olmayan Kurşunlu-Boyabat hattı için 1 olmak üzere 10 farklı arıza

simülasyonudur. Her kısa devre simülasyonu ilgili hattın %1'i, %10'u, %50'si, %90'ı ve %99'unda arıza türü 3 faz arızası olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tüm arıza simülasyonları için hiçbir mesafe rölesi hatalı bir işlem yapmamıştır. Kayabaşı barasına bağlı hatların mesafe rölelerinin operasyonları tablo 41'de görülmektedir.



3. SONUÇLAR

İletim hatlarında bulunan seri kapasitörler mesafe rölelerinin çalışması üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Mesafe röleleri seri kapasitörün hat üzerindeki konumuna ve kısa devre arızasının hat üzerinde meydana geldiği yere bağlı olarak görmesi gereken bir arızayı görmeyebilir ya da görmemesi gereken bir arızayı görebilir. Bu durumda mesafe rölelerinin yanlış açma ve açmama problemleri ortaya çıkar.

Bu çalışma kapsamında mesafe rölelerinin yaşadığı problemlere çözüm getirmek adına “Yönetim Rölesi” geliştirilmiştir. Seri kapasitörlü hatta komşu olan hatların mesafe rölelerinin birinci bölge açma süreleri yönetim rölesinin işlem süresine set edilmiş ve arıza simülasyonları gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar çalışma neticesinde ortaya konmuştur. Yönetim rölesi mesafe rölelerinin yerini alan bir koruma rölesi değildir. Mevcut mesafe rölelerine yönlendirme yaparak yardımcı olan bir cihazdır. Seri kapasitör etkisi ile mesafe rölelerinin arızalı hattı belirleyememe durumunda arızalı hattı belirler ve ürettiği açma blokaj sinyallerini mesafe rölelerine uygulayarak yanlış açma ve açmama problemlerinin önüne geçer. Rölenin haberleşmeden kaynaklı bir gecikme yaşaması durumunda tüm mesafe röleleri yönetim rölesinin işlem süresi olarak öngörülen süre kadarlık bir gecikme ile çalışır ve geleneksel prosedürlerini yerine getirir.

Geliştirilen yönetim rölesi birinci bölgede ani açması gereken mesafe rölelerinde 100 msn’lik gecikmeye neden olmasına karşın yanlış açma ve açmama problemini ortadan kaldırmıştır.

4. KAYNAKLAR

1. Schlabbach, J., Short Circuit Currents, The Institution of Engineering and Technology, London 2008.
2. Saif, S., Ali, H., ve Alam, F., Short Circuit Current Calculation and Prevention in High Voltage Power Nets, Lisans Tezi, 2014.
3. Saadat, H., Power System Analysis, The McGraw-Hill Companies, New York 1999.
4. Anderson, P. M., Power System Protection, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken 1999.
5. Samuk, D., Seri Kapasitör İçeren İletim Hatlarında Senkro-Fazör Ölçüm Tabanlı Koruma Algoritması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
6. Horowitz, S. H. ve Phadke, A. G., Power System Relaying, John Wiley & Sons Ltd., Chichester 2014.
7. Joshi, H. M. ve Kothari, N. H., A Review on Series Compensation of Transmission Lines and Its Impact on Performance of Transmission Lines, International Journal of Engineering Research and Development, (2014) 72-76.
8. Pasic, J., Series Compensated Lines Fast Detection of Energy Flow Direction, 18th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, 2011, 1-4.
9. Vyas, B., Maheshwari, R. P., ve Das, B., Protection of Series Compensated Transmission Line: Issues and State of Art, Electric Power Systems Research, 2014, 93-108.
10. Anderson, P. M., Agraval, B. L., ve Ness, J. E., Subsynchronous Resonance in Power Systems, New York 1999.
11. Anderson, P. M., Henville, C., Rifaat, R., Johnson, B., ve Meliopoulo, S., Analysis of Distance Protection, New Jersey 2022.
12. Altuve, H. J., Mooney, J. B., ve Alexander, G. E., Advances in Series-Compensated Line Protection, 62nd Annual Conference for Protective Relay Engineers, 2009, 263-275.
13. Hamann, J. R., Miske, S. A., Johnson, I. B., ve Courts, A. L., A Zinc Oxide Varistor Protective System for Series Capacitors, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 3 (1981) 929-937.


14. Andersson, G., Donalek, P., Farmer, R., Hatziargyriou, N., Kamwa, I., Kundur, P., Martins, N., Paserba, J., Pourbeik, P., Sanchez, J., Schulz, R., Stankovic, A., Taylor, C., ve Vittal, V., Causes of the 2003 Major Grid Blackouts in North America and Europe, and Recommended Means to Improve System Dynamic Performance, IEEE Transactions on Power Systems, 20,4 (2005) 1922-1928.
15. Miller, J., Brunet-Watson, M., Leighfield, J., ve PSC North America, Review of Series Compensation for Transmission Line, USA 2014.
16. Zellagui, M. ve Chaghi, A., Impact of Series Compensation (SC) on the MHO Distance Relay in Algerian 220kV Transmission Line, Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering, 2,6 (2011) 181-189.
17. Gumus, E. T., Meric, S., Turan, M., ve Yalcin, M. A., Yük Barası Ölçümlerine Dayalı Gerilim Kararlılığı Değerlendirmesi, Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8,4 (2020) 757-770.
18. Uslu, O., Türkiye Elektrik İletim Şebekesinin Trakya Bölümünün Kontrollü Çalışma Bölgelerine Ayrılmasının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
19. Gencer, Ö. Ö., Seri Kompanzasyon Sistemlerinin Geçici Hal Kararlılığına Etkilerinin Örnek Bir Sistem Üzerinde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
20. Doğan, M., Seri Kompanzasyonun Kritik Temizleme Açısına Etkileri, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1 (2003) 221-223.
21. Atabek, H., Enerji Sistemlerinde Yük Artışlarının Geçici Hal Kararlılığına Etkileri, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998.
22. Kumar, B. S. A., Parthasarathy, K., Prabhakara, F. S., ve Khincha, H. P., Effectiveness of Series Capacitors in Long Distance Transmission Lines, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 89,5 (1970) 941-951.
23. Matele, M., Enhancing of Transmission Capability of Power Corridors by Means of Series Compensation, In Power Tech Conference, 1999, 1-7.
24. Sheth, A., Kotwal, C. D., ve Pujara, S., Optimal Placement of TCSC for Improvement of Static Voltage Stability, 5th Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE), 2015, 1-6.
25. Biabani, M. A. K. A., Akram, M., ve Shareef, I. A., Power System Stability Enhancement Using Static Synchronous Series Compensator, International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPEs), 2016, 472-481.

26. Elagab, A. M. A. E. ve El-Amin, I. M., Improving The Voltage Profile of Transmission Line Under Different Loading Conditions, International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE), 2017, 1-7.
27. Aslam, W., Xu, Y., Siddique, A., ve Albatsh, F. M., Implementation of Series Facts Devices SSSC and TCSC to Improve Power System Stability, 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2018, 2291-2297.
28. Barua, P. and Quamruzzaman, M., Comparison Between TCSC, SVC and TCSC, STATCOM Based Compensation on East-West Interconnectors of Bangladesh Power System, 4th International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT), 2018, 5-8.
29. Ananda, M. H. ve Shivakumar, M. R., Effective Utilization of Transmission Line Capacity in a Meshed Network with Series Capacitor Upto Its Thermal Limit, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 8,6 (2020) 9-13.
30. Nekoubin, A., Simulation of Series Compensated Transmission Lines Protected with MOV, World Academy of Science, Engineering and Technology, 58 (2011) 1002-1006.
31. Altuve, H. J., Mooney, J. B., ve Alexander, G. E., Advances in Series-Compensated Line Protection, 62nd Annual Conference for Protective Relay Engineers, 2009, 263-275.
32. Biswas, S. ve Nayak, P. K., State-of-the-art on the Protection of FACTS Compensated High-voltage Transmission Lines: A Review, High Voltage, 3,1 (2018) 21-30.
33. Bakie, E., Westhoff, C., Fischer, N., ve Bell, J., Voltage and Current Inversion Challenges When Protecting Series-Compensated Lines—A Case Study, 69th Annual Conference for Protective Relay Engineers (CPRE), 2016, 1-14.
34. Jamali, S., Kazemi, A., ve Shateri, H., Distance Relay Over-Reaching Due to Installation of Tcsc on next Line, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2006, 1954-1959.
35. Magagula, X. G., Nicolae, D. V., ve Yusuff, A. A., The Performance of Distance Protection Relay on Series Compensated Line under Fault Conditions, IEEE AFRICON, 2015, 1-6.
36. Capar, A. ve Arsoy, A. B., A Performance Oriented Impedance Based Fault Location Algorithm for Series Compensated Transmission Lines, Electrical Power and Energy Systems, 71 (2015) 209-214.

37. Tonape, P. M., Thorat, A. R., ve Tonape, M. M., Modified Design of Distance Relay for Series Compensated Transmission Line, International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2016, 1-6.
38. Achary, K. S. K. ve Raja, P., Adaptive Design of Distance Relay for Series Compensated Transmission Line, 1st International Conference on Power Engineering, Computing and Control, PECCON, 2017, 527-534.
39. Dubey, R. ve Panigrahi, B. K., Koopman Analysis Based Wide-Area Back-Up Protection and Faulted Line Identification for Series-Compensated Power Network, IEEE Systems Journal, 12,3 (2018) 2634-2644.
40. Nguyen, D., Wallace, S., ve Zhao, X., Finding Needles in a Haystack: Line Event Detection on Smart Grid Pmu Data Streams, Sixth International Conference on Smart Grids, Green Communications Adnd IT Energy-Aware Technologies, 2016, 42-47.
41. Mukhopadhyay, P., Anumasula, R., Gartia, A., Kumar, C., Seshadri, P., ve Patil, S., Case Study on Fault Analysis Using PMU, Eighteenth National Power Systems Conference (NPSC), 2014, 1-6.
42. Saber, A., PMU-Based Fault Location Method for Three-Terminal Transmission Lines with Outage of One Line Branch, Electric Power Systems Research, 182 (2020).
43. Jarrahi, M. A., Samet, H., ve Ghanbari, T., Fast Current-Only Based Fault Detection Method in Transmission Line, IEEE Systems Journal, 13,2 (2018) 1725-1736.
44. Devi, M. M., Geethanjali, M., ve Devi, A. R., Fault Localization for Transmission Lines with Optimal Phasor Measurement Units, Computers & Electrical Engineering, 70 (2018) 163-178.
45. Gharavi, H. ve Hu, B., Space-Time Approach for Disturbance Detection and Classification, IEEE Transactions on Smart Grid, 9,5 (2017) 5132-5140.
46. Hinge, T. P. ve Dambhare, S. S., Novel Fault Location Algorithm for Transmission Line Using Synchronized Measurements, IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), 2016, 1-6.
47. Naidu, O. D. ve Pradhan, A. K., Model Free Traveling Wave Based Fault Location Method for Series Compensated Transmission Line, IEEE Access, 8 (2020) 193128-193137.
48. Kapoor, G., Tripathi, S., ve Jain, G., Detection of Fault and Identification of Faulty Phase in Series Capacitor Compensated Transmission Line Using Wavelet Transform, IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), 2019, 1-8.

49. Nale, R., Verma, H., ve Biswal, M., An Enhanced Fuzzy Rule Based Protection Scheme for TCSC Compensated Double Circuit Transmission System, International Journal of Modelling and Simulation, 41,2 (2021) 120-130.
50. Gangwar, A. K. ve Shaik, A. G., Detection and Classification of Faults on Transmission Line Using Time-Frequency Approach of Current Transients, IEEMA Engineer Infinite Conference (ETechNxT), 2018, 1-5.
51. Kim, D. I., Chun, T. Y., Yoon, S. H., Lee, G., ve Shin, Y. J., Wavelet-Based Event Detection Method Using PMU Data, IEEE Transactions on Smart Grid, 8,3 (2015) 1154-1162.
52. Abdel-Bary, A. S., Emam, A. M., ve Elghazaly, H. A., A Backup Protection Approach for Multisection Compound Transmission Lines, Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 2016, 129-137.
53. Kumar, C. A. ve Lakshmi, K., Monitoring and Detection of Fault Using Phasor Measurement Units, International Journal of Electrical, Electronics and Mechanical Controls, 3,2 (2014).
54. Konakalla, S. A. R. ve Callafon, R. A., Feature Based Grid Event Classification from Synchrophasor Data, Elsevier Procedia Computer Science, 108 (2017) 1582-1591.
55. Mohanty, S. K., Karn, A., ve Banerjee, S., Decision Tree Supported Distance Relay for Fault Detection and Classification in a Series Compensated Line, IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid and Renewable Energy (PESGRE2020), 2020, 1-6.
56. Kapoor, G., Mishra, A., Shaw, R. N., ve Ajmera, S., Complex Faults Categorization Technique for Series-Compensated Transmission Lines Connected with Wind-Turbines Based on DFWHT, IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON), 2020, 703-708.
57. Kapoor, G., Detection and Classification of Four Phase to Ground Faults in a 138 KV Six Phase Transmission Line Using Hilbert Huang Transform, International Journal of Engineering, Science and Technology, 11,4 (2019) 10-22.
58. Picard, S. D., Adamiak, M. G., ve Madani, V., Fault Location Using PMU Measurements and Wide Area Infrastructure, 68th Annual Conference for Protective Relay Engineers, 2015, 272-277.
59. Rajaraman, P., Sundaravaradan, N. A., Mallikarjuna, B., Jaya, B. R. M., ve Mohanta, D. K., Robust Fault Analysis in Transmission Lines Using Synchrophasor Measurements, Protection and Control of Modern Power Systems, 3,1 (2018) 1-13.
60. Saber, A., Emam, A., ve Elghazaly, H., A Backup Protection Technique for Three-Terminal Multisection Compound Transmission Lines, IEEE Transactions on Smart Grid, 9,6 (2018) 5653-5663.

61. Unde, S. V. ve Dambhare, S. S., PMU Based Fault Location for Double Circuit Transmission Lines in Modal Domain, *IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*, 2016, 1-4.
62. Azizi, S., Sanaye-Pasand, M., ve Paolone, M., Locating Faults on Untransposed, Meshed Transmission Network Using a Limited Number of Synchrophasor Measurements, *IEEE Transactions on Power Systems*, 31,6 (2016) 4462-4472.
63. Lin, Y. H., Liu, C. W., ve Chen, C. S., A New PMU-Based Fault Detection/Location Technique for Transmission Lines with Consideration of Arcing Fault Discrimination, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 19,4 (2004) 1587-1593.
64. Hong, Y. Y. ve Cabatac, M. T. A. M., Fault Detection, Classification, and Location by Static Switch in Microgrids Using Wavelet Transform and Taguchi-Based Artificial Neural Network, *IEEE Systems Journal*, 14,2 (2019) 2725-2735.
65. Swetapadma, A., Mishra, P., Yadav, A., ve Abdelaziz, A. Y., A Non-Unit Protection Scheme for Double Circuit Series Capacitor Compensated Transmission Lines, *Electric Power Systems Research*, 148 (2017) 311-325.
66. Mishra, P. K., Yadav, A., ve Pazoki, M., FDOST-Based Fault Classification Scheme for Fixed Series Compensated Transmission System, *IEEE Systems Journal*, 13,3 (2019) 3316-3325.
67. Swain, K. B. ve Mahato, C. C., A Brief Review on Fault Detection, Classification and Location on Transmission Lines Using PMUs, *International Journal of Management Technology and Engineering*, 8 (2018) 2608-2618.
68. Tejeswara Rao, J. ve Bhalja, B. R., Prevention of Maloperation of Distance Relay under Severe Stressed Conditions for Series Compensated Transmission Line Considering Optimal Placement of Phasor Measurement Units, *IET Generation, Transmission & Distribution*, 14,11 (2020) 2148-2159.
69. Samuk, D. ve Nuroglu, F. M., A New Wide Area-Based Algorithm to Determine Faulted Line in Series-Compensated Grid Using k-Nearest Neighbor (k-NN) Classification Method, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36,2 (2021) 871-882.
70. Han, J., Kamber, M., ve Pei, J., *Data Mining Concepts and Techniques*, University Of Illinois At Urbana-Champaign Micheline Kamber Jian Pei Simon Fraser University, Cambridge 2012.
71. Cover, T. ve Hart, P., Nearest Neighbor Pattern Classification, *IEEE Transactions on Information Theory*, 13,1 (1967) 21-27.
72. Taşçı, E. ve Onan, A., K-En Yakın Komşu Algoritması Parametrelerinin Sınıflandırma Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi, *Akademik Bilişim*, 1,1 (2016) 4-18.

73. Garcia-Villalobos, J., Zamora, I., Marinelli, M., Eguia, P., ve San Martin, J. I., Co-Simulation with DIGSILENT PowerFactory and Matlab: Optimal Integration of Plug-in Electric Vehicles in Distribution Networks, Advanced Smart Grid Functionalities Based on PowerFactory, Springer International Publishing, Loughborough 2018.
 74. Ahmad, I., Kazmi, J. H., Shahzad, M., Palensky, P., ve Gawlik, W., Co-Simulation Framework Based on Power System, AI and Communication Tools for Evaluating Smart Grid Applications, IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT ASIA), 2015, 1-6.
 75. Stifter, M., Andrén, F., Schwalbe, R., ve Tremmel, W., Co-Simulation, Real-Time Simulation and Controller Hardware-in the Loop Applications, PowerFactory Applications for Power System Analysis, Loughborough 2014.
 76. URL-1, <https://www.digsilent.de/en/downloads.html>, PowerFactory Digsilent 21 User Manual, 2021.
- 

ÖZGEÇMİŞ

Emre ELMACI, ilk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2000 senesinde Maltepe Küçükyalı Endüstri Meslek Lisesi Elektrik bölümünden, 2003 senesinde Sakarya Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Elektrik programından, 2007 senesinde Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Bir müddet özel sektörde çalıştıktan sonra 2011 senesinde Gümüşhane Üniversitesi Kelkit Aydın Doğan Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon bölümüne öğretim görevlisi olarak atandı ve aynı sene Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde başladığı yüksek lisans eğitimini 2014 senesinde tamamladı. 2015 senesinde Sinop Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon bölümüne öğretim görevlisi olarak atanmış olup hala aynı yerde görevine devam etmektedir. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.

SCI/SCI-E indekslerine giren dergilerde yayınlanan makaleler

1. Elmaci, E. ve Nuroglu, F.M., Management Relay for Assisting Distance Relays in Series Compensated Transmission Lines, Arabian Journal for Science and Engineering, 48,5 (2023) 6903-6913.

Hakemli konferans/sempozyumların bildiri kitaplarında yer alan yayımlar

1. Elmaci, E. ve Nuroglu, F.M., Seri Kapasitör Etkilerinin Seydişehir 380kV İletim Hatları Üzerinde İncelenmesi, 2. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve Yenilikçi Çalışmalar Sempozyumu (ISSRIS), 2022, 631-638.