T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ İLETİM HATLARINDAKİ YAPISAL DEĞİŞİKLİKLERİN RÖLE KOORDİNASYONU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

ÖZGÜR GÜRSANLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK MAKİNALARI VE GÜÇ ELEKTRONİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. OKTAY ARIKAN

İSTANBUL, 2017

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ İLETİM HATLARINDAKİ YAPISAL DEĞİŞİKLİKLERİN RÖLE KOORDİNASYONU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Özgür GÜRSANLI tarafından hazırlanan tez çalışması 30.03.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Oktay ARIKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Oktay ARIKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Recep YUMURTACI

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. M. Hakan HOCAOĞLU

Gebze Teknik Üniversitesi _____

Bu çalışma, TÜBİTAK ile TEİAŞ arasında yürütülmekte olan İletim Sistemi Çerçeve Programı Projesi kapsamında desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Elektrik enerjisinin kaliteli ve kesintisiz bir şekilde iletimi yapılırken meydana gelebilecek arızaların diğer bölgeleri etkilemeden temizlenebilmesi için seçici ve hassas bir koruma sistemine ihtiyaç vardır. Düzgün bir röle koordinasyonu ile arızaya en yakın rölenin doğru zamanda açması sağlanarak sadece arızalı bölge sistemden ayrılacaktır. Bu sayede, diğer bölgelerin enerjisinde kesinti olmayacaktır. Kaliteli ve kesintisiz enerjinin sağlanması ile tüketim tesislerdeki verim ve ürün kalitesi artacak, arızadan kaynaklanan giderler ve kayıplar azalacaktır.

Yapmış olduğum çalışmalara gerekli her türlü katkıyı sağlayan danışman hocam sayın Yrd.Doç. Dr. Oktay ARIKAN'a, tezin alt yapısının oluşturulmasında bana yardımcı olan mesai arkadaşım Elk. Müh. Hidayet AYDIN'a teşekkür ederim. Ayrıca, tezin her aşamasında bana destek olan sevgili eşime ve değerli aileme çok teşekkür ederim.

Mart, 2017

Özgür GÜRSANLI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ ix

KISALTMA LİSTESİ xi

ŞEKİL LİSTESİ xii

ÇİZELGE LİSTESİ xv

ÖZET xvi

ABSTRACT xviii

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 3
1.3 Hipotez 4

BÖLÜM 2

GÜÇ SİSTEMLERİNDE KORUMA 5

2.1 Güç Sistemlerinde Kullanılan Koruma Rölelerinin Görevleri 5
2.2 Koruma Sisteminden Beklenen Özellikler 6
2.2.1 Güvenilirlik 6
2.2.1.1 Açma Yapmama 7
2.2.1.2 Arıza Durumunda Yanlış Açma 7
2.2.1.3 Gereksiz Açma 7
2.2.2 Seçicilik 7
2.2.3 Hassasiyet 8
2.2.4 Hızlı Çalışma 8
2.2.5 Ekonomiklik 8
2.2.6 Basitlik 8
2.2.7 Yedekli Çalışma 9
2.3 Koruma Sistemi Elemanları 9

2.3.1 Ölçü (Akım ve Gerilim) Transformatörleri 10
2.3.2 Kesiciler 10
2.3.3 Koruma Röleleri 10
2.3.4 Batarya ve Güç Kaynağı 10
2.3.5 Haberleşme Kanalları 10
2.4 Koruma Rölesi Çeşitleri 11
2.5 Koruma Rölesi Tipleri 12
2.5.1 Elektromekanik Röleler 13
2.5.2 Statik Röleler 14
2.5.3 Dijital Röleler 15
2.6 Güç Sisteminde Koruma Uygulamaları 17
2.6.1 Hat Koruması 18
2.6.2 Generatör Koruması 18
2.6.3 Transformatör Koruması 18
2.6.4 Yük Koruması 18

BÖLÜM 3

GÜÇ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN MESAFE KORUMA RÖLELERİ VE ÖZELLİKLERİ 20

3.1 Mesafe Koruma Röleleri 21
3.1.1 Çalışma Prensibi 21
3.1.2 Mesafe Koruma Rölesi Kademeleri 23
3.1.2.1 Kademe 1 23
3.1.2.2 Kademe 2 23
3.1.2.3 Kademe 3 24
3.1.2.4 Geri Kademe 25
3.1.3 Mesafe Rölesi Çeşitleri 26
3.1.3.1 Empedans Mesafe Rölesi 26
3.1.3.2 Mho Mesafe Rölesi 27
3.1.3.3 Mho Gözetimli Reaktans Mesafe Rölesi 27
3.1.3.4 Yönlü Empedans Mesafe Rölesi 28
3.1.3.5 Reaktans Mesafe Rölesi 29
3.1.3.6 Quadrilateral (Dörtgensel) Mesafe Rölesi 30
3.1.4 Sistem Empedansı 31
3.2 Mesafe Koruma Rölesi Koordinasyonu 32
3.2.1 Ana (Birincil) ve Yedek Koruma 32
3.3 Mesafe Rölesinin Çalışmasını Etkileyen Faktörler 33
3.3.1 Arıza Direnci 33
3.3.2 Besleme (Infeed) Etkisi 34
3.3.3 Dallanma (Branchinf-off) Etkisi 35
3.3.4 Yük Aşımı 36
3.4 Mesafe Rölelerinde Polarizasyon Yöntemleri 38
3.4.1 Bellek İşlemi 38
3.4.2 Mesafe Rölelerinde Yön Belirleme (Polarizasyon) 40
3.4.2.1 Kendinden Polarizasyon 41
3.4.2.2 Çapraz Polarizasyon 41
3.4.2.3 Geri Faz polarizasyonu 43

3.4.2.4 İleri Faz Polarizasyonu 43
3.5 Arıza Türünün Belirlenmesi 44
3.6 Başlatma Fonksiyonu (Arıza tespiti) 44
3.6.1 Aşırı Akım Başlatma 45
3.6.2 Düşük Empedans Başlatma (U< ve I>) 46
3.6.3 Açıya Bağlı Düşük Empedans Başlatma (U/I/φ) 48
3.6.4 Empedans Başlatma 49
3.6.5 Düşük Gerilim Başlatma 50
3.7 Aşırı Menzil Mesafe Kademeleri ve Hat Yüklenebilirliği 51
3.7.1 Yüklenebilirliği Etkileyen Kademe Karakteristikleri 51
3.7.2 Bölge Pozisyonlama Çeşitleri 52
3.7.2.1 Mho Karakteristiği Açı Ayarlaması 53
3.7.2.2 Ötelemeli Mho Karakteristik (Offset) 53
3.7.3 Kademe Biçimlendirme Çeşitleri 55
3.7.3.1 Mercek (Lens) Karakteristik 55
3.7.3.2 Dörtgen Karakteristik 55
3.7.3.3 Yük Aşımı Karakteristiği 56
3.8 Aşırı Menzil Mesafe Kademeleri ve Güç Dalgalanmaları 57
3.8.1 Güç Dalgalanması Esnasında Mesafe Rölesi Tarafından Görülen Empedans 57
3.8.2 Güç Dalgalanmalarının Mesafe Rölelerine Etkisi 59
3.9 Mesafe Rölelerinde Rezistif Menzil 60
3.10 Kaynak Empedans Oranı 60
3.11 Mesafe Korumada Hat Uzunluğunun Etkisi 61

BÖLÜM 4

MESAFE KORUMA KADEME HESAPLAMA METODOLOJİSİ VE ALGORİTMA GELİŞTİRME ÇALIŞMASI 63

4.1 Mesafe Koruma Rölesi Kademe Hesaplama Metodolojisi 63
4.1.1 Mesafe Koruma Rölesi Kademe Hesabı 64
4.1.1.1 Genel Bilgiler 64
4.1.1.2 Hesaplamalarda Kullanılan Sistem Bilgileri 65
4.1.1.3 Hat parametrelerinin hesaplanması 66
4.1.1.4 k0 (sıfır sıra düzeltme faktörü) Hesabı 69
4.1.1.5 Ark Direnci (R_{ark}) Hesabı 71
4.1.1.6 Arıza Direnci (R_f) Hesabı 71
4.1.1.7 Hat Empedansı Metodu Kullanılarak Röle Kademe Hesabı 72
4.1.1.8 Görünür Empedans Metodu Kullanılarak Röle Kademe Hesabı 75
4.2 Algoritma Geliştirme Çalışması 81
4.2.1 Hat Empedansı Metodu Algoritma Çalışması 82
4.2.2 Görünür Empedans Metodu Algoritma Çalışması 84

BÖLÜM 5

MODELLEME VE SİMÜLASYON 86

5.1 Hat Empedansı Metodu ile Gerçekleştirilen Analizler 88

5.1.1 Mevcut Topolojiye Göre Röle Koordinasyonu 88
5.1.2 Değişen Topolojiye Göre Röle Koordinasyonu 90
5.1.2.1 İletim Hattının Devre Dışı Kalma Durumu 90
5.1.2.2 Yeni Üretim Merkezinin Eklenmesi Durumu 93
5.2 Görünür Empedans Metodu ile Gerçekleştirilen Analizler 97
5.2.1 Mevcut Topolojiye Göre Röle Koordinasyonu 98
5.2.2 Değişen Topolojiye Göre Röle Koordinasyonu 100
5.2.2.1 İletim Hattının Devre Dışı Kalma Durumu 100
5.2.2.2 Yeni Üretim Merkezinin Eklenmesi Durumu 103
5.3 Hat Empedansı Metodu ile Görünür Empedans Metodunun Karşılaştırılması 107

BÖLÜM 6

SONUÇ ve ÖNERİLER 110

KAYNAKLAR 113

EK-A

MEVCUT TOPOLOJİ HAT EMPEDANSI METODU İÇİN RÖLE KADEME DEĞERLERİ 117

EK-B

İLETİM HATTI DEVRE DIŞI KALMA DURUMU HAT EMPEDANSI METODU İÇİN RÖLE KADEME DEĞERLERİ 119

EK-C

YENİ ÜRETİM MERKEZİ EKLENMESİ DURUMU HAT EMPEDANSI METODU İÇİN RÖLE KADEME DEĞERLERİ 121

EK-D

MEVCUT TOPOLOJİ GÖRÜNÜR EMPEDANS METODU İÇİN RÖLE KADEME DEĞERLERİ 123

EK-E

İLETİM HATTI DEVRE DIŞI KALMA DURUMU GÖRÜNÜR EMPEDANS METODU İÇİN RÖLE KADEME DEĞERLERİ 125

EK-F

YENİ ÜRETİM MERKEZİ EKLENMESİ DURUMU GÖRÜNÜR EMPEDANS METODU İÇİN RÖLE KADEME DEĞERLERİ 127

ÖZGEÇMİŞ 129

SİMGE LİSTESİ

A	Amper
E_s	Kaynak Gerilimi
f	Frekans
Hz	Hertz
I	Akım
I_{Lmax}	Maksimum Yük Akımı
km	Kilometre
K1	Mesafe Koruma Kademe 1
K2	Mesafe Koruma Kademe 2
K3	Mesafe Koruma Kademe 3
K4	Mesafe Koruma Kademe 4
k_{in}	Besleme (infeed) katsayısı
k_z	Dönüştürme Oranı
k_0	Sıfır Sıra Düzeltme Faktörüı
MVA	Megavolt Amper
P	Aktif Güç
R	Direnç (Rezistans)
RES	Rüzgar Enerji Santrali
s	Saniye
t	Zaman
TM	Trafo Merkezi
U	Gerilim
V	Volt

W	Watt
X	Reaktans
Z	Empedans
Z_f	Arıza empedansı
Z_{Lmin}	Minimum Yük Empedansı
Ω	Ohm
φ	Güç açısı
ϕ	Polarizasyon Faz Yer Değiştirme Açısı

KISALTMA LİSTESİ

AG	Alçak gerilim
ANSI	Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü (American National Standart Institute)
AT	Akım transformatörü
ATO	Akım transformatörü çevirme oranı
DPL	DigSİlent Programlama Dili (DigSilent Programming Language)
GT	Gerilim transformatörü
GTO	Gerilim transformatörü çevirme oranı
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)
IIR	Sonsuz Darbe Cevaplı (Infinite Impulse Response)
NERC	Kuzey Amerika Elektrik Güvenilirliği Kurumu (North American Electric Reliability Corporation)
OG	Orta gerilim
PVC	Polivinilklorür (Poly Vinyl Choride)
SIL	Darbe empedans yükü (Surge Impedance Loading)
SIR	Kaynak empedans oranı (Source Impedance Ratio)
UCTE	Union for the Coordination of the Transmission of Electricity
YG	Yüksek gerilim

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Koruma sistemi elemanları 9
Şekil 2.2 Elektromekanik rölelere ait genel blok diyagramı 13
Şekil 2.3 Örnek bir elektromekanik röle 14
Şekil 2.4 Statik rölelere ait genel blok diyagramı 15
Şekil 2.5 Örnek bir statik röle 15
Şekil 2.6 Dijital rölelere ait genel blok diyagramı 17
Şekil 2.7 Örnek bir dijital röle 17
Şekil 3.1 Arıza öncesi, arıza anı ve arıza sonrası 3 faz gerilim dalga formu 21
Şekil 3.2 Kademeli mesafe koruması 22
Şekil 3.3 Kademe 3 ayarlanması 25
Şekil 3.4 Empedans rölesine ait genel R-X diyagramının gösterimi 26
Şekil 3.5 Mho rölesine ait R-X diyagramı 27
Şekil 3.6 Mho gözetimli reaktans rölesi R-X diyagramı 28
Şekil 3.7 Yönlü empedans rölesi R-X diyagramı 29
Şekil 3.8 Reaktans rölesi R-X diyagramı 29
Şekil 3.9 Quadrilateral röle R-X diyagramı 30
Şekil 3.10 Röle tarafından ölçülen empedans 31
Şekil 3.11 Kademeli zaman mesafe diyagramı 32
Şekil 3.12 Arıza direncinin etkisi 34
Şekil 3.13 Mesafe rölelerinde besleme etkisi 35
Şekil 3.14 Mesafe rölelerinde dallanma etkisi 36
Şekil 3.15 Mho tipi mesafe rölesinde yük aşımı 37
Şekil 3.16 Quadrilateral tipi mesafe rölesinde yük aşımı 37
Şekil 3.17 Bellek işlemi R-C devresi 39
Şekil 3.18 B-C fazları arızasında işletme ve polarizasyon sinyalleri (a) hat tarafı (b) bara tarafı 42
Şekil 3.19 A faz-toprak arızalarında işletme ve polarizasyon sinyalleri (a) hat tarafı (b) bara tarafı 43
Şekil 3.20 0.8 pu için aşırı akım başlatma karakteristiği 46
Şekil 3.21 Kısa devre anında röle noktasındaki gerilim 47
Şekil 3.22 Düşük empedans başlatma karakteristiği 47
Şekil 3.23 Açıya bağlı düşük empedans başlatma 48
Şekil 3.24 Geleneksel empedans başlatma karakteristikleri 49

Şekil 3.25 Nümerik rölelerde optimize edilmiş başlatma karakteristikleri 50
Şekil 3.26 St. Clair Eğrisi 532
Şekil 3.27 Mho karakteristiği açı ayarlaması 53
Şekil 3.28 Ötelemeli Mho karakteristik 54
Şekil 3.29 Kompozit Mho karakteristik 54
Şekil 3.30 Mercek (Lens) karakteristik 55
Şekil 3.31 Dörtgen karakteristik 56
Şekil 3.32 Yük aşımı karakteristiği 57
Şekil 3.33 İki kaynaklı örnek sistem 58
Şekil 3.34 Farklı k değerleri için güç salınımı sırasındaki empedans yolları 58
Şekil 3.35 Güç dalgalanması sırasında pozitif sıra empedans yolu 59
Şekil 4.1 Röle koruma bölgeleri 64
Şekil 4.2 Örnek uygulamada kullanılan 6 baralı sisteme ait tek hat diyagramı 64
Şekil 4.3 Faz-faz arızası eşdeğer devresi 71
Şekil 4.4 Faz-toprak arızası eşdeğer devresi 72
Şekil 4.5 Röleye ait kademeler 73
Şekil 4.6 Görünür empedans metodu için röle kademeleri 76
Şekil 4.7 Komşu kısa hattın ortasında arıza durumu 77
Şekil 4.8 Komşu uzun hattın sonunda arıza durumu 79
Şekil 4.9 Geri hattın sonunda arıza durumu 80
Şekil 4.10 Hat empedansı metodu algoritması akış şeması 83
Şekil 4.11 Görünür empedans metodu algoritması akış şeması 85
Şekil 5.1 İletim sistemi modeline ait tek hat diyagramı 87
Şekil 5.2 Mevcut topoloji tek hat diyagramı 88
Şekil 5.3 Mevcut topolojide hat empedansı metoduna göre röle R-X diyagramı 90
Şekil 5.4 Değişen topoloji için tek hat diyagramı 91
Şekil 5.5 Değişen topoloji mevcut ayar değerleri için hat empedansı metoduna göre röle R-X diyagramı 91
Şekil 5.6 Değişen topoloji hat empedansı metodu için röle R-X diyagramı 93
Şekil 5.7 Mevcut topolojide hat empedansı metodu için röle R-X diyagramı 94
Şekil 5.8 Değişen topoloji için tek hat diyagramı 94
Şekil 5.9 Değişen topoloji mevcut ayar değerleri için hat empedansı metoduna göre röle R-X diyagramı 95
Şekil 5.10 Değişen topoloji hat empedansı metodu için röle R-X diyagramı 97
Şekil 5.11 Mevcut topoloji tek hat diyagramı 98
Şekil 5.12 Mevcut topoloji görünür empedans metodu için röle R-X diyagramı 99
Şekil 5.13 Değişen topoloji için tek hat diyagramı 100
Şekil 5.14 Değişen topoloji mevcut ayar değerleri için görünür empedans metoduna göre röle R-X diyagramı 101
Şekil 5.15 Değişen topoloji görünür empedans metodu için röle R-X diyagramı 103
Şekil 5.16 Mevcut topoloji görünür empedans metodu için röle R-X diyagramı 104
Şekil 5.17 Değişen topoloji için tek hat diyagramı 104
Şekil 5.18 Değişen topoloji mevcut ayar değerleri için görünür empedans metoduna göre röle R-X diyagramı 105
Şekil 5.19 Değişen topoloji görünür empedans metodu için röle R-X diyagramı 107
Şekil 5.20 Hat empedansı metodu ile görünür empedans metodu karşılaştırılması 108

Şekil 5.21 Mevcut topoloji hat empedansı metodu ile görünür empedans metodu ayar değerleri için arıza analizi..... 109

ÇİZELGE LİSTESİ

		Sayfa
Çizelge 2.1	Sık Kullanılan Koruma Fonksiyonu Numaraları	11
Çizelge 2.2	Koruma rölelerinin ek fonksiyonları	12
Çizelge 2.3	Güç sistemindeki cihazların korumaları	19
Çizelge 4.1	Hatlara ait tip ve uzunluk bilgileri	65
Çizelge 4.2	Akım/Gerilim trafosu bilgileri	66
Çizelge 4.3	İletken tipine göre hat parametreleri	66
Çizelge 4.4	Kısa devre besleme akımları	77
Çizelge 4.5	Kısa devre besleme akımları	78
Çizelge 4.6	Kısa devre besleme akımları	80
Çizelge 5.1	Hat parametreleri	89
Çizelge 5.2	Mevcut topoloji hat empedansı metoduiçin röle kademe değerleri	89
Çizelge 5.3	Değişen topoloji hat empedansı metodu için röle kademe değerleri	92
Çizelge 5.4	Hat parametreleri	96
Çizelge 5.5	Değişen topoloji hat empedansı metodu için röle kademe değerleri	96
Çizelge 5.6	Mevcut topoloji görünür empedans metodu için röle kademe değerleri	99
Çizelge 5.7	Değişen topoloji görünür empedans metodu için röle kademe değerleri	102
Çizelge 5.8	Değişen topoloji görünür empedans metodu için röle kademe değerleri	106
Çizelge 5.9	Mevcut topoloji hat empedansı metodu ile görünür empedans metodu röle ayar değerlerinin karşılaştırılması	107

ÖZET

ENERJİ İLETİM HATLARINDAKİ YAPISAL DEĞİŞİKLİKLERİN RÖLE KOORDİNASYONU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Özgür GÜRSANLI

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Oktay ARIKAN

Enerji ihtiyacının hızla artmasıyla birlikte, güç sistemleri gün geçtikçe genişleyip daha karmaşık bir yapıya sahip olmaktadır. Özellikle yenilenebilir üretimin teşvik edilmesinden dolayı yeni üretim merkezleri farklı noktalardan sisteme eklenmektedir. Güç sistemine yeni merkezlerin eklenmesi, arıza durumları ve çeşitli işletme ihtiyaçları sebebiyle sistem yapısında sürekli değişiklikler olmaktadır. Bu nedenle; süreklilik, güvenilirlik, kararlılık ve ekonomik işletme için sistemin en önemli bileşenlerinden olan koruma sisteminde hatalı çalışmalar oluşabilmektedir.

Bu çalışmada, şebekede meydana gelen topolojik değişikliklere bağlı olarak mesafe koruma rölesi ayar değerlerini yeniden hesaplayan algoritmalar oluşturulmuştur. Oluşturulan algoritmalar, Türkiye İletim Sisteminden seçilen 28 baralı örnek bir bölge üzerinde test edilerek doğrulanmıştır. İncelenen güç sisteminin modellenmesi DigSilent PowerFactory yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Algoritmalar DPL (DigSilent Programing Language) platformunda oluşturulmuştur.

Mesafe koruma rölesi kademe ayar değerleri hesaplamasında Türkiye enerji iletim sisteminde kullanılan hesaplama metodolojisi baz alınmıştır. Mesafe koruma rölelerinin kademe değerlerini hesaplamak için iki farklı yol kullanılmıştır. Birinci yolda hat empedansı değerleri kullanılırken, ikinci yolda görünür empedansı değerleri kullanılmıştır.

İletim sisteminde meydana gelen yapısal değişikliklerin röle ayar değerleri üzerindeki etkilerini incelemek için, sistemde bulunan bir hattın devre dışı kalması ve sisteme yeni bir rüzgar santrali eklenmesi senaryoları oluşturulmuştur. Oluşturulan herbir senaryo için hem hat empedansı metoduna göre hem de görünür empedans metoduna göre kademe değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler için 3-faz kısa devre arızaları gerçekleştirilmiştir. Herbir senaryo için, mevcut röle ayar değerleri ile yeni röle ayar değerlerinin arızaya verdiği tepkiler karşılaştırılmıştır. Ayrıca iki metodun karşılaştırılması için arıza analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İletim sistemi koruması, mesafe rölesi, röle koordinasyonu, topoloji değişikliği, DigSilent, DPL script.

ABSTRACT

EFFECTS OF STRUCTURAL CHANGES ON ENERGY TRANSMISSION LINES TO RELAY COORDINATION

Özgür GÜRSANLI

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Dr. Oktay ARIKAN

Power systems are being expanded day by day with a more complex structure. Especially, since renewable production is encouraged, new production centers are added to the system from different points. The system topology always changes due to adding new generation centers, faults and/or operation requirements. Therefore; malfunctions might occur in the protection system which is one of the most important component for the system reliability, stability and economic operation.

In this study, algorithms that re-calculate the distance protection relay set values were created depending on the topological changes on the transmission network. The algorithms have been verified by testing on a sample area of 28 buses selected from Turkey National Transmission System. Modeling of the investigated power system was performed using DigSilent PowerFactory software. Algorithms built on DPL (DigSilent Programming Language) platform.

Calculation methodology used in Turkey energy transmission system is based on calculation of distance protection relay setting values. Two different ways were used to calculate the setting values of the distance protection relays. While the line impedance values are used in the first way, the apparent impedance values are used in the second way.

In order to examine the effects of the structural changes occurring in the transmission system on the relay setting values, scenarios in which a line in the system is disabled and a new wind plant is added to the system has been established. For each scenario created, step values are calculated according to both the line impedance method and the visible impedance method. 3-phase short circuit faults have been performed for the calculated values. For each scenario, the responses of the current relay setpoints and the new relay setpoints are compared. In addition, a failure analysis was made to compare the two methods.

Keywords: Transmission line protectin, distance relay, relay coordination, topology change, DigSilent, DPL script.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Elektrik üretim santralleri çoğu zaman tüketim bölgelerinden uzakta bulunmaktadır. Bundan dolayı, elektrik enerjisinin üretildiği yerden tüketim bölgelerine taşınması gerekmektedir. Genellikle orta gerilim (OG) seviyesinde (6 kV- 20 kV) üretilen elektrik enerjisi, uzak bölgelere taşınmak istendiğinde transformatörler vasıtasıyla yüksek gerilim (YG) seviyesine (154 kV ve 400 kV) çıkarılmaktadır. Yüksek gerilime çıkarılan elektrik enerjisi uzak noktalardaki tüketim bölgelerine havai hatlar ile taşınmaktadır. Tüketim bölgelerine yaklaşıldığında, indirici şalt merkezlerinde yine transformatörler aracılığıyla OG seviyesine indirilerek dağıtım bölgelerine aktarılmaktadır.

Elektrik güç sistemi, elektrik enerjisinin üretim merkezinden son kullanıcıya kadar olan üretim, iletim ve dağıtım aşamalarını içermektedir. Güç sistemindeki büyüme, geniş alanlara yayılan çok karmaşık şebeke yapısına neden olmaktadır. Güç sistemleri genellikle kararlı halde işletilmektedir. Fakat, doğal olaylardan, işletmedeki insan hatalarından ve cihazların yaşlanmasından/arızalanmasından kaynaklı geçici veya kalıcı arızalar sebebiyle problemler oluşabilmektedir. Arıza kaynaklı gerilim ve akım değişimleri yaşanmaktadır. Bu nedenle, sistemde oluşan bir arıza durumunda arıza akımı hızlı bir şekilde kesilmezse cihazların zarar görmesine neden olmaktadır. Tespit edilemeyen ve hızlı bir şekilde temizlenemeyen arızalar gerilim düşmelerine, senkronizasyonun kaybolmasına, mali zararlara ve kalıcı cihaz hasarlarına neden olmaktadır.

Enerji ihtiyacının hızla artmasıyla birlikte üretim merkezlerinin sayısı da artmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları ile üretimin teşvik edilmesinden dolayı, yeni üretim merkezleri farklı noktalardan sisteme eklenmektedir [1]. Güç sistemine yeni üretim merkezlerinin ve iletim hatlarının eklenmesinden ve işletme gereği yapılan anahtarlamalardan dolayı sistem topolojisi sürekli olarak değişmektedir. Bundan dolayı, geleneksel güç sistem işletmeciliğinde değişimler olmaktadır [2]. Günümüzde farklı sebeplerle gerçekleştirilen çoklu anahtarlamaların sistemin işletilmesinde değişikliklere neden olması, dikkat edilmesi gereken bir durum haline gelmiştir [3]. Bununla birlikte, arızaların sebep olduğu birbirini izleyen olaylar da çoklu anahtarlamalara sebep olmaktadır [4]. Farklı yük atma ve/veya anahtarlama operasyonları güç sistem kararlılığı ile koruma sistemi güvenirliliğini sağlamak, gerilimi belirli sınırlarda tutmak ve işletme maliyetlerini düşürmek için yapılmaktadır [5-8]. Bu nedenlerle, sistem topolojisinin değişmesi mesafe koruma rölelerinin koordinasyon ayar değerlerinin değiştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır [9-11].

Mesafe koruma rölelerinin normal olmayan koşullarda, özellikle arıza ve güç salınımı durumlarında uygun şekilde işletilmesi, sistem kararlılığı ve güvenilirliği açısından önem arz etmektedir. Topoloji değişimleri sistemde oluşan güç salınımı davranışlarını değiştirmektedir [12]. Salınımlar, sistemin gerilim/akım büyüklüklerinde ve açılarında önemli dalgalanmalar oluşturarak yük empedansını değiştmektedir. Bu dalgalanmalar mesafe rölelerinin yanlış açmalar yapmasına sebep olmaktadır [13],[14].

Aşırı yüklenen hatlarda, herhangi bir kısa devre arızası olmasa bile röle içerisindeki 'Yük Aşımı' özelliğinden dolayı yanlış açmalar olabilmektedir [15]. Aşırı yüklenmelerde Z=V/I formülü gereğince yük empedansı değeri küçülmektedir. Yük empedansı, mesafe rölelerinde daha önceden belirlenmiş olan kademe ayarlarından daha küçük olduğunda röle açma sinyali üretmektedir. Bu yüzden mesafe koruma rölelerinde kademe ayarlamaları yapılırken maksimum yük empedansı göz önünde bulundurulmalıdır [15],[16].

D.V. Coury ve D.C. Jorge tarafından 1998 yılında yapılan çalışmada; iletim hatlarının korunması için mesafe koruma röleleri ayarlar değerlerinin genellikle sabit alınarak sağlandığı, bu tip rölelerin menzilinin değişen topoloji şartlarından etkilendiği

belirtilmiştir [17]. Buna benzer olarak, Wang Xiaru, Qian Qingquan, Wu Si Tao (1998) yazmış oldukları makalede; klasik mesafe rölelerinin iletim hatlarında belli empedans ölçümlerine göre çalıştığı, arızalı branşmanı belirleyen önemli unsurun hattın sahip olduğu empedansın arıza direncinden dolayı sistem koşullarına bağlı olarak yüksek ya da düşük değere ulaşması olduğunu belirtmişlerdir [18].

Dünya üzerinde meydana gelen sistem çökmelerinin birçoğunun ana sebebi mesafe röleleri kademe 3'ün yanlış çalışmasından kaynaklı kaskat açmalardır. M.Azari, M.Ojaghi ve K.Mazlumi 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada, gelişmiş bir koruma tekniği uygulamasıyla kademe 3'ün neden olduğu yanlış açmaların önüne geçilebileceğini belirtmişlerdir [19]. Bir diğer çalışmada, mesafe rölesi kademe 2 kapsam alanının aşırı menzil problemlerine sebebiyet vermeden yükseltilmesi tekniğinden bahsedilmiştir [20]. Bu teknikte, geleneksel metodun aksine arıza simülasyonu yapılarak rölenin gördüğü empedans değerleri üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Çalışma için yapılan simülasyon sonuçları, rölenin kademe 2 menzilinin koordinasyon problemi oluşturmadan büyütülebileceğini göstermiştir.

Yukarıda bahsedilen arızalar, güç salınımları, gerilim dengesizlikleri ve yük aşımları rölelerin yanlış açma yapmasına neden olabilecek durumlardır. Rölelerin yanlış açmalarının önüne geçebilmek için ayar değerlerinin doğru hesaplanması ve değişen sistem topolojileri için güncellenmesi gerekmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, enerji iletim hatlarında ana koruma görevinde kullanılan mesafe rölelerinin ayar değerlerini topolojik değişiklikleri dikkate alarak yeniden hesaplayan algoritmaların oluşturulması hedeflenmiştir. Algoritmaların oluşturulmasında Türkiye enerji iletim sisteminde kullanılan hesaplama metodolojisi baz alınmıştır. Metodolojiye uygun olarak hesaplama yapabilen iki farklı algoritma geliştirilmesi planlanmıştır. Geliştirilen birinci algoritma röle ayar değerlerini hat empedansı metoduna göre hesaplarken, ikinci algoritma görünür empedans metoduna göre hesaplayabilmektedir. Algoritmalar, Türkiye iletim sistemine ait 28 baralı örnek bir bölge üzerinde test edilerek doğrulaması yapılacaktır. İletim sistemi modeli üzerinde gerçekleştirilen analizler ve algoritmaların oluşturulması için DigSilent PowerFactory yazılımı

kullanılacaktır. Sayısal uygulama olarak, seçilen örnek bölgede arıza simülasyonları gerçekleştirilecektir. Topolojik değişikliklerin etkisi gösterilerek, önerilen algoritmalar ile oluşturulan yeni ayar değerlerinin uygun çalışıp çalışmadığı ortaya konularak, elde edilen sonuçların sunulması planlanmıştır. Çalışmanın son kısmında ise, iki farklı algoritma kullanılarak hesaplanan ayar değerlerinin karşılaştırılması yapılarak farklılıkları ortaya konulacaktır.

1.3 Hipotez

Elektrik iletim sistemine yeni üretim merkezlerinin ve iletim hatlarının eklenmesinden ve işletme gereği yapılan anahtarlamalardan dolayı sistem topolojisi sürekli olarak değişmektedir. Güç sistem kararlılığını ve koruma sistemi güvenirliliğini sağlamak, gerilimi belirli sınırlarda tutmak ve işletme maliyetlerini düşürmek için sıklıkla farklı yük atma ve anahtarlamalar yapılmaktadır. Sistemde meydana gelen bu yapısal değişiklikler, mesafe koruma rölelerinin koordinasyon ayar değerlerinin değiştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır.

Mesafe koruma rölelerinin yanlış açmasının önüne geçebilmek için röle ayar değerlerinin doğru hesaplanması ve değişen sistem koşulları için güncellenmesi gerekmektedir. Bu yüzden, şebekede meydana gelen yapısal değişiklikleri göz önünde bulundurarak röle ayar değerlerini yeniden hesaplayan algoritmalar oluşturulmalıdır. Algoritmalar, sistemde bulunan rölelerin bulunduğu yere göre koruduğu hattı, komşu uzun, komşu kısa ve geri hatları bularak sistem topolojisini belirlemektedir. Belirlenen topoloji için, hesaplama metodolojisine göre rölenin kademe ayar değerlerini hesaplamaktadır.

Mesafe koruma rölesi kademe ayar değerleri hesaplamasında Türkiye enerji iletim sisteminde kullanılan hesaplama metodolojisi baz alınmıştır. Fakat, rölelerinin kademe değerlerini hesaplamak için iki farklı yol izlenilmiştir. Birinci yolda hat empedansı değerleri kullanılırken, ikinci yolda görünür empedansı değerleri kullanılmıştır. Kullanılan bu yolların birbirleriyle olan farklılıkları ortaya konmuştur.

BÖLÜM 2

GÜÇ SİSTEMLERİNDE KORUMA

Gün geçtikçe gelişerek büyüyen güç sistemlerinin arızalara karşı korunması başlıca çalışma konularından biridir. Güç sisteminin çeşitli noktalarında bulunan röleler, meydana gelen arızaları tespit eden ve arızalı bölgenin sistemin geri kalanından izole edilmesine yardımcı olan cihazlardır. Arızalardan kaynaklı hasarları en aza indirmek ve ekonomik kayıpların önüne geçmek için uygun işletme koşullarını sağlayan koruma sistemini tesis etmek ve gerekli modernizasyonları yapmak zorunlu hale gelmiştir. Modern güç sistemlerinin korunması için her yıl büyük yatırımlar yapılmaktadır.

2.1 Güç Sistemlerinde Kullanılan Koruma Rölelerinin Görevleri

Güç sistemlerinde koruma, sistemin oluşabilecek arızalara karşı mümkün olduğunca güvenli şekilde işletilmesini sağlamaktır [21]. Koruma sistemi sayesinde arıza hızlı bir şekilde temizlenerek şebekenin geri kalan kısmının sorunsuz olrarak işletilmesine devam edilebilmektedir. Sürekli bir kısa devrenin, şebekenin genel işletmesi ve özellikle kararlılığı üzerindeki etkilerini ortadan kaldırmak için hatalı eleman olabildiğince çabuk devre dışı edilmelidir [22]. Bu sayede generatör, transformatör, kablo, hat gibi şebeke elemanlarının birinde kısa devre veya yalıtım hatası sonucunda oluşabilecek arkların, arıza akımlarının ve/veya aşırı gerilimlerin yol açabileceği zararlar sınırlandırılabilmektedir. Güç sistemlerini yukarıda bahsedilen olumsuz durumlara karşı röleler korur. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)'e göre röleler: hatlarda, transformatörlerde ve güç sisteminde bulunan diğer ekipmanlarda meydana gelen arızalı durumları tespit edip bu durumlar için uygun kontrol elemanlarına çalışma

sinyali gönderen cihazlardır [23]. Koruma röleleri, işletme esnasında oluşabilecek arıza veya aşırı yüklenme durumunda büyük çapta hasarların oluşmasını önleyici rol üstlendiklerinden dolayı büyük önem taşımaktadırlar. Röleler, sistemin normal çalışması esnasında izleme yaparlar, ancak bir arıza olması durumunda devreye girerler. Arızayı önleme yetenekleri olmayan röleler, sadece arıza sonrası oluşabilecek hasarı engelleyebilirler veya en aza indirebilirler.

2.2 Koruma Sisteminden Beklenen Özellikler

Güç sistemlerinde kullanulan koruma sisteminden beklenen, işletme elemanları ile elektrik tesis ve şebekelerinde ortaya çıkan hataları ve bunların çeşitlerini ölçülen elektriksel büyüklükler yardımıyla çabuk ve güvenilir bir şekilde tespit etmek ve gerektiğinde arızalı elemanı (generatör, transformatör, hat vb.) devre dışı bırakarak enerjinin mümkün olduğunca sürekli olmasını sağlamasıdır. Bunu yerine getirecek olan koruma sisteminin;

- Güvenilirlik,
- Seçicilik,
- Hassasiyet,
- Hızlı Çalışma,
- Ekonomiklik,
- Basitlik,
- Yedekli çalışma,

gibi özelliklere sahip olması beklenmektedir [23]. Koruma rölelerinden beklenen ve beklenmeyen özellikler ile ilgili açıklamalar bölümün devamında alt başlıklar halinde verilmiştir.

2.2.1 Güvenilirlik

Koruma sisteminin güvenilir olması; sistemin hatasız olarak doğru çalışması, yanlış kesicileri açtırmaması ve arıza meydana geldiği zaman rölenin çalışacağından emin

olunmasıdır. Bu yüzden koruma sisteminin sahip olması gereken en önemli özelliklerdendir.

Koruma düzenlerinde hatalı çalışma durumları,

- Açma yapmama,
- Arıza durumunda yanlış açma,
- Gereksiz açma,

olarak üç faklı grupta toplanabilir [24].

2.2.1.1 Açma Yapmama

Arıza olmasına rağmen koruma rölesinin açma kumandası üretmemesidir. Bunun sebebi, koruma rölesinin arızalı olması, yanlış ayarlanması veya koruma rölesi ölçme sisteminin arızaya ilişkin karakteristik büyüklüğü algılayamaması olabilir.

2.2.1.2 Arıza Durumunda Yanlış Açma

Arızanın cinsi ve yerine ilişkin yapılan yanlış ölçmeye bağlı olarak, koruma rölesinin seçici olmayan bir açma kumandası üretmesidir.

2.2.1.3 Gereksiz Açma

Sistemde herhangi bir arıza olmadığı halde koruma rölesinin açma kumandası vermesidir. Buna en güzel örnek, iyi ayarlanmamış bir koruma rölesinin, asenkron motorun kalkış anındaki çektiği yol alma akımını arıza akımı olarak algılayıp açma kumandası vermesidir.

2.2.2 Seçicilik

Koruma sisteminin seçici olması, bir arıza meydana geldiğinde sadece arızalı elemanın veya arızalı şebeke bölümünün devreden çıkartılması, diğer yerlerin gereksiz yere enerjisiz kalmasının önlenmesidir. Bu özellik, arızasız bölgelerin enerjisiz kalmasının önüne geçilerek sistem sürekliliğini sağlamak için büyük önem arz etmektedir [25].

2.2.3 Hassasiyet

Arıza olarak tanımlanan büyüklükler uygun süre içerisinde ve uygun hassasiyette ölçülebilmelidir. Bu sayede röleler istenilen koruma işlevini istenen sürede yerine getirmektedir.

2.2.4 Hızlı Çalışma

Arıza durumunda koruma sisteminin en kısa sürede arızalı elemanı sistemden ayırma yeteneğine sahip olmasıdır. Bu sayede, arıza sebebiyle güç sisteminde oluşabilecek hasarlar en aza indirilebilmektedir. Arızanın hızlı bir şekilde temizlenmesi, arızanın büyüyerek başka cihazlara zarar vermesinin önüne geçmektedir. Bu sayede, onarım maliyetleri düşmektedir [25].

Statik ve özellikle dijital röleler çok hızlı çalışabilmektedir. Fakat, koruma rölelerinin geçici arızalarda istenmeyen açmalar yapacak kadar hızlı çalışması arzu edilmemektedir. Koruma sistemi işletmesinde seçiciliği sağlamak için zaman seçiciliği de kullanılmaktadır. Bu bağlamda açma gecikme süreleri istenilen değerlere çıkarılmaktadır. Bu durum hızlı çalışmaya tezat oluştursa da uygulamada seçiciliği sağlamaktadır.

2.2.5 Ekonomiklik

Koruma sistemi en az maliyet ile mümkün olan en iyi korumayı sağlamalıdır. Koruma sisteminin maliyeti korunan sistemin önemine ve büyüklüğüne göre belirlenmektedir. Koruma sistemi maliyetinin korunacak sistemin maliyetinden daha fazla olmamasına özen gösterilmelidir. Güvenilirlik ve ekonomiklik açısından en uygun çözüm tercih edilmelidir[4].

2.2.6 Basitlik

Koruma sistemi mümkün olduğu ölçüde basit yapıda olmalı, az elemandan oluşmalıdır. Böylece koruma sisteminin bakımı ve onarımı daha kolay olacaktır. Ancak, koruma sisteminin yapısı basit olacak diye gereğinden az cihaz kullanılması yanlıştır. Çünkü, bu sefer de güvenilirlik ve seçicilik ortadan kalkacaktır.

2.2.7 Yedekli Çalışma

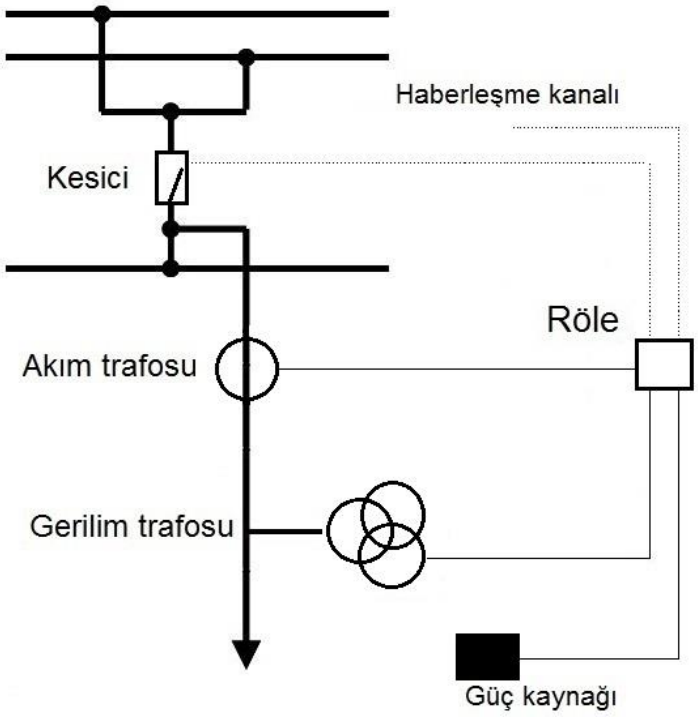
Koruma sisteminin ana işlevinin yanı sıra yedek koruma görevini de yerine getirmesidir. Sistemdeki bütün röleler bir sonraki rölenin yedeği olarak da çalıştırılabilmelidir. Bu sayede sistem hem güvenilir hem de ekonomik işletilebilmektedir.

2.3 Koruma Sistemi Elemanları

Koruma sistemleri genellikle Şekil 2.1'de görüldüğü üzere beş bileşenden oluşmaktadır. Son yıllarda pilot korumayla birlikte haberleşme kanalları da koruma sistemine dahil olmuştur. Genel olarak koruma sistemi elemanları,

- Ölçü (Akım ve Gerilim) Transformatörleri,
- Kesiciler,
- Koruma Röleleri,
- Batarya ve Güç Kaynağı,
- Haberleşme Kanalları,

olarak sıralanmaktadır [23].



Şekil 2.1 Koruma sistemi elemanları [23]

2.3.1 Ölçü (Akım ve Gerilim) Transformatörleri

Güç sisteminin yüksek gerilim ve akım değerlerini ölçülebilecek uygun seviyeye indirerek koruma rölelerine girdi oluştururlar. Akım transformatörlerinin sekonder değerleri genelde 1-5 A aralığında, gerilim transformatörlerinin sekonder değerleri ise 100-110 V aralığında olmaktadır. Örneğin, 154 kV'luk iletim hatlarında kullanılan bir akım transformatörü 1200/5 A dönüştürme oranında ve gerilim transformatörü 154/0.100 kV dönüştürme oranında olabilmektedir. İletim hattından 1200 A değerinde akım geçerse akım transformatörü sekonder tarafında 5 A olarak görülür. Böylece, koruma cihazları girdileri yukarıda verilen aralıklarda standart hale getirilmektedir.

2.3.2 Kesiciler

Röleden gelen komutlara göre sistemin arızalı bölgesini temizlemek için açma kapama işlemini yerine getiren cihazlardır.

2.3.3 Koruma Röleleri

Sistemde oluşan arızayı tespit edip arızanın temizlenmesi için ilgili kesiciye açma sinyali göndeririler. Son zamanlarda içerisinde birçok algoritma olan ve birçok koruma işlevini aynı anda yerine getiren sayısal röleler kullanılmaktadır.

2.3.4 Batarya ve Güç Kaynağı

Sistemde meydana gelebilecek bir güç kesintisi durumunda koruma sistemi cihazlarının enerjisini sağlarlar.

2.3.5 Haberleşme Kanalları

Hattın başında ve sonunda bulunan rölelerin birbirleriyle veri alış verişini sağlayarak daha etkin koruma yapılmasına olanak verirler. Müsaadeli ve kilitlemeli koruma çalışma modları bu kanallar vasıtasıyla yapılır.

2.4 Koruma Rölesi Çeşitleri

Koruma rölelerinin çeşitleri fonksiyon numaralarına göre tanımlanmaktadır. Tüm bu numaralar IEEE Std C37.2-2001 standardında listelenmiştir [26]. Çizelge 2.1'de sık kullanılan koruma fonksiyonu numaraları ve koruma özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.1 Sık Kullanılan Koruma Fonksiyonu Numaraları [26]

Fonksiyon Numarası	**Koruma Özelliği**
21	Mesafe
25	Senkronizasyon
27	Düşük Gerilim
32	Yönlü Güç
40	Uyartım (alan) Kaybı
46	Dengeli Faz (dengeli akım, negatif sıra akım)
47	Gerilim Faz Sırası (geri faz gerilimi)
49	Termal (Genel termal aşırı yüklenme)
50	Ani Aşırı Akım
51	Zaman Gecikmeli Aşırı Akım
59	Aşırı Gerilim
60	Dengeli Gerilim (İki Devre Arasındaki)
67	Yönlü Aşırı Akım
81	Frekans (düşük veya yüksek frekans)
86	Kilitleme
87	Diferansiyel

Çizelge 2.2'de gösterilen ek fonksiyonlar, koruma rölelerinin uygulama yerine göre çalışma prensiplerini ifade etmektedir.

Çizelge 2.2 Koruma rölelerinin ek fonksiyonları [26]

Ek Fonksiyonlar	**Koruma Özelliği**
A	Yalnızca Alarm
B	Bara Koruma
G	Toprak Arızası Koruma
GS	Toprak-Arıza Koruma (Rölenin akım trafosu toroidal ya da toprak sensörü)
L	Hat Koruma
M	Motor Koruma
N	Nötr Arıza Koruma
T	Transformatör Koruma
V	Gerilim Koruma

Aşağıda, fonksiyon numaralarının açıklamaları ile ilgili birkaç örnek verilmiştir:

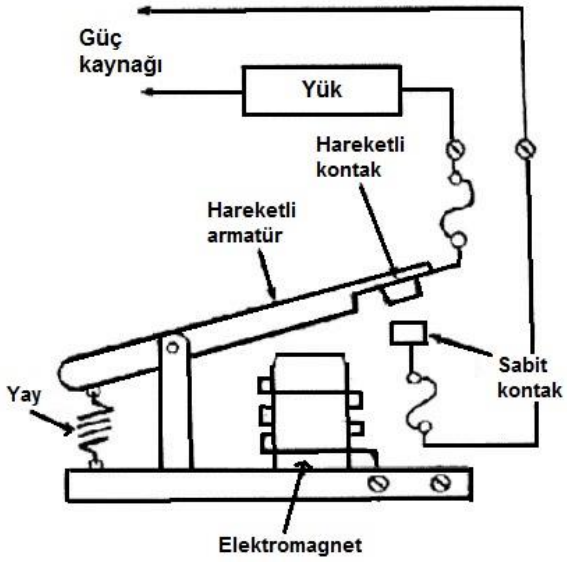
- 87T: Transformatör Diferansiyel Rölesi,
- 51G: Zaman Gecikmeli Aşırı Akım Rölesi(toprak arızası için kullanılmaktadır),
- 49M: Motor Sargıları Aşırı Yüklenmesi (yada aşırı sıcaklık),
- 87B: Bara direfansiyel rölesi yada kısmi bara diferansiyel rölesi.

2.5 Koruma Rölesi Tipleri

Gelişen teknolojiyle birlikte, koruma röleleri de büyük gelişim göstermiştir. Ölçüm hassasiyetleri artmış ve karar verme süreleri kısalmıştır. Daha küçük boyutlarda, daha fazla işlemi yapar hale gelmişlerdir. Aşağıda başlıklar halinde röle tiplerinden kısaca bahsedilmiştir.

2.5.1 Elektromekanik Röleler

Elektromekanik röleler 60 yılı aşkın süredir güç sistemlerinin korunmasında kullanılmaktadır. Bu koruma röleleri güvenilirlikleri ve uzun ömürlü olmaları ile bilinmektedirler. Elektro-magnetlerden geçen akımın oluşturduğu kuvvetin etkisiyle hareket ederek çalışmaktadırlar. Elektromanyetik röleler genellikle tek fazı korumaktadır. Bu yüzden, her faz için ayrı ayrı tesis edilmektedirler. Boyutları büyüktür ve ağırdırlar. Çevresel koşullardan çabuk etkilenirler, bundan dolayı sık sık bakım yapılması gerekmektedir. Elektromekanik röleler gerilim ani değişimlerinden (transient) çok etkilenmezler. Elektromekanik rölelerin genel blok diyagramı Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Şekil 2.3'te sahada kullanılan bir elektromekanik röleye ait resim verilmiştir [22],[27].



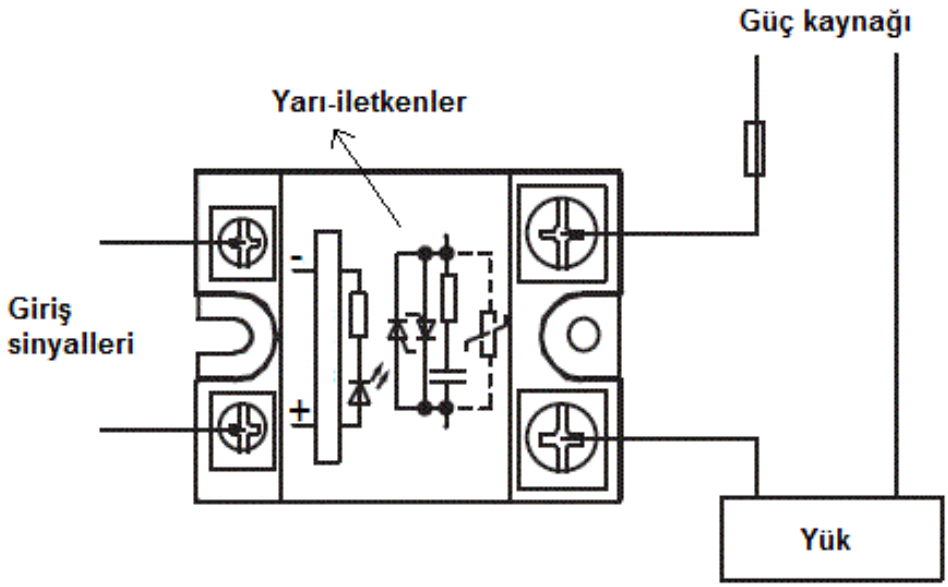
Şekil 2.2 Elektromekanik rölelere ait genel blok diyagramı [22]



Şekil 2.3 Örnek bir elektromekanik röle [22]

2.5.2 Statik Röleler

Statik röleler yarı iletken teknolojinin gelişmesiyle gündeme gelmiştir. Hareketli parçaları olmadığı için elektromekanik rölelere göre daha küçük ve hafiftirler. Tepki süreleri elektromekanik rölelere göre daha kısadır. Fakat, gerilimdeki geçici değişimlerden daha çok etkilenmektedirler. 1960'lı yılların başında statik rölelerin uygulama alanlarında artış olmuştur. Statik röleler düşük yüklerdeki avantajları, dinamik performans karakteristiklerindeki iyileşmeleri, yüksek sismik dayanım kapasiteleri, kendinden izlemeli çok fonksiyonlu yapıları ve küçülen boyutları sayesinde geniş kullanım alanı bulmuştur. Statik rölelerin genel blok diyagramı Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Şekil 2.5'te sahada kullanılan bir statik röleye ait resim verilmiştir [22],[27].



Şekil 2.4 Statik rölelere ait genel blok diyagramı [22]



Şekil 2.5 Örnek bir statik röle [22]

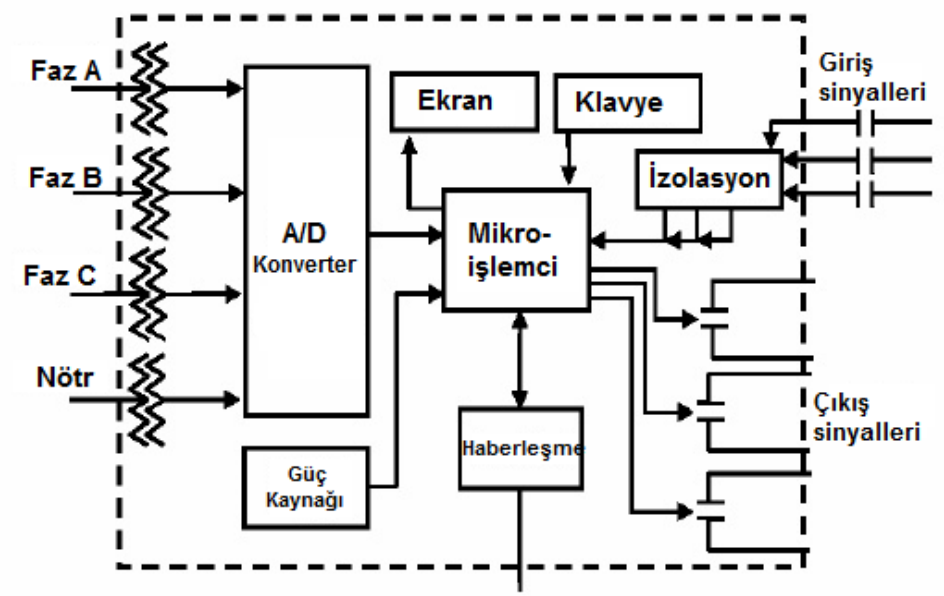
2.5.3 Dijital Röleler

Mikro işlemci teknolojisinin yaygınlaşmasıyla güç sistemlerinin korumasında büyük değişiklikler yaşanmıştır. Tek bir çip içerisine bir çok bileşen yerleştirilerek büyük ölçekli entegreler elde edilebilmiştir. Bu sayede, birçok fonksiyonu yerine getirebilen röleler ortaya çıkmıştır. Elektromekanik ve statik rölelere göre daha hızlı, ekonomik, çok fonksiyonlu, kendinden ekranlı ve küçük boyutlu olmaları tercih edilmelerini

sağlamıştır. Bu yüzden, günümüzde güç sistemine ait birçok elemanın korunmasında elektromekanik ve statik rölelerin yerini dijital röleler almıştır. Elektromekanik rölelere göre bazı avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Ekonomik olması: Dijital rölelerin tercih edilmesindeki en önemli neden uygun fiyata birçok özelliği içermeleridir.
- Hızlı çalışması: Dijital rölelerin hızlı çalışmasını sağlayan iki neden vardır. Birincisi, çalışırken mekanik bir aksam kullanmamalarıdır. İkincisi ise yüksek işlemci gücüne sahip olmalarıdır.
- Gösterge ekranının olması: Dijital röleler birçok bilgiyi ekrandan gösterme yeteneğine sahiptirler. Elektromekanik röleler düzenli aralıklarla personel tarafından test edilmek zorundadır. Bundan dolayı dijital röleler hem zamandan hem de paradan kazanç sağlamaktadır.
- Çok fonksiyonlu olması: Röleler, ölçüm cihazları, kontrol anahtarları, göstergeler ve iletişim cihazları tek bir cihaza entegre edilebilmektedir. Daha az cihaz ve kablolama gerektirirler.
- Hızlı devreye alınabilmesi: Devreye alma, bir cihazın işletmeye alınmadan önce performansının doğrulanma sürecidir. Mikroişlemci tabanlı cihazların ölçüm verilerine uzaktan erişilebilme özelliğine sahip olmalarından dolayı kısa sürede basit bir şekilde devreye alınmaları mümkündür.
- Boyutlarının küçük olması: Dijital röleler elektromekanik rölelere göre daha hafif ve küçük boyuttadır. Bu sayede daha az yer kaplar ve taşınmaları kolaydır [28].

Dijital rölelerin genel blok diyagramı Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Şekil 2.7'de sahada kullanılan bir dijital röleye ait resim verilmiştir.



Şekil 2.6 Dijital rölelere ait genel blok diyagramı [28]



Şekil 2.7 Örnek bir dijital röle [28]

2.6 Güç Sisteminde Koruma Uygulamaları

Güç sistemlerinin farklı bileşenleri için çeşitli tiplerde röleler kullanılarak koruma yapılmaktadır. Temel yapılara ait koruma felsefesi ile kullanılan röle tipleri aşağıda belirtilmiştir. Cihaz korumasında kullanılan röle tipleri ve özellikleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

2.6.1 Hat Koruması

İletim hatlarının korunması için değişik tipte röleler kullanılmaktadır. Fakat, işletmelerde en yaygın kullanılan uygulama mesafe röleleri ile korumadır. Mesafe röleleri hattaki akım, gerim ve buna bağlı olarak empedans değişimlerine göre çalışır. Bunun yanı sıra aşırı akım ve diferansiyel röle ile hat koruması da uygulamalarda mevcuttur [29].

2.6.2 Generatör Koruması

Generatörler için maruz kaldıkları arıza tipine bağlı olarak farklı koruma tipleri vardır. En çok karşılaşılan arıza tipi generatörün aniden devre dışı kalması ve bunun sonucunda yük ile üretim barası arasında büyük faz açısı farkının oluşmasıdır. Oluşan bu fark senkronizasyonun kaybolmasına neden olur. Böyle durumlarda generatörü şebekeden izole etmek için faz açısı ölçme (out of step) rölesi kullanılır [29].

2.6.3 Transformatör Koruması

Transformatörler genel olarak diferansiyel röleler ve aşırı akım röleleri ile korunmaktadırlar. Diferansiyel röleler transformatörün giriş ve çıkış akımlarının karşılaştırılması esasına göre çalışır. Transformatör içerisindeki arıza durumlarında giriş-çıkış uçlarında bir akım farkı oluşacağından röle devreye girer ve kesiciyi açtırır. Transformatörleri aşırı yüklenmelere karşı termal koruma amaçlı aşırı akım röleleri korumaktadır. Mikroişlemci tabanlı yüksek/alçak frekans koruma röleleri de kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, yağ seviyesi, basınç, bucholz gibi rölelerde mevcuttur [29],[30].

2.6.4 Yük Koruması

Elektriksel yükler genelde gerilim değişimlerine karşı hassastır. Bu nedenle, genel olarak yüksek/düşük gerilim röleleri ile korunmaktadırlar.

Çizelge 2.3 Güç sistemindeki cihazların korumaları [30]

Cihaz/ Cihaz	**Röle Tipi**	**ANSI Kodu**	**Çalışma Prensibi**	**Giriş Parametresi**	**Çıkış Parametresi**
GENERATÖR	Faz Ölçme Rölesi	78	Akım-gerilim değişimlerine göre empedansı ölçer. Normal çalışma durumunda değişim çok küçükken arıza olduğunda çok daha büyüktür.	Akım, Gerilim (*V,I*)	Empedans (*Z=V/I*)
TRANSFORMATÖR	Diferansiyel Röle	87	Transformatörün giriş ve çıkış uçlarında akım değerlerini karşılaştırarak transformatörün içerisinde meydana gelen arızaları tespit eder.	Giriş ve Çıkış Akımı (*Igiriş, Içıkış*)	Akım (*I*)
İLETİM HATTI	Mesafe Koruma Rölesi	21	İletim hattında bir arıza meydana geldiği zaman hattın empedansı küçülür. Röle daha önceden belirlenen empedansın altında bir değer okuduğu zaman kesiciye açma sinyali gönderir.	Akım, Gerilim (*V,I*)	Empedans (*Z=V/I*)
	Aşırı Akım Rölesi	50/51	İletim hattında bir arıza meydana geldiği zaman hattan geçen akım büyür. Röle daha önceden belirlenen akım değerinin üstünde bir değer gördüğü zaman kesiciye açma sinyali gönderir.	Akım (*I*)	Akım (*I*)

BÖLÜM 3

GÜÇ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN MESAFE KORUMA RÖLELERİ VE ÖZELLİKLERİ

Enerji iletim hatları sigorta, aşırı akım rölesi, mesafe koruma rölesi, diferansiyel röle, pilot koruma veya bunların farklı kombinasyonları ile korunabilmektedir. Sigortalar ve aşırı akım röleleri genellikle dağıtım hatlarının korunmasında kullanılmaktadır. Yapılarının basit olması ve ucuz olmaları tercih sebebidir. Ayrıca, arıza akımı yük akımından büyük olduğu için zaman kademeli olarak seçici koruma yapabilmektedirler. Transformatör gibi büyük empedanslı elemanları korumak için de aşırı akım rölelerinin kullanımı mevcuttur.

Yüksek gerilim enerji iletim hatları üretim birimi ile yük arasındaki enerji akışını sağlamaktadır. Yüksek gerilim iletim hatlarının çok uzun olmasından ve iletim sisteminin ağ yapısından dolayı aşırı akım röleleri, iletim sisteminde ana koruma rölesi olarak kullanılmamaktadır.

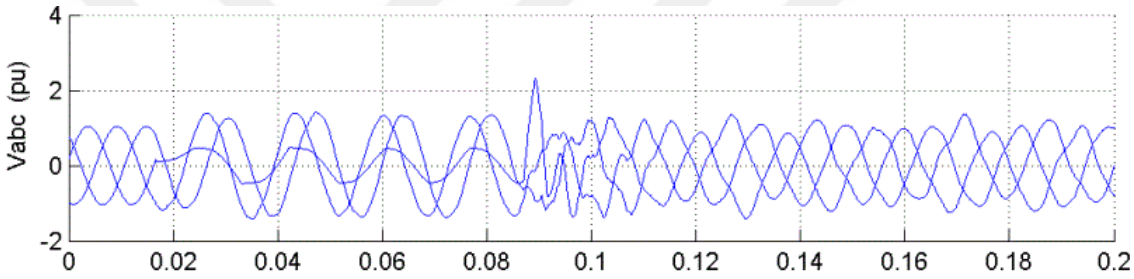
Mesafe koruma röleleri iletim hatlarını korumak için en çok kullanılan rölelerdir. Mesafe röleleri, güç sisteminden akım ve gerilim bilgilerini girdi olarak alarak empedans değerini hesaplamaktadır. Eğer, hesaplanan empedans değeri daha önceden belirlenen çalışma bölgesi değerinden küçük olursa röle çalışmaktadır [22].

Pilot korumalı sistemler, hat başında ve sonunda yük akışı yönü veya akımlar arasında faz ilişkisi karşılaştırması yapabilmektedirler. Röleler arasındaki bilgi akışı kablo, fiber ya da mikro dalga kanallarıyla yapılmaktadır. Pilot koruma sayesinde hattın tamamı etkin şekilde korunmaktadır. Fakat, iletim hattının uzun olması pilot koruma haberleşme

iletkeninin de uzun olmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden, sistem maliyetinin artmasına sebep olmaktadır.

İletim hatlarının korunmasında kullanılan dijital röleler analog rölelerle benzer lojik yapıya sahiptirler. Fakat, fiziksel yapıları ve çalışma şekilleri farklıdır. Birçok dijital röle koruma yaparken pratikte akımın ve gerilimin temel frekans bileşenlerini kullanmaktadır [28].

Arıza durumunda, hat akım ve gerilim değerleri yüksek frekanslı bileşenler içerir. Arıza durumunda gerilimde oluşan bu bileşenler Şekil 3.1'de verilmiştir. Yüksek frekanslı bileşenler arıza noktasından başlayıp uzaklaşarak yayılan dalgalar oluşturmaktadır. Bu dalgaların içerdiği bilgiler uygun işlemlerden geçirilerek arızanın tespit edilmesinde ve arıza yerinin bulunmasında kullanılmaktadır.



Şekil 3.1 Arıza öncesi, arıza anı ve arıza sonrası 3 faz gerilim dalga formu [28]

3.1 Mesafe Koruma Röleleri

Mesafe röleleri, iletim hatlarında ana ve yedek koruma olarak geniş bir kullanıma sahiptirler. 34.5 kV'luk gerilim seviyesinin üzerindeki hatlarda yüksek hızlı koruma sağlamaktadırlar. Diğer uygulamalar da ise, sisteme dahil edilmiş olan generatör yedek korunmasında ve yüksek atalete sahip motorların korunmasında kullanılmaktadır. Mesafe koruma röleleri ANSI/IEEE 21 cihaz numarasıyla adlandırılırlar.

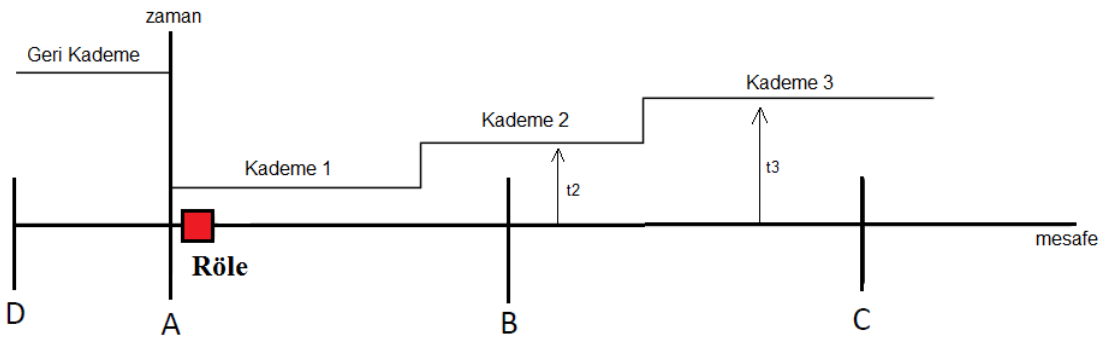
3.1.1 Çalışma Prensibi

Mesafe röleleri, gerilim ve akım girişlerinden elde edilmiş olan empedans bilgisini kullanarak çıkış sinyali üretmektedir. Önceden belirlenmiş olan bir mesafe içerisinde bir arıza olması durumunda çalışmaktadırlar. Mesafeyi, gerilimin akıma olan oranına göre hesaplamaktadırlar. Gerilimin akıma oranından bulunan empedansın sanal bileşeni

reaktansı, gerçek bileşeni ise rezistansı (direnci) vermektedir. Mesafe rölelerinin en büyük avantajı, sistem üzerindeki akım büyüklüğü yerine empedansına göre cevap vermeleridir. Sistem üzerinde oluşabilecek bir aşırı akımın büyüklük seviyesi sistemin konfigürasyonunu değiştirmektedir. Mesafe röleleri akımın yanı sıra gerilimindeki değişimide kontrol ederek arıza mesafesini hesaplayabilmektedir. Bu yüzden mesafe röleleri belirli bir mesafeye kadarki alana erişecek şekilde ayarlanabilmektedir.

Mesafe rölesinin karakteristik özelliği, rezistans R ve reaktans X değişkenlerini tespit edebilmesidir. Bu sayede rölenin karakteristiğini ve hatta ait empedans değerini R-X analiz diyagramı üzerinde çizebilmektedir. R-X diyagramının incelenmesi neticesinde R ve X'e bağlı empedans değerinin pozitif bölgesinde kalan yer, açtırma yönünü ifade etmektedir. R-X diyagramına ait negatif çeyrek daire ise rölenin arkasında kalan, açtırma yapılmayan bölgedir. R-X diyagramına ait orijin noktası röleye ait akım ve gerilim transformatörlerinin bulunduğu yeri başlangıç noktası olarak kabul etmektedir [31].

Mesafe rölesi koruma işlevini gerçekleştireceği hattın önceden tanımlanmış olan bölgelerinde çalışacak şekilde ayarlanır. Röle ile arıza noktası arasında kalan ve hattın/hatların farklı kısımlarını izleyen arıza bölgeleri mesafe rölesi içerisinde ayarlanmaktadır. Mesafe rölesinin kademeli koruma bölgeleri şematik olarak Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Kademeli mesafe koruması [31]

3.1.2 Mesafe Koruma Rölesi Kademeleri

Mesafe koruma röleleri iletim hatlarında kademeli koruma yapmaktadırlar. Kademeli mesafe koruma düzenleri, yüksek hızlı bir geri-kapamaya ihtiyaç duymayan ve hat sonunda meydana gelen arızaların kısa gecikmelerle temizlenmesini tolere edilebildiği iletim hatlarının ana ve yedek koruması için kullanılmaktadır. Mesafe röleleri, röle konumu ile ayarlanan röle kademesi arasında kalan arızaları temizleyebilecek, arızanın ayarlanan kademenin (bölgenin) dışında kalıp kalmadığını tespit edebilecek şekilde tasarlanmışlardır. Mesafe rölesi istenilen noktaya kadar iletim hattı empedansını ölçebilmektedir.

3.1.2.1 Kademe 1

Basamaklı mesafe koruma düzeni iki ya da daha fazla kademeli koruma yapmaktadır. Güç sisteminde mesafe röleleri arasındaki koordinasyon; kademe menzillerinin ve farklı kademeler için belirlenen açma zamanının farklı olmasıyla sağlanmaktadır. Kademe 1; Korunan hattın %80-%90'nında koruma gerçekleştirmektedir. Herhangi bir zaman gecikmesi tanımlanmadan ani olarak açma yapması beklenir. %12 yada %20 lik pay, ölçü transformatörlerindeki hatalı ölçmelerden kaynaklı yanlış açmaların önüne geçmek için konulmaktadır. Kademe 1, hattın tamamına ayarlanmış olsa yanlış ölçümden dolayı komşu hatta meydana gelen bir kısa devre sanki korunan hatta olmuş gibi algılanabilir ve röle beklemeden açma yapar. Bu durumun önüne geçmek için, Kademe 1 genelde %15'lik bir hata payı ile korunan hattın %85'ine set edilir. Geriye kalan %15'lik kısım zaman gecikmeli Kademe 2 ile korunur. Kademe 1'in asla aşırı menzil olup karşı baradan ötesini koruması istenmez [31],[32].

3.1.2.2 Kademe 2

Kademe 2, korunan hattın tamamını ve komşu hattın bir kısmını belli bir zaman gecikmesiyle koruyan yönlü koruma bölgesidir. Korunan hattın tamamını ve komşu hatlardan en kısasının en az %20'sini içerecek şekilde ayarlanır. Kademe 2 için açma zamanı genel olarak 0.3-0.5s olarak seçilir. Komşu hatlardan kısa olan hattın %20'lik kısmının dâhil edilmesi bu bölgede aynı zamanda yedek korumada sağlamaktadır.

Kademe 2'nin temel amacı Kademe 1 menzilinin dışında kalan ve korunan hattaki arızaların giderilmesidir. Ayrıca Kademe 2, Kademe 1 için yedek koruma sağlar. Kademe 2 menzil ve zaman gecikme ayarları, komşu hat ve onun koruma düzenleri ile istenen yedek koruma ve koordinasyon koşullarına göre belirlenir. Kademe 2 menzil ayarı, korunan hat ile beraber uzak baradaki en kısa komşu hattın en az %50 sini ya da korunan hattın %120' sinden fazlasını kapsayacak şekilde ayarlanır. Eğer B barasın da akım beslemesi var ise bu etki Kademe 2 menzilini azaltacaktır. Fakat her durumda Kademe 2, ilk amacı olan korunan hattın tamamını kapsayacaktır. Aşırı menzil Kademe 2 elemanlarının koordinasyon bozukluğunu önlemek için uzak baradaki komşu hat bölümlerinin Kademe 1 elemanlarının herhangi birinin menzilini aşmaması önemlidir. Kademe 2 gecikme süresi, sonraki hat bölümünün birincil korumasının çalışma süresi, kesici açma süresi ve kesici arıza çalışma süreleri ile koordine olacak şekilde ayarlanmalıdır. Kademe 2 gecikmesi genel olarak sistem periyodunun 20-30 katı (50Hz için 400-600ms) olarak ayarlanır.

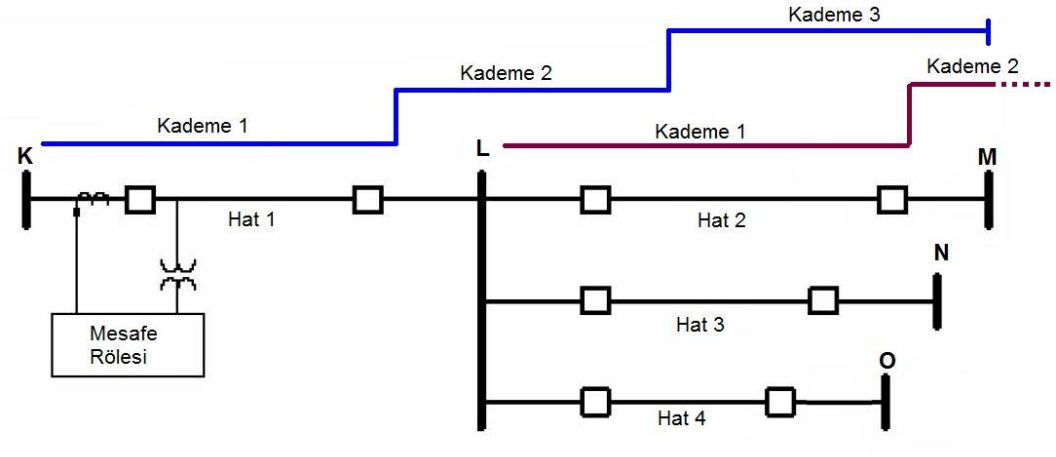
Aşırı menzil mesafe kademeleri, Kademe 2 ve Kademe 3, hem kademeli mesafe hem de yüksek hızlı pilot düzende kullanılmaktadır. Kademeli mesafe düzeninde, mesafeyle doğru orantılı olarak giderek artan zaman gecikmesiyle ayarlama yapılmaktadır. Örneğin, uzak baradaki Kademe 2, lokal baradaki Kademe 3'ten önce açma sinyali göndermelidir [31],[32].

3.1.2.3 Kademe 3

Genel olarak, kademeli koruma düzenlerinde Kademe 3 uzak bara istasyonundaki ana korumanın çalışmaması veya arızalanması durumunda zaman gecikmeli yedek koruma görevi yapar. Kademe 1 ve Kademe 2 insan can güvenliğini sağlamak, servis ve sistem karalılığını devam ettirmek için uygulanır. Kademe 3 ise ekipmanın ve insanların zarar görmemesi için uygulanır. Kademe 3 komşu uzun hattın tamamını kapsayacak şekilde ayarlanmalıdır. Kademe 1 ve Kademe 2 hiçbir zaman komşu uzun hattı aşmamalıdır. Kademe 3 ise hiçbir zaman düşük menzil olarak ayarlanmamalıdır. Kademe 1 ve Kademe 2 ayar değerleri hesaplanırken korunan hattın empedansı kullanılır. Burada herhangi bir besleme etkisi yoktur.

Kademe 3 ya da en uzak menzilli kademe, nadiren çalışması için kullanılır. Fakat, aşırı yüklenme koşulları, sıkışık güç sistem koşulları veya yavaş güç salınımlarında çalışmamalıdır. Aşırı menzil Kademe 3 elemanları geçmişte sıkışık güç sistemi koşullarında yanlış çalıştırılmıştır. Bu istenmeyen Kademe 3 açma durumları birbirini tetikleyen kaskat olaylara katkıda bulunarak geniş çaplı kesintilere sebep olmuştur. Uygun şekillendirilmiş mesafe karakteristiği kullanılarak veya yük aşımı ve güç salınımı özellikleri aktifleştirilerek bahsedilen konularda Kademe 3'ün yanlış çalışmasının önüne geçebilmek mümkündür.

Kademe 3 menzili Şekil 3.3'te görüldüğü üzere genellikle korunan hat ve komşu uzun hattın %100'ünü kapsayacak şekilde ayarlanır. Kademe 3 için açma zamanı genel olarak Kademe 2'nin iki katı alınarak 0.8-1.2s seçilir [31],[32].



Şekil 3.3 Kademe 3 ayarlanması [32]

3.1.2.4 Geri Kademe

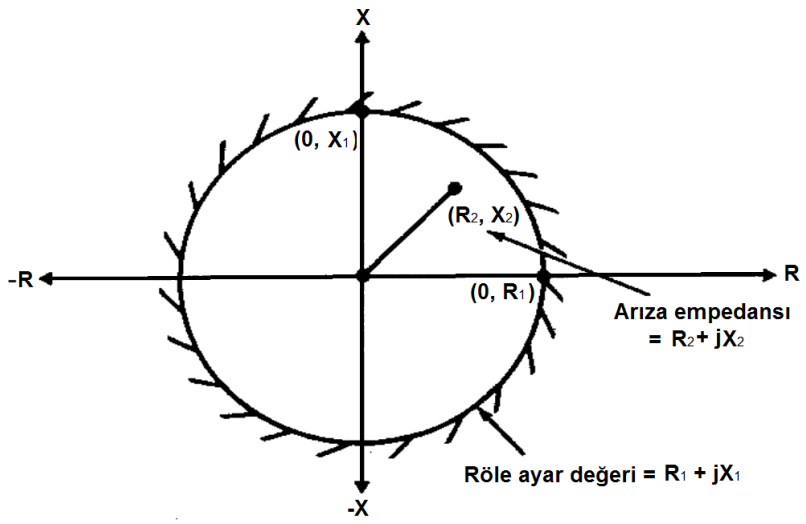
Geri yönde kalan en uzun hattın %100 ünü kapsayacak şekilde ayarlanmaktadır. Geri kademe için 1.5-2 saniye gecikme zamanı tanımlanmaktadır. Geri Kademenin yedek koruma yaptığı bütün hatlar için bir başka röle de Kademe 2 ya da Kademe 3 yedek koruması yapmaktadır. Yedek korumayı aynı seviyede sağlayabilmektedir. Fakat, Kademe 3'ün menzili yük altında veya güç salınımı esnasında işletme risklerini azaltacak kadar daha küçüktür. Geri Kademeli yedek korumanın dezavantajı, yedek korumasını yaptığı bölge ile aynı DC kaynaktan besleniyor olmasıdır ve bu yüzden aynı anda arıza yaşaması olasıdır [32].

3.1.3 Mesafe Rölesi Çeşitleri

Bazı nümerik dijital röleler arıza empedansını kesin olarak ölçüp R-X diyagramında daha önceden belirlenen empedans sınırları içerisinde kalıp kalmadığına karar verebilmektedirler. Geleneksel mesafe röleleri ise arıza empedansını kesin bir değerde ölçemezler. Fakat, bazı hesaplamalar yaparak yakın sonuçlar bulabilmektedirler. Arıza anındaki akım ve gerilim oranı değerini önceden belirlenen değerler ile karşılaştırarak arızanın bölge içerisinde mi yoksa dışarısında mı kaldığına karar vermektedirler. Mesafe rölesi empedans karşılaştırıcıları kutupsal karakteristiklerine göre, giriş sinyali sayılarına göre ve sinyal karşılaştırma metotlarına göre sınıflandırılmaktadırlar. Röle karakteristiği, giriş sinyali büyüklüklerinin karşılaştırılmasıyla elde edilen, R-X diyagramında çokgen ya da yuvarlak olarak oluşturulan karakteristiklerdir [32],[33].

3.1.3.1 Empedans Mesafe Rölesi

Empedans rölesi, kompleks empedansa ait vektörel toplamı ölçmektedir. Empedans rölesinin genel karakteristik gösterimi, R-X diyagramı üzerinde bir daire oluşturmaktadır. Örnek gösterim Şekil 3.4'te verilmiştir.



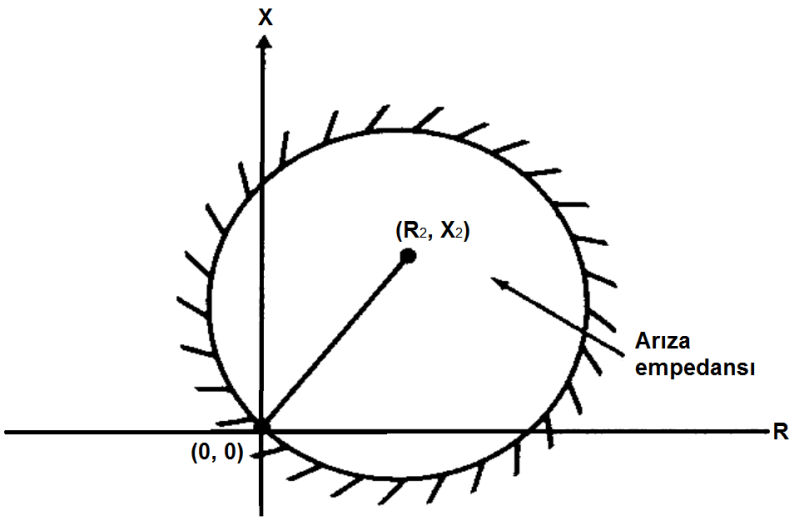
Şekil 3.4 Empedans rölesine ait genel R-X diyagramının gösterimi [34]

Empedans rölesi, hatanın olduğu nokta ile röle arasındaki direnç ve reaktansa bağlı bileşenlerin vektör toplamlarını alarak empedansını hesaplamakta ve bu değere göre

açtırma sinyali üretmektedir. Gerilim ile akım arasındaki faz açısını dikkate almaz. Şekil 3.4'te görülen hata noktası $Z_2 = R_2 + jX_2$ olup, rölenin ayarlanmış olan ayar değeri $\sqrt{(R_1^2 + X_1^2)}$ şeklinde bir daire çizmektedir. Röleye girilen ayar değeri $Z_1 = R_1 + jX_1$'dir [34].

3.1.3.2 Mho Mesafe Rölesi

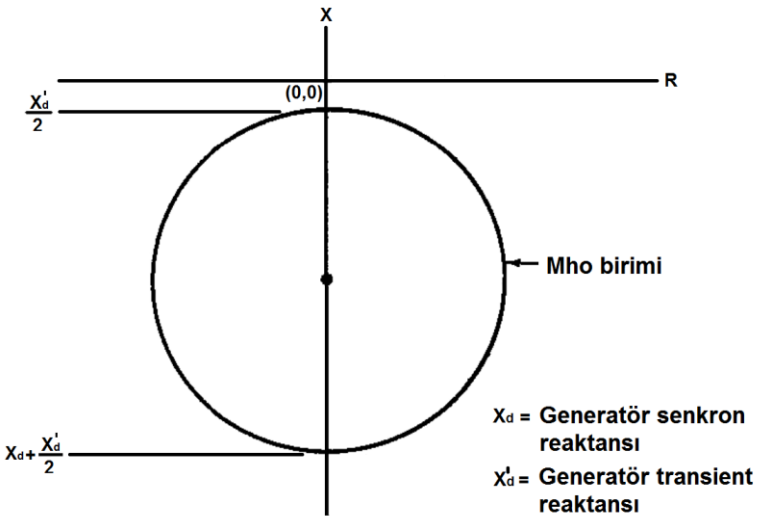
Mho rölesi kompleks bileşen içerisindeki admintans değerine göre çalışmaktadır. Gerilim ve akımın açısını göz önünde bulundurmaktadır. Bu sebeple Mho röleleri empedans rölesinin aksine yönlüdür. Mho mesafe röleleri Şekil 3.5'te görüldüğü üzere dairesel karakteriskiğe sahiptirler. Özel uygulamalarda mho karakteristiği ileri veya geri yönde ötelenebilmektedir.



Şekil 3.5 Mho rölesine ait R-X diyagramı [34]

3.1.3.3 Mho Gözetimli Reaktans Mesafe Rölesi

Kısa hatlardaki uygulamalarında, bir ohm(reaktans) biriminden ve bir mho biriminden oluşan kompozit yapıda kullanılmaktadır. Mho birimi, başlangıç birimi olarak yön fonksiyonu sağlamaktadır. Mho biriminin açtırma kontakları ve ohm birimi seri bağlıdır. Bu sebeple, her iki karakteristik üst üste gelerek çalışmaktadır. Mho gözetimli reaktans rölesi karakteristiği Şekil 3.6'da görülmektedir [33].

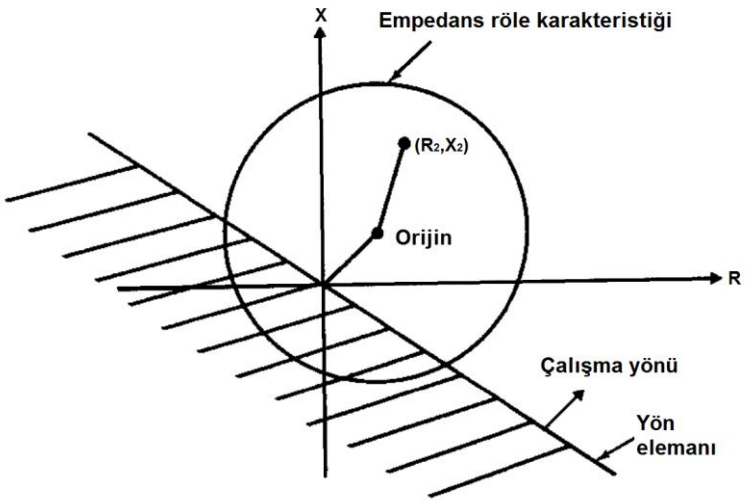


Şekil 3.6 Mho gözetimli reaktans rölesi R-X diyagramı [33]

Röleden arıza noktasına kadar olan reaktans değerinin X_1 değerinden az veya X_1 değerine eşit olması durumunda ve empedans değerinin mho karakteristiğinin içerisinde olması durumunda rölede açtırma sinyali üretilir.

3.1.3.4 Yönlü Empedans Mesafe Rölesi

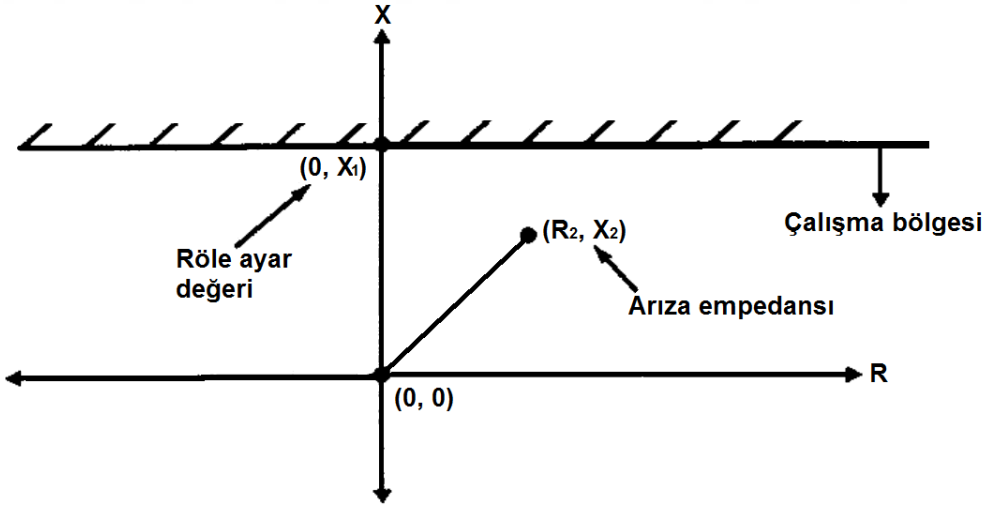
Yönlü empedans rölesinin bir tipi de dairesel karakteristiğinin birinci çeyrek daireye kaydırılmış hali olup, ayrıca buna yön elemanının eklenmesidir. Rölenin konumu ile hata noktası arasındaki empedans değerinin dairesel karakteristik üzerinde gölgelenmemiş alan içerisinde görülmesi durumunda kesicide açma olayı gerçekleşir. Son yıllarda birçok karakteristik şekli kullanılmaktadır. Geliştirilmiş olan bu karakteristik şekilleri hatta ait karakteristiğe benzetilerek istenmeyen işlemleri elimine etmektedir. Yönlü empedans rölesine ait R-X diyagramı Şekil 3.7'de verilmiştir [32].



Şekil 3.7 Yönlü empedans rölesi R-X diyagramı [32]

3.1.3.5 Reaktans Mesafe Rölesi

Reaktans mesafe rölesi, sisteme ait komplex empedansın reaktif bileşenini ölçmektedir. Genel bir reaktans rölesinin karakteristiğinde R-X diyagramına ait parallel doğrultuda bir R ekseni görülmektedir. Reaktans rölesine ait R-X diyagramı Şekil 3.8'de verilmiştir.



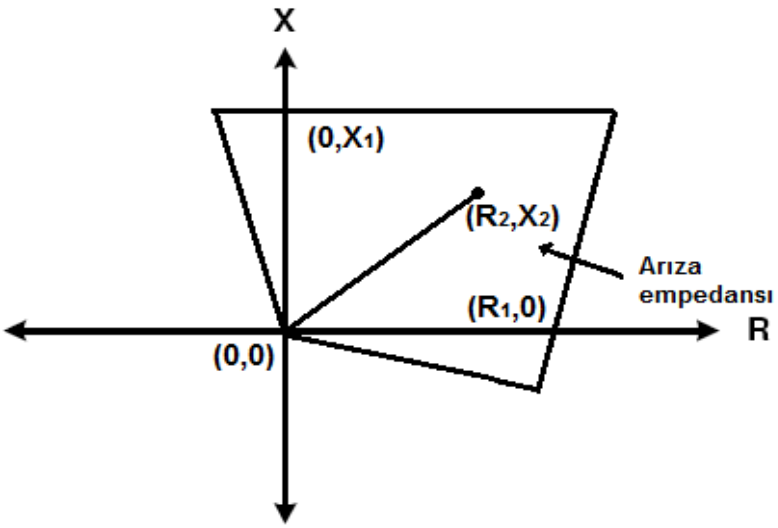
Şekil 3.8 Reaktans rölesi R-X diyagramı [33]

Reaktans rölesinin çalışmasında, hatanın olduğu yerden rölenin bulunduğu noktaya kadar olan reaktans hesaplanmaktadır. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi X_2'nin değeri X_1'e eşit veya daha azdır. X_1 reaktansı röleye girilmiş ayar değeridir. Rölenin ayarlanması durumunda negatif yöndeki herhangi bir reaktans değerine de açtırma göndermesi

mümkündür. Reaktans röleleri doğal yapısı itibariyle yönsüzdürler. Çalışması sırasında pratik olarak ark reaktansından etkilenmemektedirler. Ancak, reaktans röleleri büyük rezistif menzile sahip olduklarından dolayı normal yük akımında çalışabilmektedirler. Bu yüzden, rezistif erişim menzilini kısıtlamak için farklı rölelerle birlikte kullanılırlar [33],[34].

3.1.3.6 Quadrilateral (Dörtgensel) Mesafe Rölesi

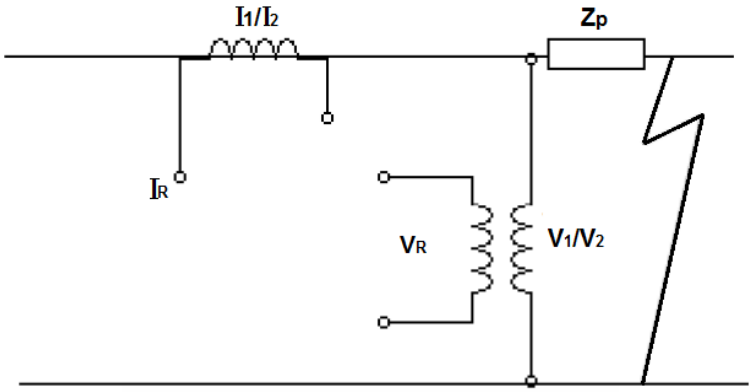
Modern mesafe rölelerinde hat direnç ve reaktans menzil değerleri quadrilateral karakteristik ile bağımsız olarak ayarlanabilir. Kısa hatlarda mho tipi karakteristiğe göre daha iyi rezistif kapsama sağlar. Özellikle faz-toprak arızalarında empedans değeri hesaplanmasında ark direnci ve toprak direnci değerlerinin toplam empedansa olan katkısı oldukça büyüktür. Dörtgensel empedans karakteristikleri, faz ve toprak arıza empedanslarını kapsamada son derece başarılıdır. İdeal bir mesafe rölesinin rezistif arızalara karşı duyarlı olması beklenirken, güç salınımlarından etkilenmeyecek şekilde R-X diyagramında olabilecek en az şekilde yer kapsamalıdır. Bu yüzden Quadritaletal tip röleler geleneksel empedans rölelerine göre daha ideal bir yaklaşım sunar. Bazı röleler hem Mho hem de Quadrilateral karakteristiğini desteklemektedir [34]. Quadrilateral rölesine ait R-X diyagramı Şekil 3.9'da verilmiştir



Şekil 3.9 Quadrilateral röle R-X diyagramı [34]

3.1.4 Sistem Empedansı

Güç sisteminin empedansı iki kısıma ayrılmaktadır. Birincisi, rölenin gerisinde kalan generatör, fider, transformatörler gibi ekipmanları içeren kaynak empedansıdır. İkincisi ise, rölenin koruduğu ileri yöndeki iletkenin tipine, geometrik düzenine veya malzemesine bağlı olan arıza empedansıdır. Genel olarak, bu empedans bilgileri üreticiler tarafından etiketlerin üzerine yazılmaktadır. Röle ayar değerlerinin belirlenebilmesi ve arıza akımının hesaplanabilmesi için bu iki tip empedans değerinin bilinmesi gerekmektedir. Ancak, yapılan bütün hesaplamalarda kullanılan empedans değerleri sekonder ohm cinsinden olmalıdır. Yani, akım transformatörü (AT) ve gerilim transformatörü (GT) sekonder tarafından alınan akım ve gerilim bilgileriyle hesaplanan empedans değeri kullanılmaktadır. Röle tarafından ölçülen empedansa ait görsel Şekil 3.10'da verilmiştir. Primer ve sekonder empedans arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir:



Şekil 3.10 Röle tarafından ölçülen empedans[29]

Rölenin ölçtüğü empedans değeri Z_R:

$$Z_R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{V_{FP}\ X \frac{V_2}{V_1}}{I_{FP}\ X \frac{I_2}{I_1}} \quad (3.1)$$

Hattın pozitif sıra sekonder empedansı Z_S:

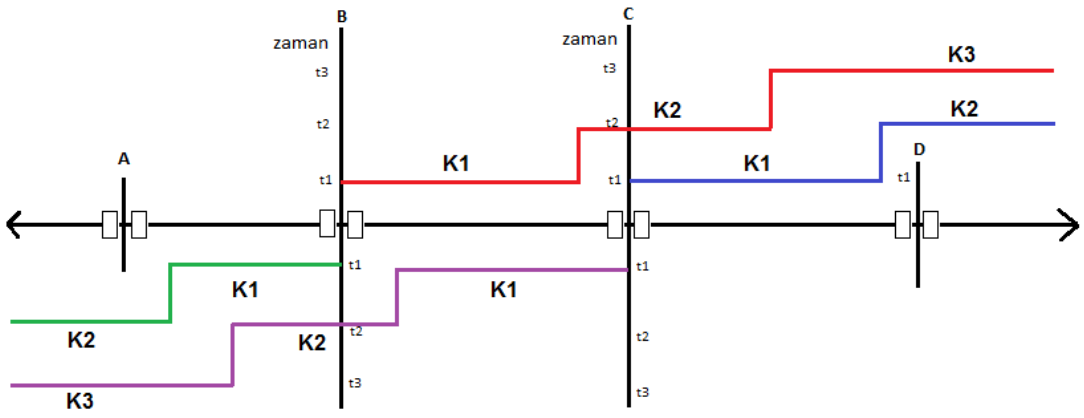
$$Z_S = Z_P\ X\ \frac{A.T.oranı}{G.T.oranı} \quad (3.2)$$

Burada, Z_R röleye girilen empedans değerini seconder ohm cinsinden, V_R röle geriminini seconder volt cinsinden, I_R röle akımını seconder amper cinsinden, V_{FP} arıza noktasındaki arıza gerilimini primer volt cinsinden, I_{FP} arıza noktasındaki arıza akımını

primer amper cinsinden, Z_P hattın primer tarafındaki pozitif sıra empedansını primer ohm cinsinden ve Z_S hattın sekonder tarafındaki pozitif sıra empedansını seconder ohm cinsinden belirtmektedir.

3.2 Mesafe Koruma Rölesi Koordinasyonu

Koruma sisteminin temel görevi arızayı tespit etmek ve arızayı besleyen tüm yolları devre dışı bırakmaktır. Bununla birlikte, koruma sistemi sadece arızalı bölgeyi temizleyecek şekilde seçici olmalıdır. Bu yüzden, koordinasyon çalışmaları maksimum seçiciliği sağlayarak, yanlış açmaların önüne geçecek şekilde yapılmalıdır. Diğer bir konu ise, cihazların sistemin içerisindeki herhangi bir ekipmanın arızalanması durumunda yedekli korumayı sağlayacak şekilde tasarlanmasıdır. Bu tasarıma seçici koordinasyon denilmektedir. Koruma sistemi mühendisliğinin önemli endişelerinden birisi de yanlış açmaların önüne geçebilmek için farklı röle birimlerinin birbirleriyle uyumlu şekilde çalışmasını sağlayabilmektir. İletim sistemi topolojisi veya kaynağın kısa devre gücü değiştiğinde röle koordinasyon çalışmasının yeniden yapılması gerekmektedir. Tipik olarak 3 kademeli bir mesafe rölesine ait zaman-mesafe karakteristiği Şekil 3.11'de verilmiştir. Burada, K1 Kademe 1'i, K2 Kademe 2'yi, K3 Kademe 3'ü; t1, t2, t3 bu kademelere ait zaman gecikmelerini ifade etmektedir [34].



Şekil 3.11 Kademeli zaman mesafe diyagramı [34]

3.2.1 Ana (Birincil) ve Yedek Koruma

Güç sistemleri farklı bölgelere ayrılarak korumaları yapılmaktadır. Her rölenin birincil korumayla görevli olduğu ekipmanı koruması en uygun koruma yöntemidir. Sistemde

bir arıza meydana geldiğinde ilk tepki birincil koruma yapan röleden gelmelidir. Eğer, birincil koruma rölesi arızalanırsa veya açmazsa yedek koruma arızayı temizlemelidir.

Birincil korumadaki hatalar AT/GT oranındaki yanlışlıklardan, röleden veya kesici arızalarından kaynaklanmaktadır. Yedek korumayı yapan röle birincil koruma yapan röleden farklı bir yere konulmalıdır. Ayrıca, yedek koruma kesiciyi açtırmak için birincil korumayı beklemelidir. Başka bir deyişle, yedek koruma yapan rölenin açma süresi birincil koruma yapan röleye göre gecikmeli olmalıdır. Bu sayede yedek korumanın birincil korumadan önce açma yapmasının önüne geçilecektir.

3.3 Mesafe Rölesinin Çalışmasını Etkileyen Faktörler

Hem arıza durumlarında hem de normal işletme koşullarında güç sisteminin güvenilir şekilde çalışması için röle ayar değerlerinin uygun olması gerekmektedir. Mesafe koruma rölesi ayar değerlerinin arıza olmadığında çalışmamasından, arıza durumunda ise çalışmasından emin olunmalıdır. İdeal röle ayarları AT/GT saturasyon durumları gibi parazitlerden etkilenebilmektedir. Rölenin çalışmasını etkileyen ana nedenler:

- Arıza direnci,
- Besleme (Infeed) etkisi,
- Dallanma (Branch-off) etkisi,
- Yük aşımı,

olarak sıranalabilmektedir [33].

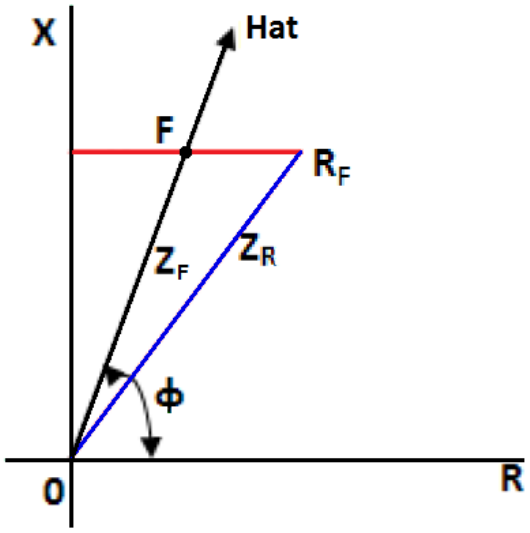
3.3.1 Arıza Direnci

Hat direnci, toprak direnci ve ark direnci arıza direncini oluşturan bileşenlerdir. Faz-faz arasında bir atlama olursa, yüksek gerilimli bir ark direnci kısa devre yoluna dahil olmaktadır. Faz-toprak arızalarında ise ark direnci ile birlikte, toprak direnci de kısa devre yoluna dahil olmaktadır. Ark direncinin hat direncine eklenmesinden dolayı röle tarafından görülen toplam arıza empedansı değeri artmaktadır. Reaktif bileşenin ihmal edilebildiği yerlerde ark direnci saf direnç gibi davranmaktadır. Ark boyu kayda değer bir uzunluğa erişmeden röle ani olarak açacağı için Kademe 1'in doğru çalışmasında

büyük bir etkiye sahip değildir. Bu yüzden, ark direnci yedek korumayı sağlayan kademelerde çok daha büyük etkilere neden olmaktadır [32].

Arıza direncinin mesafe rölesinin menziline olan etkisi Şekil 3.12'de görülmektedir. F noktasındaki bir arıza için hat empedansı Z_F dir. Fakat, arıza direncinin etkisinden dolayı röle tarafından ölçülen empedans değeri (Z_F + R) dir. Buradan görüleceği üzere ark direnci rölenin düşük menzilde çalışmasına neden olmaktadır. Bu durum yanlış çalışmalara yol açmaktadır.

Oluşan bir arkın fiziksel doğası gereği gerilim ve akım arasındaki ilişki lineer değildir. Bundan dolayı ark direnci lineer olmamaktadır. Fakat, deneysel yaklaşımlar sonucu ortaya atılan, ark direncini yaklaşık olarak hesaplayan formül aşağıda verilmiştir:



Şekil 3.12 Arıza direncinin etkisi

Ark direnci aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır;

$$R_a = \frac{28710}{I^{1.4}} . L \qquad (3.3)$$

Eşitlikte; R_a ark direncini (ohm), L ark uzunluğunu (m), I ark akımını (A) ifade etmektedir.

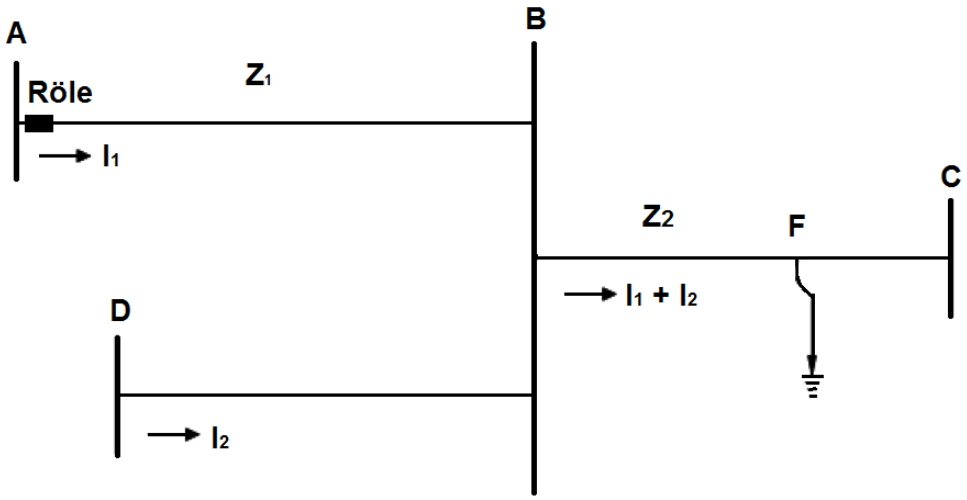
3.3.2 Besleme (Infeed) Etkisi

Röle ile arıza noktası arasındaki kaynak akımlarının etkisine besleme etkisi denilmektedir. Bu etki mesafe rölesinin düşük menzil kalmasına neden olmaktadır.

Mesafe rölesinin düşük menzile kalması, arıza noktasındaki empedansın rölenin ölçtüğü empedanstan büyük olmasıdır. Şekil 3.13'te B-C hattında F noktasında bir arıza olması durumunda A noktasındaki röle için infeed etkisi incelenmiştir. A noktasındaki rölenin gördüğü empedans değeri:

$$Z = Z_1 + \left(\frac{I_1 + I_2}{I_1}\right).Z_2 \quad (3.4)$$

olmaktadır. Burada Z rölenin ölçtüğü arıza empedansını, Z_1 A-B hattının empedansını ve Z_2 B-F arasındaki hat empedansını ifade etmektedir. Yukarıdaki denklemden görüldüğü üzere arıza empedansı Z, aslında röle tarafından ölçülen (Z_1 + Z_2) empedansından büyük çıkmaktadır. Bu da rölenin arızayı olduğundan daha uzak noktada görmesine sebep olmaktadır [32][34].



Şekil 3.13 Mesafe rölelerinde besleme etkisi [32]

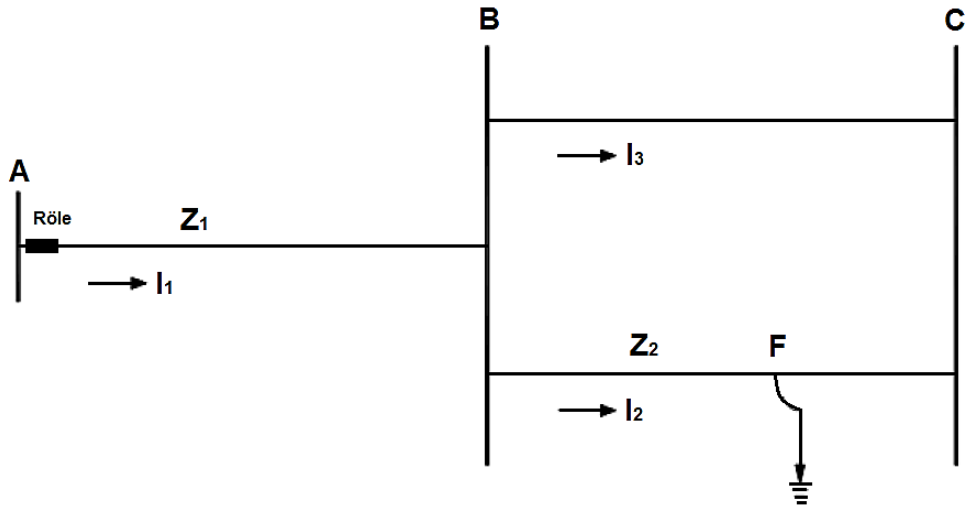
3.3.3 Dallanma (Branchinf-off) Etkisi

Dallanma etkisi mesafe rölesinin aşırı menzil olmasına neden olabilmektedir. Aşırı menzil olması, arıza empedansının röle tarafından ölçülen görünür empedanstan daha büyük olmasıdır. Şekil 3.14'te görüldüğü üzere F noktasındaki arıza empedansının A barasındaki röle tarafından ölçüldüğü değer $Z_1 + Z_2$ dir. Fakat I_1 akımı B barasında I_2 ve I_3 olarak dağılırsa röle tarafından görülen arıza empedansı değeri,

$$Z = Z_1 + (I_2 / I_1 * Z_2) \quad (3.5)$$

olacaktır. Bu değer, ilk durumdaki ($Z_1 + Z_2$) değerine göre daha küçüktür.

Dallanma etkisinden dolayı arıza röle tarafından olduğu noktadan daha yakında görülür. Bu nedenle, mesafe rölesi tarafından belirlenen empedans olduğundan daha düşük olup aşırı menzil olarak algılanır. Aşırı menzil durumu, rölenin seçici koruma yapmasının önüne geçmektedir [32],[33].

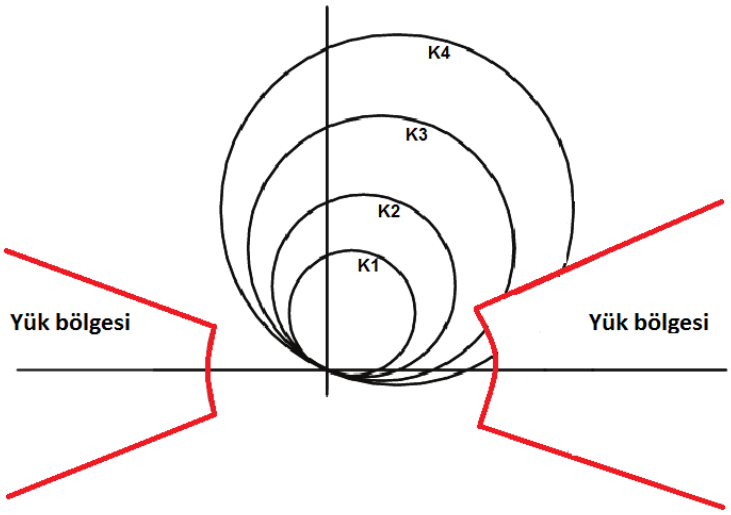


Şekil 3.14 Mesafe rölelerinde dallanma etkisi

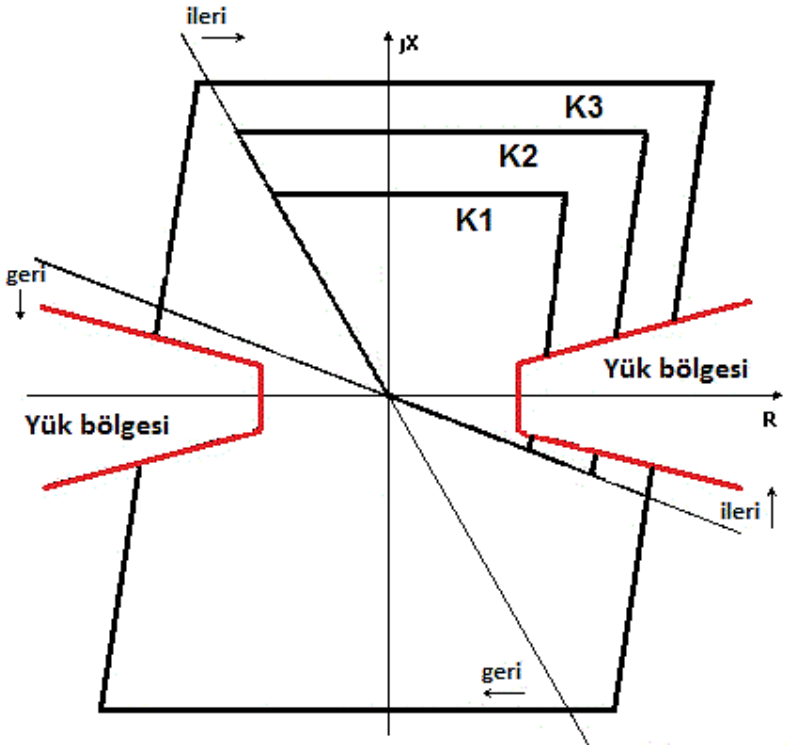
3.3.4 Yük Aşımı

Uzun ve çok yüklü hatlarda, yük empedansı mesafe koruma rölesinin kademesine girebilmektedir. Başka bir deyişle, röle aşırı yüklenme durumlarını arıza olarak algılayabilmektedir. Böyle durumlarda, arıza olmamasına rağmen röle trip üretmektedir. Aşırı yüklenme ve kısa devre durumlarını ayırt etmek faz açısı farklılığıyla tespit edilebilmektedir. Yük empedansı için faz açısı $+30^0$ ile -30^0 arasında olurken, kısa devre durumunda faz açısı 60^0 ile 80^0 derece arasında olmaktadır [35].

Yük aşımı problemi daha çok düşük empedans başlatmalı rölelerde meydana gelmektedir. Uzun ve yüklü hatları korumak için yük körleştirme karakteristikli röleler seçilmelidir. Mikroişlemcili rölelerde bu seçimi yapmak gayet kolaydır. Şekil 3.15'te Mho tipi, Şekil 3.16'da Quadrilateral tipi rölede yük aşımı karakteristiği gösterilmektedir.



Şekil 3.15 Mho tipi mesafe rölesinde yük aşımı [35]



Şekil 3.16 Quadrilateral tipi mesafe rölesinde yük aşımı [35]

Yük aşımı bölgesi, maksimum yük açısı ve minimum yük direnci ile hesaplanabilmektedir. Aşağıdaki eşitliklerde yük empedansı ve yük direnci ifadeleri verilmiştir.

$$Z_{yük} = \frac{U_{min}}{\sqrt{3}\, X\, I_{max}} \tag{3.6}$$

$$R_{yük} = Z_{yük} \text{ x } \cos\varphi_{yük} \tag{3.7}$$

Bu eşitliklerde; U_{min}: minumum gerilim, I_{max}: maksimum yük akımı, $R_{yük}$: minumum yük direnci, $\varphi_{yük}$: maksimum yük açısını ifade etmektedir.

3.4 Mesafe Rölelerinde Polarizasyon Yöntemleri

Karşılaştırma tabanlı mesafe elemanları güvenilir bir açı referansını sağlayıp yön ayrımı yapabilmek için polarizasyon özelliğine ihtiyaç duymaktadırlar. Herhangi bir arıza oluşması durumunda, bu açı değeri sabit olmalı ve koruma elemanının arıza temizlenene kadar sürekli olarak çalışmasını garanti etmelidir. Polarizasyon özelliği için temel gereklilikler;

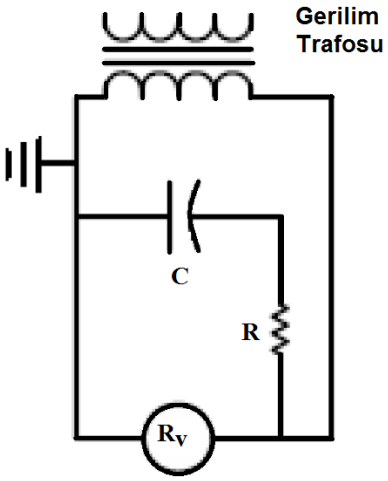
- Tüm bölgelerde iç arızalar için güvenilir çalışmayı sağlama,
- Bütün dış arızalar için güvenlikli çalışmayı sağlama,
- Tek faz açma durumlarında sabit çalışmayı sağlama,
- Arıza direncini tolere edecek şekilde çalışmayı sağlama,

olarak sıralanabilir. Mesafe fonksiyonları geri ve ileri yönlü yakın arızaların yön ayırımını yapabilmek için güçlü bir polarizasyona ihtiyaç duymaktadırlar. Yakın arıza durumlarında, röle gerilimi sıfıra düştüğünde ya da sıfıra çok yakın olduğunda kendinden polarize bir Mho mesafe rölesi elemanı çalışmayabilir veya yakın ters bir arıza algılayarak yanlış açabilir. Bu durumu düzeltecek yöntemler arasında, öteleme (offset) Mho, öteleme merceksel (lenticular), çapraz kutuplu veya bellek kutuplu yönlü empedans karakteristikleri gibi doğrusal olmayan empedans karakteristikleri bulunmaktadır [36].

3.4.1 Bellek İşlemi

Elektromekanik ve mekanik rölelerde, R-C devresi her bir gerilim transformatörünün sekonder sargısına bağlanmıştır. Sistem gerilimi çöktüğünde, Şekil 3.17'de verilen R-C devresi ile rölenin gerilim bobini yaklaşık olarak güç sistemi frekansına tekabül eden bir rezonans frekansına sahip olan devre oluşturur. Normal çalışma esnasında devreler enerjili kalmaktadır. Arıza sırasında gerilim aniden düştüğünde, arıza yönünü tespit etmede kullanılan referans gerilimi sağlamak için gerilim bobinindeki akımı

korumaktadır. Rezonans devresinin çıkışı zamanla azaldığı için bellek işlemi sınırlı bir zaman dilimi için kullanılabilmektedir.



Şekil 3.17 Bellek işlemi R-C devresi

Mikroişlemcili röleler için bellek polarizasyon tekniklerinde en fazla görülen tipler Sonsuz Darbe Cevaplı (IIR: Infinite Impulse Response) filtrelerdir. IIR filtresi bellek zaman sabiti veya kutuplu bellek uzunluğunun seçimi kritik bir tasarım gerektirmektedir. Zaman sabitini belirleme esnasında dikkat edilmesi gereken konular aşağıda verilmiştir:

- Hem içsel hem de dışsal sıfır gerilimli arızaları maksimum giderme süresi.
- Röle geriliminin çok küçük olduğu durumlarda bile yüksek kaynak empedans oranlı (SIR: Source Impedance Ratio) sisteminin yedek kademe alanlarından temizlenme süresi.
- Seri kompanzasyon kapasitörlerinin bypass anahtarlama süresi.

Seri kapasitör kompanzasyonlu hatlarda, gerilimin ters dönmesi Mho mesafe rölelerinde yön güvenilirliğini olumsuz etkilemektedir. Böyle uygulamalarda, polarize edilen bellek; arıza temizleninceye, ark aralığı koruması çalışıncaya veya kapasitör bypass anahtarı gerilim azalmasını giderinceye dek doğru ve sabit mesafe elemanının çalışmasını sağlayacak kadar uzun olmalıdır [36].

3.4.2 Mesafe Rölelerinde Yön Belirleme (Polarizasyon)

Faz karşılaştırıcılarında, korunan bölgedeki bir arızayı tespit etmek için çalışma ve kutuplaşma sinyalleri kullanılmaktadır. Örneğin, B-C fazları arasında oluşan arıza için işletme gerilimi;

$$V_{BC} = (I_B - I_C)Z_R - (V_B - V_C) \quad (3.8)$$

polarize gerilimi;

$$V_p = (V_B - V_C) \quad (3.9)$$

bağıntılarıyla hesaplanabilmektedir. Bu tip röleler kendinden polarizedir. Geleneksel olarak üç tip polarizasyon kullanılmaktadır. Bunlar; çapraz polarizasyon, ileri faz polarizasyon ve geri faz polarizasyondur. Çapraz polarizasyon faz-faz arıza tespitinde kullanıldığı gibi aynı şekilde faz-toprak arıza tespitinde de kullanılmaktadır. Tek faz toprak arıza rölelerinde ileri ve geri faz polarizasyonu kullanılmaktadır. Son günlerde, pozitif sıra gerilim polarizasyonu kararlı durum röleleri ve nümerik rölelerde kullanılmaktadır. Mesafe koruma polarizasyon yöntemleri aşağıda sıralanmıştır [28],[36]:

- Kendinden polarizasyon, polarizasyon ölçütü olarak arızalı faza ait çevrim gerilimini kullanmaktadır. Ortaya çıkan Mho karakteristiği sistem şartlarından, arıza durumlarından veya zamandan etkilenmediği için statik bir Mho olarak ifade edilmektedir.
- Çapraz polarizasyon, polarizasyon ölçütü olarak arıza olmayan faza ait çevrim gerilimini kullanmaktadır. Oluşturulan Mho karakteristik farklı sistem ve arıza koşulları için değişken biçimler alabildiği için değişken Mho olarak adlandırılmaktadır. Çapraz polarize Mho karakteristik zamanla değişmemektedir.
- Bellek polarizasyon, polarizasyon ölçütü olarak belleğe kaydedilmiş kendinden veya çapraz polarizasyon değerlerini kullanmaktadır. Bellek polarizasyonu ile üretilen Mho karakteristik zamanla değişen bir yapıya sahip olduğundan dinamik Mho olarak adlandırılmaktadır.

- Birleşik polarizasyon, bellekli pozitif sıra gerilim polarizasyonu en önemli birleşik polarizasyon şeklidir.

3.4.2.1 Kendinden Polarizasyon

Kendinden polarizasyon, polarizasyonun en eski ve en basit tipidir. Birçok dezavantajı vardır. Kendinden polarizasyon yeteri kadar arıza direnci kapsamı sağlamaz, büyük direnç üzerinden akan arıza akımlarında güvenli değildir. Sıfır gerilim arızalarında çalışmaz. B-C fazları arasında kısa devre olduğunda, kendinden polarize B-C faz rölesinin çalışması aşağıdaki eşitlikle açıklanabilir:

$$k_1[(I_B - I_C).R - (V_B - V_C)]\,(V_B - V_C)\cos\varphi - k_2 \geq 0 \qquad (3.10)$$

Eşitliğin sıfırdan büyük olduğu durumlarda röle çalışmaktadır. φ açısı işletme sinyali ile polarize sinyaller arasındaki faz kaymasıdır.

Kendinden polarize röleler tak faz toprak arızalarında aşağıdaki eşitsizlik sağlandığında çalışmaktadır [28]:

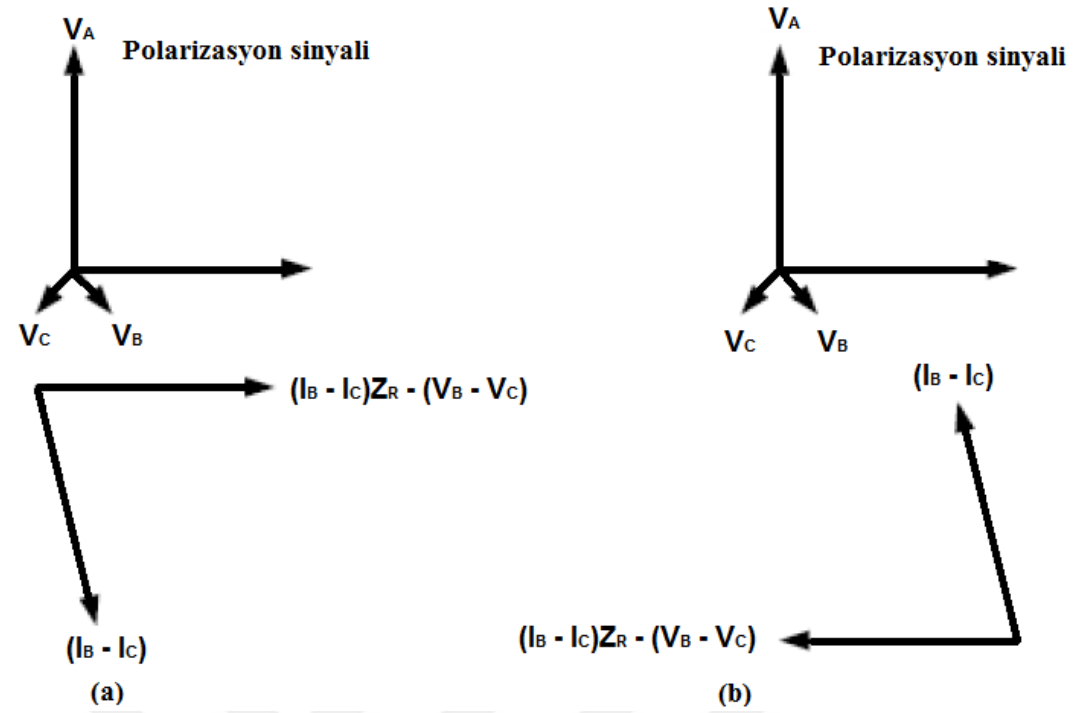
$$k_1[(I_A + k_0.3I_0)Z_R - (V_A)]\,(V_A)\cos\varphi - k_2 \geq 0 \qquad (3.11)$$

3.4.2.2 Çapraz Polarizasyon

Çapraz polarizasyon faz-faz arızalarında çalışan rölelerde kullanılmaktadır. Çapraz polarizeli mesafe rölelerinde, B-C fazları arasındaki arızanın tespit edilmesinde -90 derece kaydırılmış A fazı gerilimi kullanılır. Bu gerilim, kendinden polarize rölelerde polarizasyon gerilimine eklenmektedir. Bu şekilde çalışan röleler aşağıdaki eşitlikle açıklanabilir:

$$k_1[(I_B - I_C).R - (V_B - V_C)][\,(V_B - V_C) + kVA\angle 90^0]\cos\varphi - k_2 \geq 0 \qquad (3.12)$$

Eşitliğin sıfırdan büyük olduğu durumlarda röle çalışmaktadır. Yakın arızalar için B-C faz gerilimi pratikte sıfır olduğundan, polarizasyon gerilimi arızanın rölenin hat tarafında mı yoksa bara tarafında mı olduğunu belirlemede yardımcı olur. Arıza anında rölenin gördüğü hat tarafı ve bara tarafı işletme ve polarizasyon sinyalleri Şekil 3.18'de verilmiştir. B ve C fazları arasındaki arızayı tespit etmek için kullanılan röle, faz kaymalı A faz gerilimi kullanılarak çapraz kutuplanır [28],[36].

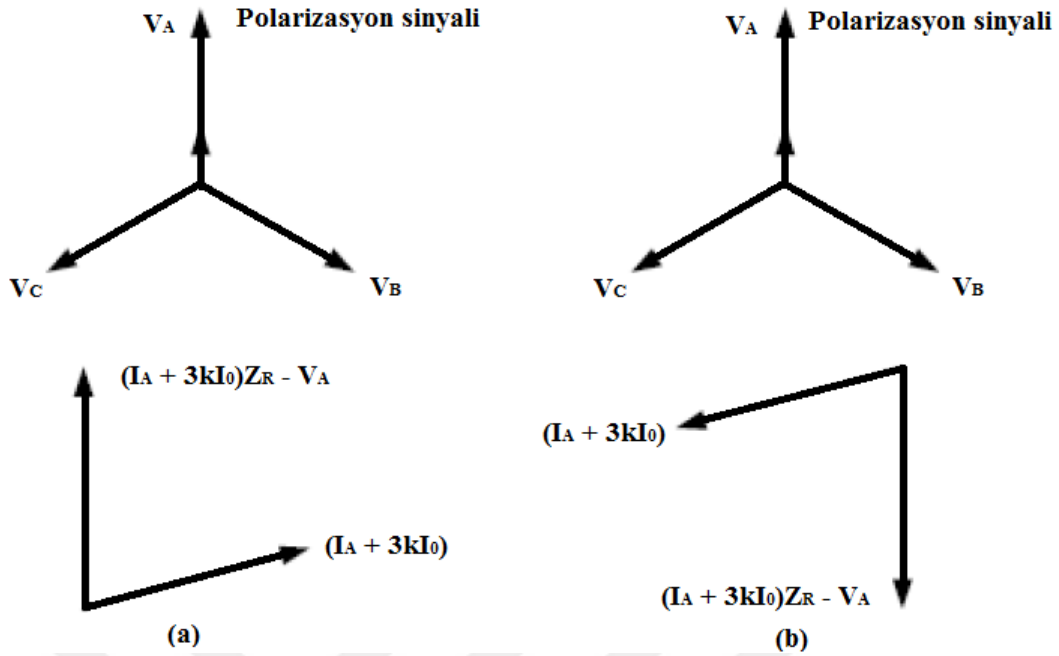


Şekil 3.18 B-C fazları arızasında işletme ve polarizasyon sinyalleri (a) hat tarafı (b) bara tarafı [36]

Röle, bölgesine yakın faz toprak arızalarda A faz gerilimi çökerse röle arızayı tespit edemeyecektir. Rölenin çalışması için gerekli tork B ve C faz gerilimlerinden sağlanmaktadır. Aşağıdaki eşitsizlik sağlandığı takdirde röle çalışacaktır:

$$k_1[(I_A + k_0.3I_0)Z_R - (V_A)][k_3(-V_B + V_C) \angle -90^0] \cos\varphi - k_2 \geq 0 \quad (3.13)$$

Yakın arızalarda A faz gerilimi pratik olarak sıfır olduğundan dolayı, arızanın hat tarafında mı yoksa bara tarafında mı olduğunu belirlemek için polarize gerilim kullanılmaktadır. Hat ve bara kısmındaki işletme ve polarizasyon sinyalleri Şekil 3.19'da gösterilmiştir. B faz toprak arızasını belirlemek için kullanılan röle, A ve C fazları arasındaki faz kaymalı gerilim kullanılarak çapraz polarize edilir.



Şekil 3.19 A faz-toprak arızalarında işletme ve polarizasyon sinyalleri (a) hat tarafı (b) bara tarafı [36]

3.4.2.3 Geri Faz polarizasyonu

Röle noktasına yakın bir bölgede faz toprak arızası oluştuğunda, arızalı fazın gerilimi çok küçük değerlere kadar düşmektedir. Bu durum, rölenin arızanın hat tarafında mı yoksa bara tarafında mı olduğunu belirlemesinde sorunlara yol açar. Böyle durumlarda, olası yaklaşımlardan bir tanesi geri faz gerilimini polarizasyon sinyali olarak kullanmaktır. Örneğin, eğer A fazında böyle bir arıza oluşursa, B faz gerilimin bir parçası polarizasyon sinyali olarak kullanılabilmektedir. Aşağıdaki bağıntı sağlandığında röle çalışmaktadır [36]:

$$k_1[(I_A + k_0.3I_0)Z_R - (V_A)][k_3(-V_B)\angle -60^0]\cos\varphi - k_2 \geq 0 \quad (3.14)$$

3.4.2.4 İleri Faz Polarizasyonu

İleri faz polarizasyonu, arızalı fazın ilerisindeki fazın geriliminin polarizasyon için kullanılması dışında geri faz polarizasyonuna benzerdir. Örneğin, A fazında arıza olması durumunda C faz geriliminin bir parçası polarizasyon sinyali olarak kullanılmaktadır. Aşağıdaki bağıntı sağlandığında röle çalışmaktadır:

$$k_1[(I_A + k_0.3I_0)Z_R - (V_A)][k_3(-V_C)\angle 60^0]\cos\alpha - k_2 \geq 0 \quad (3.15)$$

Günümüzde bellek işlemleri geliştiği için ileri ve geri faz polarizasyonu endüstride tercih edilmemektedir. Ayrıca, tek faz toprak arızası durumlarında, çapraz polarizasyonun ileri ve geri faz polarizasyonun bir kombinasyonu olduğu unutulmamalıdır [28].

3.5 Arıza Türünün Belirlenmesi

Mesafe rölesi elemanları, güvenlik açısından 6 farklı arıza türünü (A-G, B-G, C-G, A-B, B-C, C-A) farklı sistem durumları ve yüklenme koşulları altında belirleyebilmelidir. Burada; A, B, C enerjili fazları, G toprağı temsil etmektedir.

Burada iki önemli durum söz konusudur:

- Toprak mesafe elemanları faz-faz-toprak arızalarında aşırı menzil olabilirler.
- Faz mesafe elemanları yakın faz-toprak arızalarında çalışabilir.

İlk durum genellikle her uygulamada karşılaşılan bir problem olarak düşünülür. İkinci durum ise, tek kutuplu açmalarda problem olarak görülür ve üç kutuplu açmalarda problem belirtisinin göstergesidir. Düzgün bir röle tasarımı, istenmeyen açmaların ve blokajların korumanın performansına etkilerini güvenli biçimde azaltmayı amaçlayacak şekilde olmalıdır [36].

3.6 Başlatma Fonksiyonu (Arıza tespiti)

Başlatma fonksiyonunun ilk görevi güç sisteminde meydana gelen kısa devre arızasını tespit etmek ve sınıflandırmaktır. Faz seçici olmalıdır, arızalı fazı doğru olarak tespit edebilmeli ve arıza olmayan fazlarda yanlış açmalara neden olmamalıdır. Bu durum, tek faz otomatik geri kapama olan hatlarda tek faz arızası meydana geldiğinde seçici korumayı sağlamak için önem arz etmektedir. Ayrıca, başlatma fonksiyonunun aktif olması ve aktif olmaması, arızanın başlamasının ve sonlanmasının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu yüzden, başlatma fonksiyonu, kademe zamanlayıcısı ve arıza kaydedicisini tetiklemektedir [28].

3.6.1 Aşırı Akım Başlatma

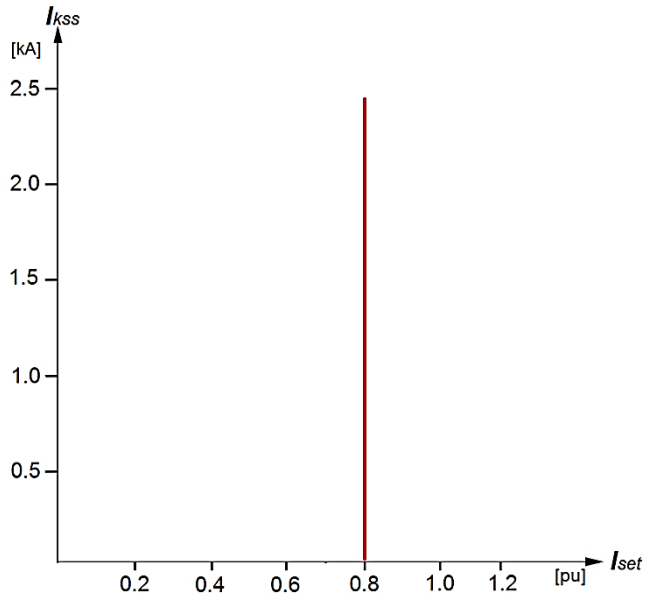
En basit ve en hızlı arıza tespit metodudur. Düşük empedanslı hatlarda ve yeterince büyük kısa devre akımlarının aktığı güçlü kaynakların olduğu hatlarda kullanılabilmektedir. Genel olarak, minimum kısa devre akımı maksimum yük akımından iki kat daha fazla olmaktadır. Bu yüzden seçilen başlatma akımı faz-faz arızaları için hattan geçebilecek maksimum yük akımının yaklaşık 1.3 katı, faz-toprak arızaları için ise hattın nominal akımının 0.5 katı seçilmelidir [28].

Paralel hatlarda, hatlardan birinin devre dışı kalması durumunda kısa devre olduğunda o hattan eskisine göre iki kat fazla kısa devre akımının akacağı düşünülmelidir. Böyle olaylarda faz-faz arızaları için yapılan ayarlar iki katı büyük seçilmelidir [28].

Ayrıca, toprak olan sistemlerde başlatma akımı olarak sadece toprak akımının kullanılması yeterli olmamaktadır. Kısa devre akımının röleye başlatma verecek kadar büyük olup olmaması kontrol edilmelidir.

Arıza tespitinin güvenilirliğini belirlemek için mutlaka 2-faz arızası kullanılmalıdır. Çünkü, arıza akımı değeri 3-faz arızasına göre $\sqrt{3}/2$ oranında daha küçük olmaktadır. Böylece, arızanın minimum kısa devre akımında doğru çalışıp çalışmadığı tespit edilecektir.

0.8 pu değerine ayarlanmış bir aşırı akım başlatma karakteristiğine ait diyagram Şekil 3.20'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere aşırı akım başlatma karakteristiği kısa devre akımının büyüklüğünden etkilenmemektedir.



Şekil 3.20 0.8 pu için aşırı akım başlatma karakteristiği [28]

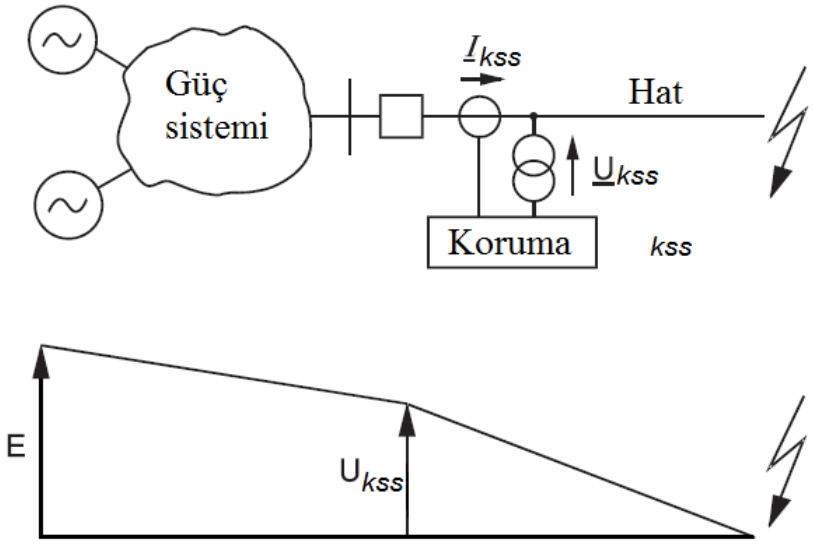
3.6.2 Düşük Empedans Başlatma (U< ve I>)

Hem aşırı akım hem de düşük gerilim bilgilerini kullanan başlatma tipine düşük empedans başlatma denilmektedir. Aşırı akım başlatmanın yetersiz kaldığı durumları gidermek için ortaya çıkmıştır. Aşağıdaki sebeplerden dolayı aşırı akım başlatmayı sağlayan fiderdeki kısa devre akımı çok küçük kalabilmektedir:

- Zayıf kaynak (büyük kaynak empedansı),
- Paralel kollardan dolayı akımın kollara bölünmesi,
- Transformatör yıldız noktasındaki dirençten dolayı toprak akımının sınırlanması.

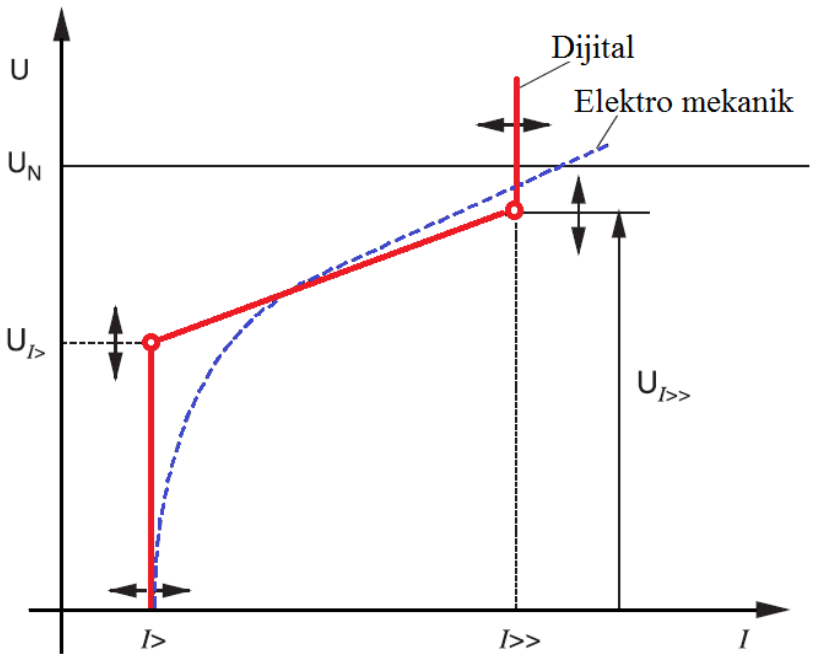
Bu durumlardan dolayı başlatma kriterlerinin içerisine gerilim değerini de katmak faydalı olmaktadır.

Şekil 3.21'de görüldüğü üzere röle noktasındaki gerilim değeri kaynak empedansı ve arıza empedansı (arızanın uzaklığı) değerlerine bağlıdır [28],[36].



Şekil 3.21 Kısa devre anında röle noktasındaki gerilim [28]

Fiderde gerilim olmadığı zaman yanlış başlatmaların önüne geçebilmek için, düşük empedans kriteri küçük (0.2-0.5 I_N) bir değere ayarlanmış aşırı akım başlatmayla birlikte kullanılmalıdır. Düşük empedans başlatmalı konfigürasyonlarda, gerilim eşik değeri akımla kontrol edilir. Bu yüzden, gerilimin açma hassasiyeti akımın açma hassasiyetine bağlı olarak artmaktadır. Şekil 3.22'de ortaya çıkan başlatma karakteristiği gösterilmektedir.



Şekil 3.22 Düşük empedans başlatma karakteristiği [28]

Burada;

I>> aşırı akım başlatma sınırını ifade eder.

Röle ayarlanırken tipik olarak aşağıdaki başlatma değerleri kullanılabilir:

$I > = 0.25\ I_N$ ve $I >> = 2.5\ I_N$ (3.16)

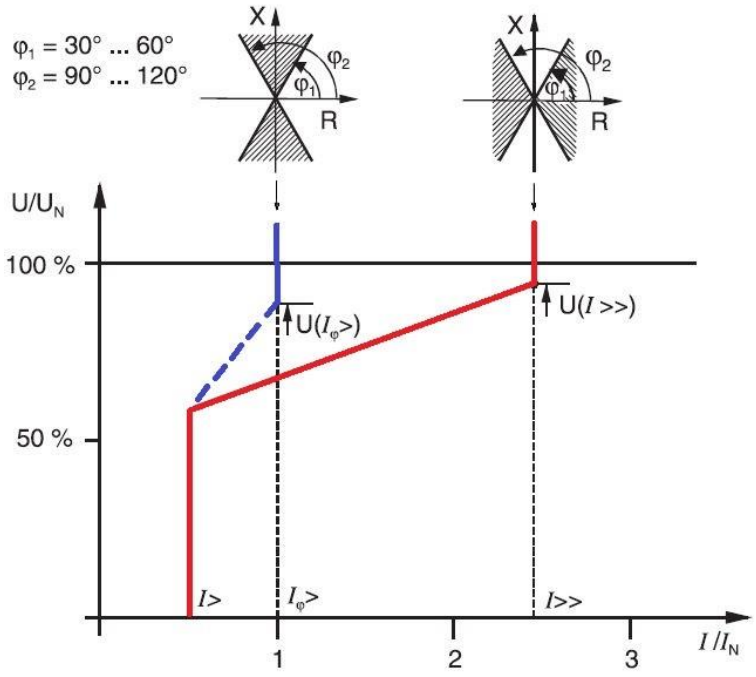
$U(I >) = 0.7\ U_N$ ve $U(I >>) = 0.9\ U_N$ (3.17)

Faz seçici koruma yapılabilmesi için düşük empedans başlatmalı sistemlerin topraklamasının çok iyi olması gerekmektedir.

3.6.3 Açıya Bağlı Düşük Empedans Başlatma (U/I/φ)

Enerji iletim hatlarında kısa devre anındaki açı yük açısından oldukça büyüktür. Iletim hatlarında yük açısı 30^0 civarında olurken, kısa devre açısı 70^0 den büyüktür. Bu yüzden, akım ve gerilim arasındaki açı düşük empedans başlama için ek bir kriter olarak kullanılabilmektedir.

Düşük empedans başlatmada hassasiyeti artırmak için eğer yük açısı ile kısa devre açısı arasındaki fark belli bir oranın üstündeyse, açı kriteri kullanılabilir. Açıya bağlı düşük empedans başlatma karakteristiği Şekil 3.23'te verilmiştir [28],[37].



Şekil 3.23 Açıya bağlı düşük empedans başlatma [28]

3.6.4 Empedans Başlatma

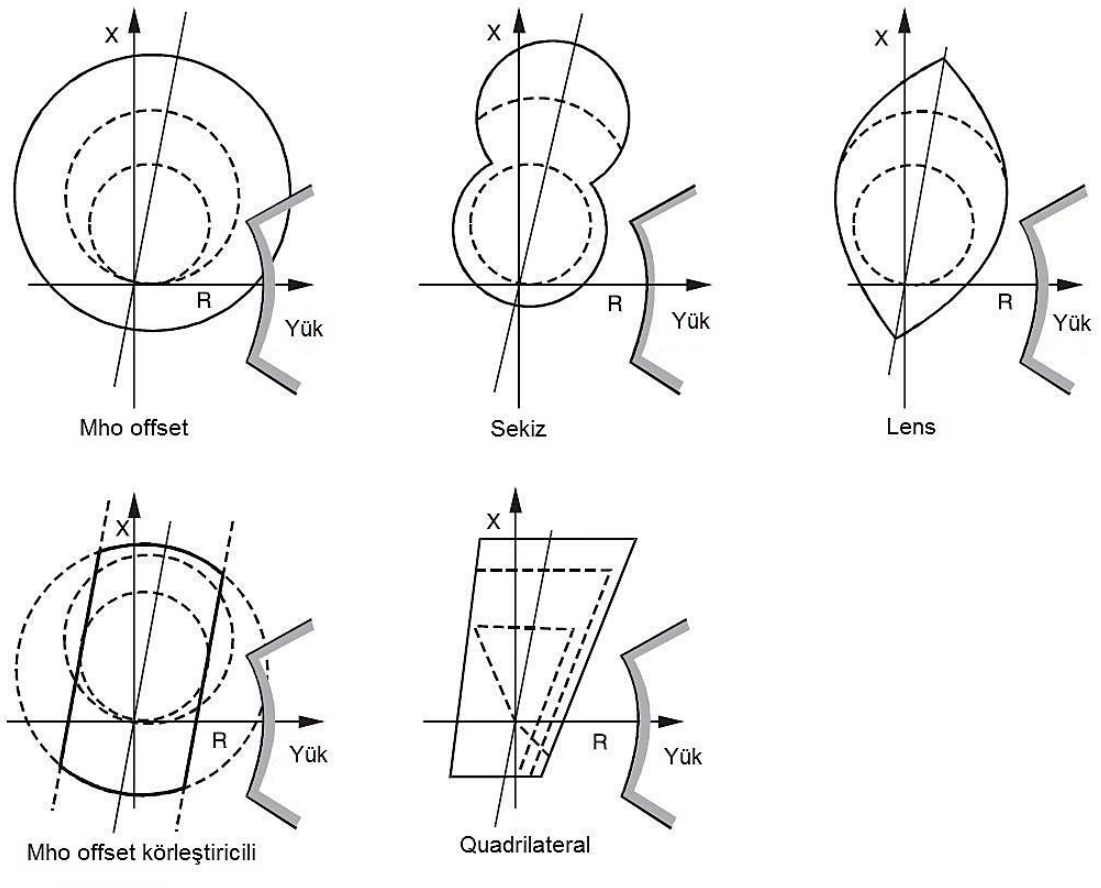
Empedans karakteristiği yük durumunu ve arıza durumunu ayırmak için kullanılabilmektedir. Bu durumda, olası 6 arıza durumu için (A-G, B-G, C-G, A-B, B-C, C-A) dijital röleler sürekli olarak ölçüm, hesaplama ve görüntüleme yapabilmektedirler.

Geleneksel rölelerde başlatma karakteristikleri Şekil 3.24'te görüldüğü üzere daha önceden belirlenen çeşitlerde oluşturulmuş ve röleler için optimize edilmiştir.

Optimum karakteristiklerin belirlenme amaçları:

- Uzak arızaları tespit edebilmek için daha büyük X kapsaması,
- Yük aşımına girmeyecek şekilde yeterli ark direncini kapsaması,

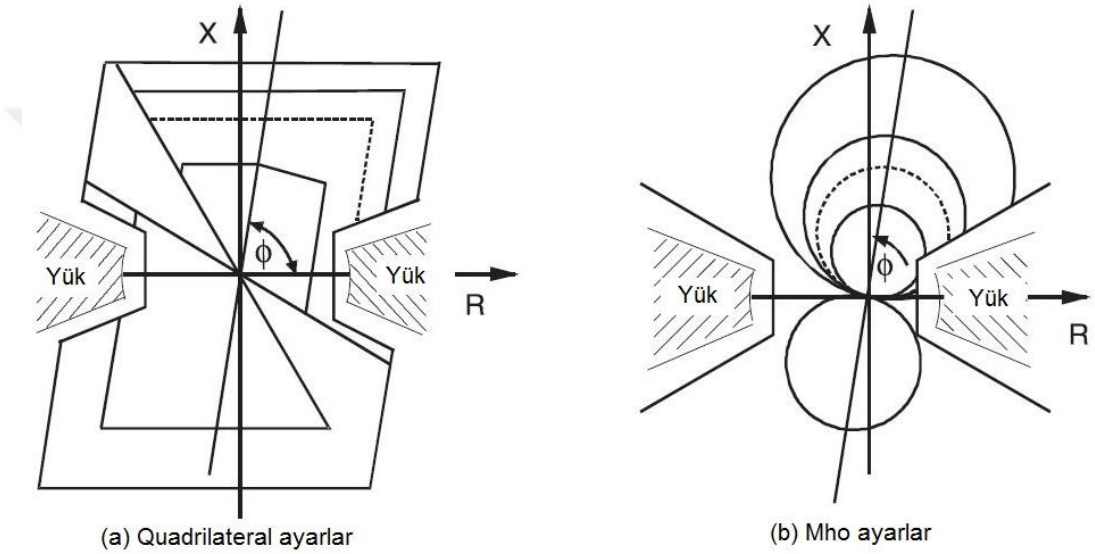
olarak sıralanabilmektedir [22],[28].



Şekil 3.24 Geleneksel empedans başlatma karakteristikleri [28]

Başlatma empedansının gereğinden büyük seçilmesi arıza olmayan durumlarda da açma yapma problemine yol açabilmektedir. Böyle durumlarda, tek faz arıza olması durumunda bile 3 faz birden açabilmektedir.

Geleneksel rölelerde, yük aşımı durumlarından dolayı ayar değerleri sınırlanmaktadır. Fakat, nümerik teknolojiyle birlikte bu konuda önemli gelişmeler olmuştur. Şekil 3.25'te görüldüğü üzere başlatma karekteristikleri büyük oranda optimize edilmiştir. Arızasız hatların açmasının önüne geçmek için başlatma karakteristiğinin sınırlanmasına gerek kalmayıp, faz seçiciliği ek ölçümlerle sağlanmaktadır [22],[37].



Şekil 3.25 Nümerik rölelerde optimize edilmiş başlatma karakteristikleri [28]

3.6.5 Düşük Gerilim Başlatma

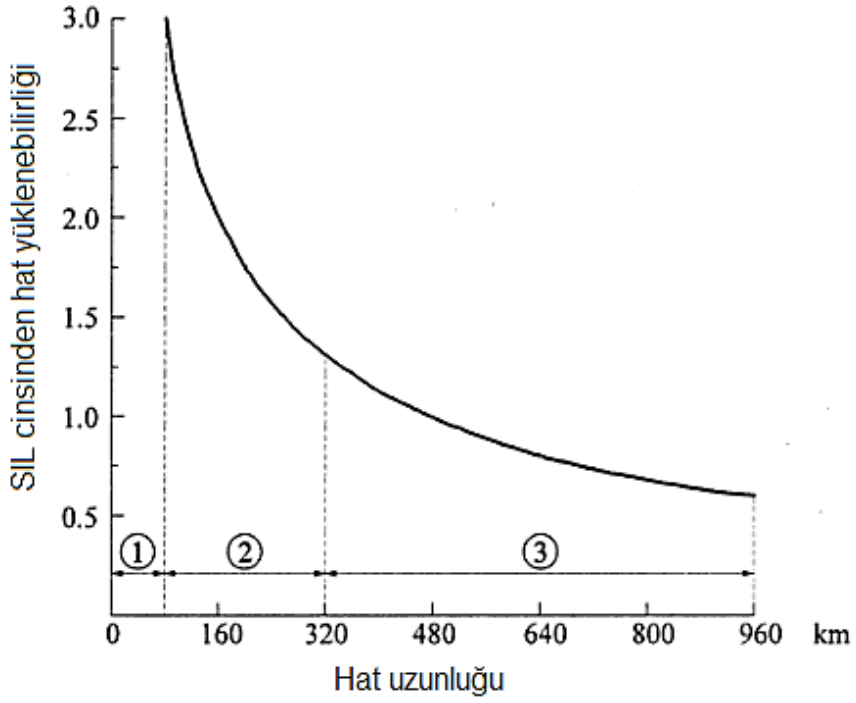
Kısa devre anında gerilim çok küçük değerlere kadar düşer ve kısa devre noktasında teorik olarak sıfırdır. Bu durum göz önüne alındığında, gerilimin belirli bir sınırın altına inmesi sistemde arıza olduğu anlamına gelmektedir. Düşük gerilim başlatmalı rölelerde gerilim belirlenen değerin altına indiğinde röle başlatma alır. Çalışma karakteristiği,

$$\left|\frac{Z}{Z+Z_S}\right| \leq \frac{U</U_N}{1.1} \tag{3.18}$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada Z hat empedansı, Z_S kaynak empedansı, U faz-faz gerilimi, U_N generator çıkısındaki etkin gerilimi ifade etmektedir [28],[36].

3.7 Aşırı Menzil Mesafe Kademeleri ve Hat Yüklenebilirliği

1953 yılında St. Clair, daha sonradan St. Clair eğrisi olarak adlandırılan eğriyi ortaya koymuştur. Bu eğri o zamanın deneysel formülleri kullanılarak geliştirilmiştir. İletim sistemi mühendisleri 80 km'lik bir hattın maksimum yüklenmesinin güç taşıma kapasitesinin SIL (Surge Impedance Loading) 3 katı kadar olduğunu bilmekteydiler. Aynı zamanda mühendisler 480 km hatlarda ise maksiümum yüklenmenin güç taşıma kapasitesine eşit olduğunu düşünmekteydiler. St. Clair bu iki nokta arasındaki ilişkinin lineer olmadığını Şekil 3.26'da verilen eğriyle göstermiştir. 1979 da, Dunlop ve arkadaşları St. Clair'in eğrisini revize ederek, 320 km üzerindeki hatlarda yüklenebilirliği etkileyen en önemli faktörün gerilim düşümü olduğunu göstermişlerdir [37],[38].



Şekil 3.26 St. Clair Eğrisi

3.7.1 Yüklenebilirliği Etkileyen Kademe Karakteristikleri

Geçmişte yaşanmış istenmeyen büyük sistem çökmeleri incelendiğinde aşırı menzilli mesafe rölelerin payı görülmektedir. Kuzey Amerika'da yaşanmış sistem çökmesi Kademe 3 açmasının sebep olduğu önemli bir örnektir. 1965 yılına kadar gittiğimizde, önemli sistem olayları sırasında mesafe koruma rölelerinin hat yüklenirken istenmeyen açmalara neden olduğu görülmektedir. 1965 yılında Niagara Hidroelektrik Santraline

ait 230 kV Sir Adam hattının devre dışı kalmasıyla başlayan sistem çökmesini yedek koruma yapan mesafe koruma rölesi tetiklemiştir. Geriye kalan dört hat aşırı yüklenmiş ve sırasıyla hatlara yedek koruma yapan mesafe röleleri tarafından açılmıştır. Bu röleler karşı uzak bara olan Ontarino transformatör merkezindeki kesicileri kesici arızasına karşı koruma için 375 MW yükte açacak şekilde ayarlanmıştır. Yani, bu mesafe röleleri hatların yüklenme kapasitelerinin çok altında ayarlanmıştır [27],[37].

4 kasım 2006 yılında yine bir mesafe rölesi, önemli bir sistem olayı sırasında hat yüklenirken açma yapmıştır. Avrupa'da bugüne kadar meydana gelmiş ve etkisi en geniş alana yayılmış olan sistem çökmesine Kuzey Almanya'da bulunan 380 kV Wehrandorf-Landesbergen hattını koruyan mesafe rölesi neden olmuştur. 15 milyondan fazla kullanıcı elektriksiz kalmış ve UCTE sistemi 3 adaya ayrılmıştır [38].

14 Ağustos 2003 yılında Kuzey Amerika'da yaşanan sistem çökmesi Kademe 3'ün yanlış çalışmasından dolayı meydana gelen en açık olaydır. Güncel NERC (National Electric Reliabilty Council) kuralları üçüncü kademe ayarının termal yüklenmelerin maksimum olduğu aşırı yüklenmelerde açma yapmayacak şekilde ayarlanması gerektiğini belirtmiştir [39].

NERC özellikle 230 kV ve üzeri gerilim seviyelerinde kullanılan mesafe rölelerinin Kademe 3'ünün aşırı yüklenme koşullarında açma sinyali göndermemesi gerektiğini tavsiye etmiştir. NERC aşırı yüklenme koşullarını 0.85 pu gerilim ve 30^0 derece güç faktörü açısı değerinde nominal akımın %150'si olarak belirlemiştir [35],[38].

Yukarıda aşırı yük durumlarında mesafe rölelerinin yanlış açmalarından dolayı meydana gelen bazı önemli olaylar verilmiştir ve bu yanlış açmaları azaltmak için bazı metotlar tavsiye edilmiştir.

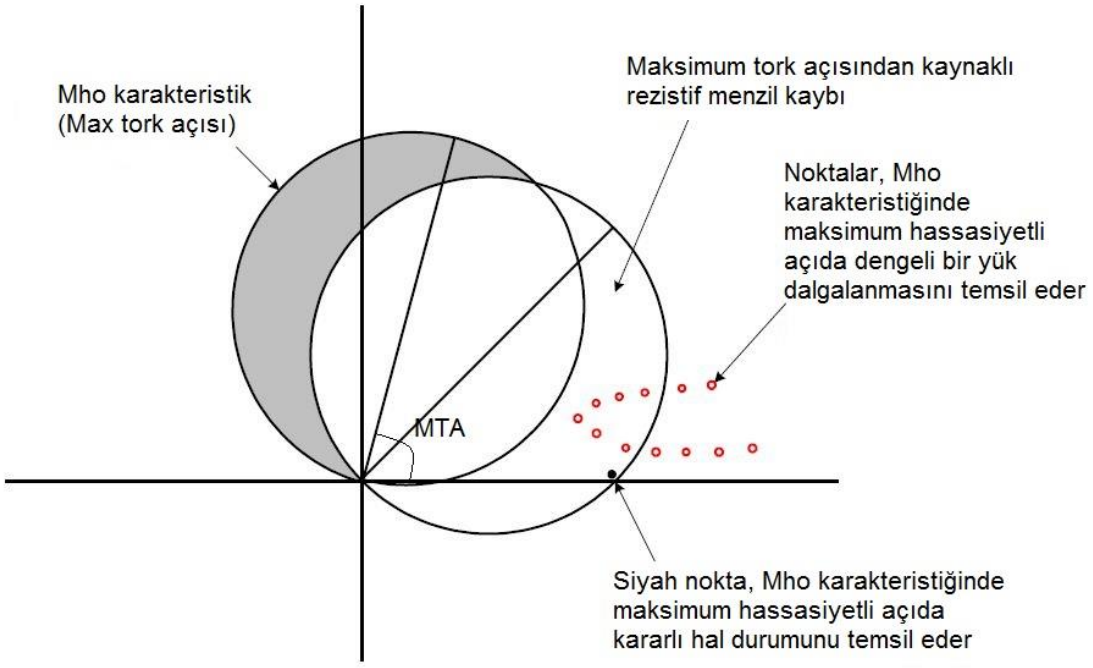
3.7.2 Bölge Pozisyonlama Çeşitleri

Geleneksel 'Mho' karakteristiği gibi mesafe karakteristikleri için, aşırı menzil kademe bölgesinin aşırı yük taşıma hassasiyeti genellikle menzil (empedans ayarı) arttıkça artar. Mho karakteristiği sistemin geçici yük dalgalanmalarına yanıt verme olasılığına sahiptir. Özellikle yükün aşırı ve endüktif olduğu durumlarda kararlı hal yükü de tespit edilebilmektedir. Herhangi bir yük durumuna istenmeyen bir biçimde tepki veren,

hassas bir şekilde belirlenmiş mesafe bölgesinin hassasiyetini düşürmek amacıyla farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

3.7.2.1 Mho Karakteristiği Açı Ayarlaması

Mho karakteristiğinin yük durumlarına cevap verme hassasiyetini azaltan en kolay ayarlama maksimum tork açısının (MTA) artırılmasıdır. Fakat, bu yöntem Şekil 3.27'de görüldüğü üzere rölenin rezistif menzilini daraltmaktadır. Hem düşük menzil hem de aşırı menzil uygulamalarında, menzil altı bölge için daha düşük bir maksimum tork açısı ve menzil içi bölge için daha yüksek bir maksimum tork açısı istenir. Bu düzenleme, aşırı yüklenme durumları ve güç salınımları durumlarında arızalı işlemlere karşı daha az hassasiyet sağlarken, yakın arızalara karşı direnç menzili kapsamını optimize etmektedir [38].

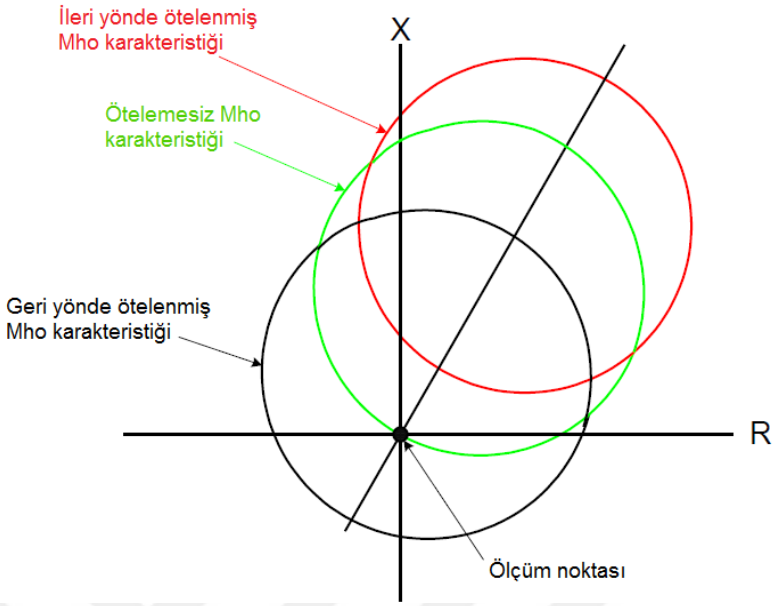


Şekil 3.27 Mho karakteristiği açı ayarlaması

3.7.2.2 Ötelemeli Mho Karakteristik (Offset)

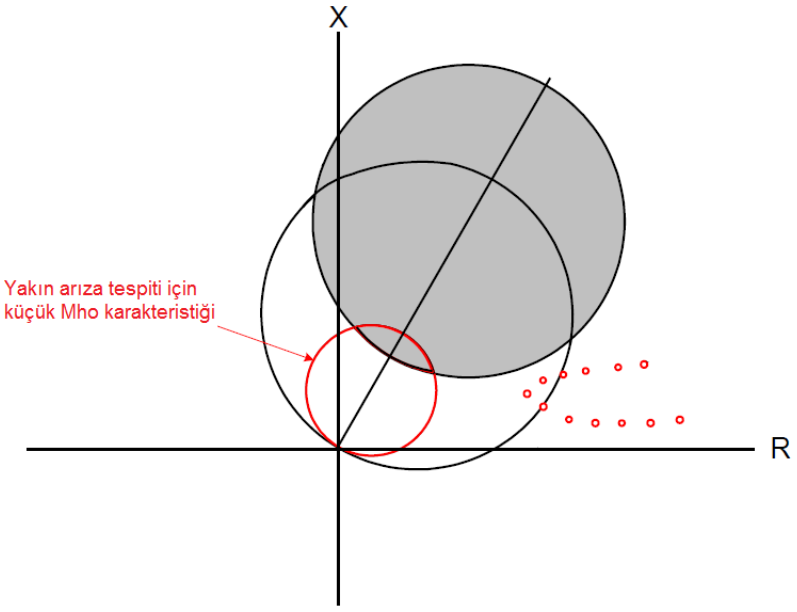
Mesafe koruma rölelerinin yük hassasiyetini azaltacak diğer bir yöntem ise Mho mesafe rölesi karakteristiğinin Şekil 3.28'de görüldüğü gibi ötelenmesidir. İleri yönlü yapılan öteleme, Mho karakteristiğini korunan hat yönünde hareket ettirmektedir. İleri yönlü öteleme, hassas bir şekilde belirlenmiş olan aşırı menzil kademe bölgesini

varsayılan kararlı hal aralığının ve geçici yük empedansı konumlarının ötesine hareket ettirmek için uygulanabilir [38].



Şekil 3.28 Ötelemeli Mho karakteristik

İleri öteleme yapılan Mho karakteristiğinin korumasız bıraktığı hattın başı tarafını korumak için daha kısa menzilli bir mesafe elemanı Şekil 3.29'da gösterildiği üzere eklenmelidir. Geri yönlü öteleme, rölenin konumunu çevrelemek amacıyla, kararlı durumdaki Mho karakteristiğini ileri menzilden geri çekmektedir [37].



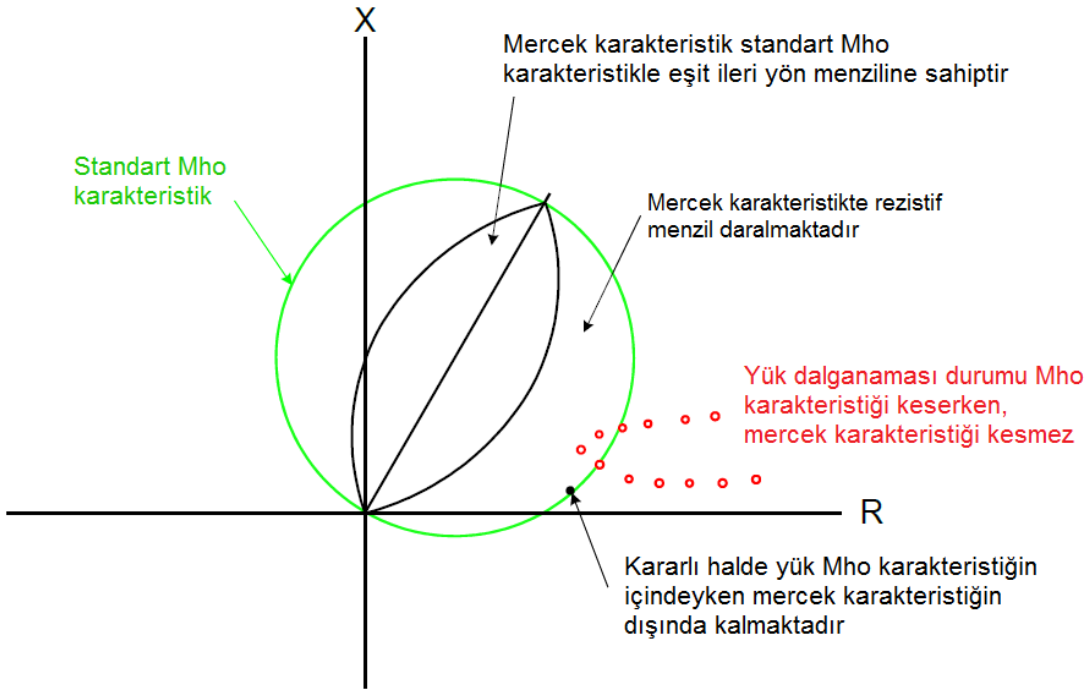
Şekil 3.29 Kompozit Mho karakteristik

3.7.3 Kademe Biçimlendirme Çeşitleri

Standart bir Mho karakteristiğin modifiye edilmesi veya dörtgen biçimli bir karakteristiğin kullanılması mesafe rölesi kademelerinin yük bölgesine kadar uzanmasına mani olmaktadır.

3.7.3.1 Mercek (Lens) Karakteristik

Mesafe rölesi elemanının polarizasyonu maksimum hassasiyette koruma yapacak biçimde iki farklı Mho karakteristiğiyle Şekil 3.30'da verildiği üzere ayarlanabilir. Korunan hat açısıyla maksimum hassasiyet açısını çok yakın aldığımızda aşırı manzil kademesi ileri yönde 3 faz arızalarında tam koruma yapmaktadır. Fakat, bu durumda rezistif menzil daralacaktır. Mercek karakteristik standart Mho karakteristiğe göre yük dalgalanmalarında veya kararlı hal yüklenmelerinde daha hassas koruma sağlamaktadır [37].

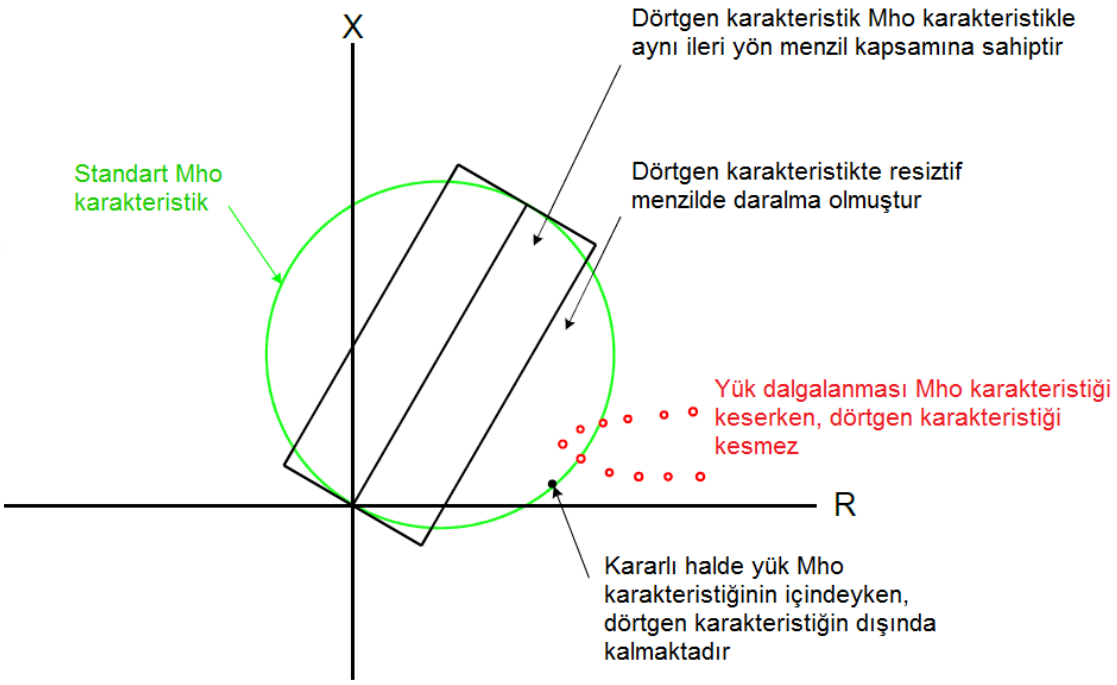


Şekil 3.30 Mercek (Lens) karakteristik

3.7.3.2 Dörtgen Karakteristik

Dörtgen karakteristik hem arıza reaktansı sınırını ve hem de rezistans sınırını kapsayan dört çizginin sınırladığı bölgeden oluşur. İdeal olarak sınır çizgilerinin açıları nominal

yük akışı koşullarındaki R ve X oranından belirlenir. Bu dört çizginin birleşimi Şekil 3.31'de görüldüğü üzere dörtgensel bir bölge oluşturmaktadır. Rezistif menzilin uygun şekilde ayarlanması durumunda, mercek karakteristikte olduğu gibi dörtgen karakteristikte de yük bölgesinden kaçınmak mümkündür. Bu karşın dörgensel karakteristik hat başından hat sonuna kadar sabit bir rezistif koruma sağlamaktadır [38].

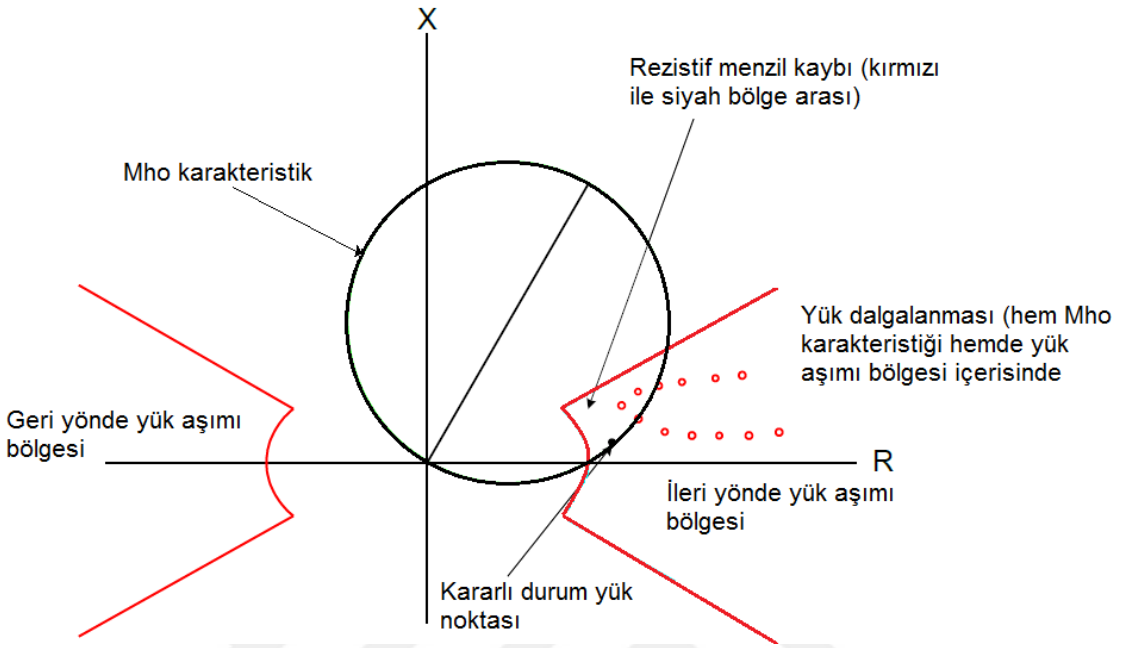


Şekil 3.31 Dörtgen karakteristik

3.7.3.3 Yük Aşımı Karakteristiği

Güç sistemindeki yüklenme kapasitesindeki artış çoğu zaman rezistif arıza menzilinde azalmalara neden olmaktadır. Bazı modern hat koruma ekipmanları, yük aşımı olarak ifade edilen ve arıza durumuyla aşırı yüklenmeleri ayırt edebilen bir karakteristik ortaya koymuşlardır. İletim sistemindeki yükün dengeli ve üç fazlı olmasından dolayı, denetim kısıtlamaları sadece 3 faz mesafe elemanlarının çalışmasına ilişkin olarak getirilmektedir. Yük aşımı karakteristiği arızanın faz-faz, 3-faz yada 2 faz-toprak olması durumlarından etkilenmeden arıza tespiti yapabilmektedir. Bu özellik bulunan rölelerde hem ileri yönde hem de geri yönde yük bölgeleri oluşturulabilmektedir. Röle, pozitif sıra gerilim ve akım ölçümlerinden empedansın büyüklüğünü ve açısını hesaplamaktadır. Hesaplanan bu pozitif sıra empedansın tanımlanan yük bölgesi

sınırları içerisinde olması halinde rölenin çalışması bloke edilir. Yük aşımı karakteristiğiyle, Şekil 3.32'de görüldüğü üzere sadece yük bölgesi içerisinde pozitif sıra empedansına karşılık gelen 3 fazlı rezistif arızalar tespit edilememektedir. [40]



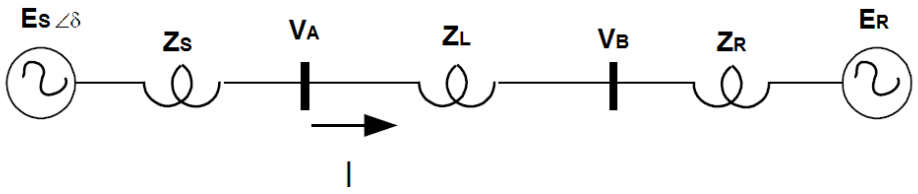
Şekil 3.32 Yük aşımı karakteristiği

3.8 Aşırı Menzil Mesafe Kademeleri ve Güç Dalgalanmaları

Bu kısımda yük dalgalanmalarının mesafe koruma kademeleri üzerindeki etkileri ve güç sistem güvenliği açısından etkileri ele alınacaktır. Güç dalgalanmaları bir röle tarafından nasıl tespit edilir, iletim hatlarında istenmeyen açmalara nasıl sebep olur ve sistem güvenirliliği nasıl sağlanır konularından bahsedilecektir. Güç dalgalanması sırasında mesafe elemanlarını bloklayacak fonksiyonlar tartışılacaktır.

3.8.1 Güç Dalgalanması Esnasında Mesafe Rölesi Tarafından Görülen Empedans

Geleneksel olarak, güç dalgalanması koruma elemanları pozitif sıra empedans değişimleriyle ilgilenmektedir. Önemli bir sistem dalgalanması sırasında, eğer pozitif sıra empedans yolu mesafe rölesi kademesi içerisine girerse, röle güç dalgalanmasını çok fazlı bir arıza olarak algılamaktadır [41]. Bu durumu göstermek için Şekil 3.33'te verilen iki kaynaklı sistemde güç dalgalanması esnasındaki empedans ölçümünü inceleyelim [41],[42]. Farklı k değerleri için güç salınımı sırasındaki empedans yolları Şekil 3.34'te gösterilmiştir.



Şekil 3.33 İki kaynaklı örnek sistem

A barasındaki akım,

$$I = \frac{E_{S\angle\varphi} - E_R}{ZS+ZL+ZR} = \frac{E_{S\angle\varphi} - E_R}{ZT} \quad (3.19)$$

A barasındaki gerilim,

$$V_A = E_{S\angle\varphi} - Zs.I \quad (3.20)$$

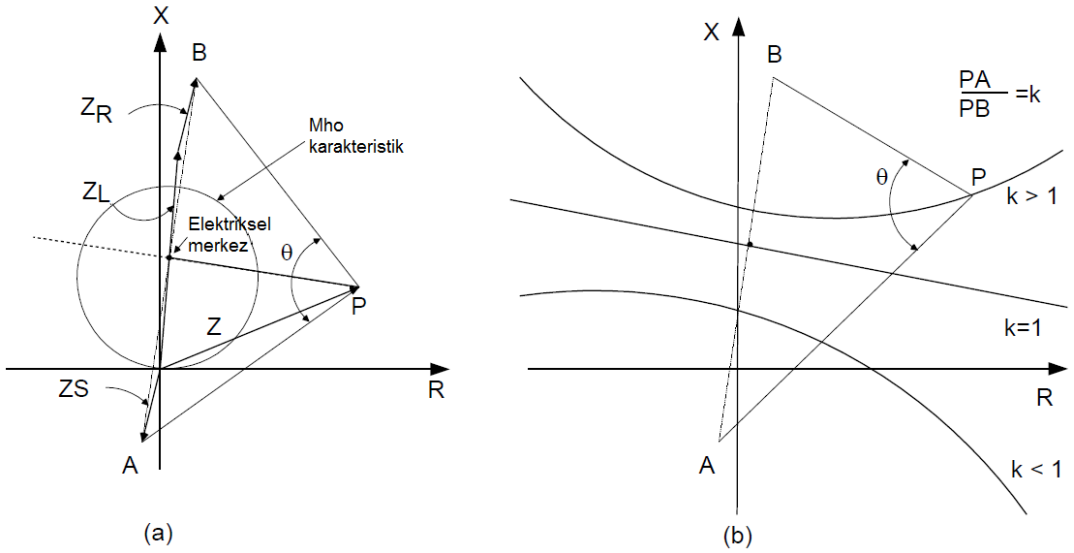
A barasındaki röle tarafından ölçülen empedans değeri,

$$ZI = \frac{VA}{I} = -Z_S + Z_T \frac{E_{S\angle\varphi}}{E_{S\angle\varphi} - E_R} \quad (3.21)$$

$|ES| = |ER|$ olduğu kabul edilirse,

$$ZI = \left(\frac{ZT}{2} - Zs\right) - j\left(\frac{ZT}{2} cot\frac{\varphi}{2}\right) \quad (3.22)$$

İki kaynak arasındaki açı farkı φ dır.



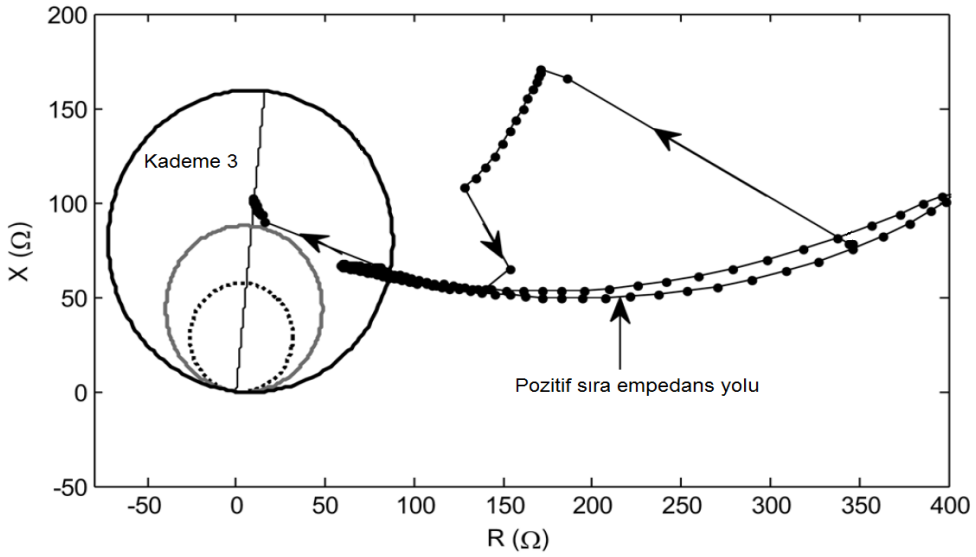
Şekil 3.34 Farklı k değerleri için güç salınımı sırasındaki empedans yolları [41]

Yukarıda verilen güç dalgalanması sırasındaki empedans için, iki kaynak arasındaki açı farklı olduğunda, Z_T reaktansa dik olan düz çizgi orjinden ötelenir ve A ile B noktasının

orta noktasında kesişir. Bu noktaya salınımın elektriksel merkezi denilmektedir. A ve B noktalarına bağlı kaynaklar arasındaki açı φ kadardır. φ açısı 180^0 ulaştığında, dalgalanma empedansı tamamen elektriksel merkez noktasındadır.

3.8.2 Güç Dalgalanmalarının Mesafe Rölelerine Etkisi

Faz mesafe röleleri 3-faz ve 2-faz arızaları için pozitif sıra empedansını ölçmektedir. Bir önceki bölümde kaynak empedansları arasındaki φ açısındaki farklılıktan dolayı güç dalgalanması sırasındaki empedans değişimi anlatılmıştır. Güç dalgalanması esnasında, sabit ya da sabit olmayan bir güç salınımı röle karakteristiğinin içerisine girerse mesafe rölesi açma sinyali üretmektedir. Herhangi bir zaman gecikmesi olmadığı için ani açmalı olarak çalışan Kademe 1 güç salınımı durumunda en çok açma yapan kademedir. Pilot koruma yapılan hatlarda ise en çok Kademe 2 açma yapmaktadır [41], [39.] Güç dalgalanması sırasında pozitif sıra empedans yolu Şekil 3.35'te verilmiştir.



Şekil 3.35 Güç dalgalanması sırasında pozitif sıra empedans yolu [42]

Güç dalgalanması esnasında mesafe rölesinin açıp açmamasında en önemli rolü polarizasyon belleği ve ölçülen akım-gerilim değerleri oynamaktadır. Ayrıca, korunan hattın uzunluğu ve sistemin eşdeğer kaynak empedansı dalgalanma sırasında mesafe rölesi performansını etkileyen diğer önemli faktörlerdendir [42].

3.9 Mesafe Rölelerinde Rezistif Menzil

Farklı kademelerin rezistif menzillerini ayarlamak için, her bölgenin açma süreleri arasındaki koordinasyona imkan veren ve seçicilik sağlayan, mesafe koruma rölesinin bütün kademeleri belirlemek için genel kriterlerden daha önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Burada en çok dikkat edilmesi gereken kısım Kademe 3'ün rezistif menzilinin belirlenmesidir. Daha büyük rezistif menzil, rölelere daha fazla sayıda arıza algılama imkanı vermektedir. Fakat, rölenin daha büyük rezistif menzile ayarlanması rölenin aşırı yük koşullarında çalışmasına neden olabilmektedir.

Rezistif menzil, hattın yük taşıma kapasitesini sınırlamak zorunda değildir. Rezistif menzil aralığı, minimum yük empedansının %45'i ne göre hesaplanmaktadır. NERC (North American Electric Reliability Council)'e göre, rezistif menzili minimum yük empedansının %45'ine göre ayarlamak olağanüstü sistem koşulları diye adlandırılan, hatların 15 dakika boyunca termal kapasitelerinin %150'sinde aşırı yüklenme durumlarında, gerilimin 0,85 pu olması durumunda ve güç faktörünün 30^0 dereceden büyük olması durumunda açmamasını sağlamaktadır. Sistemin bu şekilde aşırı yüklenmesi sırasında, koruma sistemi açma yapmamalıdır [39].

Minimum yük empedansı aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$Z_L = \frac{V_L^2}{MVA_{anma}} \tag{3.23}$$

Burada; Z_L minimum yük empedansını, V_L faz-faz anma gerilimini, MVA_{anma} hattın anma gücünü ifade etmektedir.

Böylece, maksimum rezistif menzil aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilmektedir:

$$R_{menzil} = 0{,}45 \,.\, Z_L \tag{3.24}$$

Burada; R_{menzil} maksimum rezistif menzili ifade etmektedir.

3.10 Kaynak Empedans Oranı

Kaynak empedans oranı, röle koruma bölgesinin gerisindeki kaynak empedansının korunan hat empedansına, bir başka deyişle mesafe rölesi menziline oranıdır. Kaynak empedans oranı, röle tarafından görülen arızalı devre geriliminin büyüklüğü için etkili

bir ölçüttür. Yüksek arıza düzeyleri düşük kaynak empedansı oranına, düşük arıza düzeyleri ise yüksek kaynak empedansı oranına karşılık gelmektedir. Genel bir kural, düşük kaynak empedans oranlı sistemler daha yüksek seviyede arıza akımı üretmektedir; bu da sistemin kararlılığını korumak ve güç sisteminde meydana gelmesi olası hasarları azaltmak amacıyla hızlı arıza temizleme sürelerini gerektirmektedir.

Bir mesafe rölesinin menzil içerisindeki her arıza noktası için doğru ölçümler yapabilme yeteneği, röle konumunun belirtilen belirli bir gerilimin üzerinde olduğu bu koşullara altındaki minimum gerilim seviyesine bağlıdır. Bu gerilim seviyesi genellikle röle tasarımıyla alakalıdır ve eşdeğer maksimum Z_S/Z_L ve kaynak empedansı oranı ile ifade edilmektedir. Mesafe koruma röleleri, menzil noktası gerilim kriterinin karşılanması koşuluyla, rölelere yakın arızaların mesafe rölesinin çalışmasını engellemesini önleyecek şekilde tasarlanmıştır [44].

Bellek gerilimi polarizasyonu bulunan mesafe rölesi bölge karakteristiklerinin dinamik genişlemesi miktarı kaynak empedansı oranına bağlıdır. Düşük kaynak empedansı oranı değeri bulunan sistemlerde kullanılan röleler, dinamik koşullar altında karakteristiklerin boyutunda büyük bir artış göstermeyecekken, bunun tam tersi yüksek kaynak empedansı oranı değerleri bulunan sistemlerde kullanılan röleler için bu artış geçerli olacaktır [45].

3.11 Mesafe Korumada Hat Uzunluğunun Etkisi

Enerji iletim hatları 1 km den daha küçük değerlerden 450 km üzeri uzunluk değerlerine kadar çok farklı uzunlukta olabilmektedirler. Çok kısa hatlar mesafe koruması için uygun değildir. Birim değer karşılaştırmalı korumalar daha uygundur. Aşağıda temel kısıtlayıcı faktörler verilmiştir:

- Özellikle düşük menzil kademelerinde rölenin etkin bir şekilde istenilen küçük empedans değerlerinde ayarlanamaması,
- Kısa hatlarda küçük rezistif menzil kapsamı,
- Koruyucu bölgelerin yük aşımı problemleriyle karşılaşmadan ayarlanmasında yaşanan güçlük.

Kısa hatların kaynak empedans oranı değerleri büyüktür. Kısa hatları tanımlarken kaynak empedansı oranı değeri yaklaşık olarak 4 veya daha büyük olmaktadır. Orta uzunluktaki hatlar ise 5 ile 0.5 arasında değişen kaynak empedansı oranına sahiptir. Uzun hatlarda ise bu oran 0.5'ten küçüktür [45].

Belirli bir hat uzunluğu için birim başına empedansın omik empedansa kıyasla hattın nominal gerilimi ile çok daha fazla değişiklik göstermektedir. Farklı gerilim seviyelerinde farklı kısa devre empedansları ile birlikte bu faktör, bir hattın nominal geriliminin kaynak empedansı oranı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Örnek olarak, 0.332 ohm/km pozitif sıra reaktansa sahip 500 kV'luk bir hat, 100 MVA ve 500 kV bazında 0.0013 pu/km eşdeğer reaktansa sahiptir. Rölenin gerisinde kalan kaynak empedansının birim başına 0.01 pu değerine denk gelen 10000 MVA'lık bir arıza seviyesi olması halinde, aşağıdakiler geçerli olmaktadır:

- 19 km'den daha kısa hatlar 4'ten büyük bir kaynak empedsansı oranına sahip olacağı için kısa hat olarak kabul edilebilir.
- 150 km'den daha uzun hatlar 0.5'ten küçük bir kaynak empedansı oranına sahip olacağı için uzun hat olarak kabul edilebilir [46].

Diğer taraftan, 0.53 ohm/km pozitif sıra reaktansına sahip 69 kV'luk bir hat, 100 MVA ve 69 kV bazında 0.015 pu/km eşdeğer reaktansa sahiptir. Rölenin gerisindeki kaynak empedansın birim başına 0.1 pu değerine denk gelen 1000 MVA'lık bir arıza seviyesi olması halinde, aşağıdakiler geçerli olmaktadır [46]:

- 1.7 km'den daha kısa hatlar 4'ten büyük bir kaynak empedsansı oranına sahip olacağı için kısa hat olarak kabul edilebilir.
- 14 km'den daha uzun hatlar 0.5'ten küçük bir kaynak empedansı oranına sahip olacağı için uzun hat olarak kabul edilebilir.

BÖLÜM 4

MESAFE KORUMA KADEME HESAPLAMA METODOLOJİSİ VE ALGORİTMA GELİŞTİRME ÇALIŞMASI

4.1 Mesafe Koruma Rölesi Kademe Hesaplama Metodolojisi

Mesafe koruma rölesi kademe ayar değerleri hesaplamasında Türkiye enerji iletim sisteminde kullanılan hesaplama metodolojisi baz alınmıştır [47]. Mesafe koruma rölelerinin kademe değerlerini hesaplamak için iki farklı yol bulunmaktadır. Birinci yolda hat empedansı değerleri kullanılırken, ikinci yolda görünür empedans değerleri kullanılmaktadır[2] . Kademe ayar değerleri aşağıdaki kurallara göre hesaplanmaktadır. Röle kademeleri Şekil 4.1'de verilmiştir.

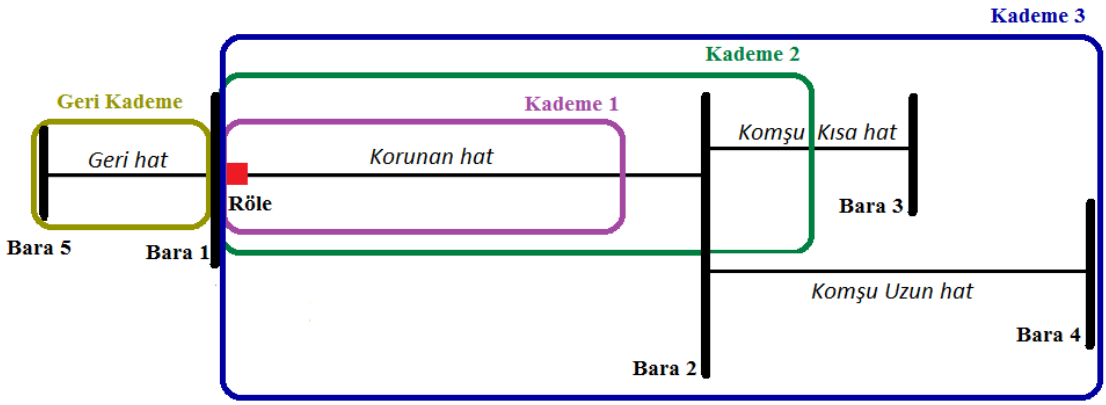
Kademe 1: Korunan hattın (Z_l) %85 ini koruyacak şekilde hesaplanır, açma için zaman gecikmesi yoktur.

Kademe 2: Korunan hattın (Z_l) tamamı ile komşu kısa hattın (Z_{kk}) %50 sini koruyacak şekilde hesaplanır, açma için 400 ms zaman gecikmesi vardır.

Kademe 3: Korunan hattın (Z_l) tamamı ile komşu uzun hattın (Z_{ku}) tamamını koruyacak şekilde hesaplanır, açma için 800 ms zaman gecikmesi vardır.

Geri Kademe: Geri hatlardan en uzun olanın (Z_g) tamamını koruyacak şekilde hesaplanır, açma için 1.5 s zaman gecikmesi vardır.

Z_l ; Korunan hattı, Z_{kk} ; Komşu kısa hattı, Z_{ku} ; Komşu uzun hattı, Z_g ; Geri uzun hattı ifade etmektedir.

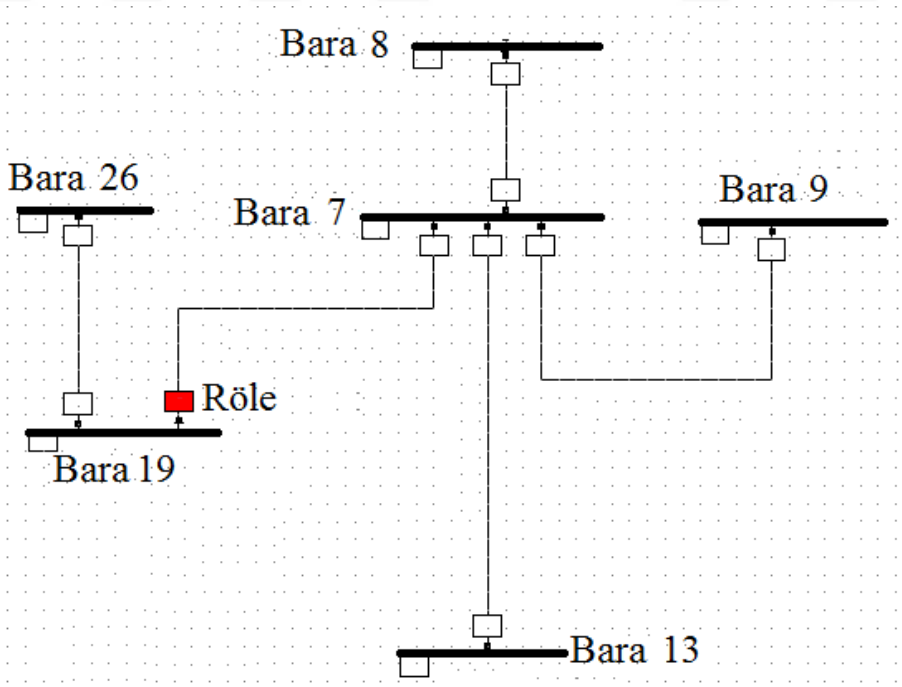


Şekil 4.1 Röle koruma bölgeleri

4.1.1 Mesafe Koruma Rölesi Kademe Hesabı

4.1.1.1 Genel Bilgiler

Örnek uygulama için 154 kV gerilim seviyesinde, 6 baradan oluşan küçük bir bölge seçilmiştir. Şekil 4.2'de örnek hesaplamaların yapılacağı tek hat diyagramı verilmiştir. Hesaplamalar Bara19-Bara7 hattını koruyan Bara19 tarafındaki röle için yapılmıştır. Sistemde bulunan hatlara ait tip ve uzunluk bilgileri Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.2 Örnek uygulamada kullanılan 6 baralı sisteme ait tek hat diyagramı

Çizelge 4.1 Hatlara ait tip ve uzunluk bilgileri

İletim Hattı	*Hat tipi*	*Uzunluk(km)*
Bara19-Bara7	1272 MCM	48.4
Bara7-Bara8	477 MCM	18.5
Bara7-Bara13	477 MCM	49.8
Bara7-Bara9	477 MCM	37.6
Bara19-Bara26	1272 MCM	52.2

4.1.1.2 Hesaplamalarda Kullanılan Sistem Bilgileri

Röle kademelerini hesaplamak için aşağıdaki veriler kullanılmıştır:

- Sistem topolojisi (baralar, hatlar, bara bağlantıları)
- Rölenin koruma bölgeleri (korunan hat, komşu kısa hat, komşu uzun hat ve geri hat),
- Hat parametreleri (korunan hat, komşu kısa hat, komşu uzun hat ve geri hat parametreleri),
- Akım transformatörü ve gerilim transformatörü dönüştürme bilgileri,
- Arıza direnci (faz-faz arıza direnci, faz-toprak arıza direnci).

Sistem topolojisi, hesaplama yapılacak şebekeye ait anlık devrede olan veya devre dışı olan hatları tespit etmek için kullanılmaktadır. Böylece sistem topolojisi değişiklikleri hesaplamalara dahil edilmektedir. Rölenin koruma bölgeleri adımında, hesaplamalarda kullanılacak olan korunan hat, komşu kısa hat, komşu uzun hat ve geri uzun hatlar tespit edilmektedir. Hat parametreleri, hat empedansı, hat rezistansı, hat reaktansı ve hat açısı hesaplamasında kullanılmaktadır. Akım transformatörü ve gerilim transformatörü dönüştürme oranlarından sekonder değerlerin hesaplamalarında yararlanılmaktır. Çizelge 4.2'de akım ve gerilim transformatörü dönüştürme oranları verilmiştir.

Çizelge 4.2 Akım/Gerilim trafosu bilgileri

Açıklama\Ekipman	**Primer Değer**	**Sekonder Değer**	**Dönüştürme Oranı**
Akım Transformatörü	1000 A	5 A	ATO = 200
Gerilim Transformatörü	154000 V	100 V	GTO = 1540
kz (ATO/GTO)	-	-	≈ 0.13

İletken tiplerine göre hat parametreleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 İletken tipine göre hat parametreleri

İletken Tipi	**r_1 (ohm/km)**	**x_1 (ohm/km)**	**r_0 (ohm/km)**	**x_0 (ohm/km)**
1272 MCM	0.052174	0.437832	0.315322	1.121644
477 MCM	0.134216	0.430506	0.418238	1.21066

4.1.1.3 Hat parametrelerinin hesaplanması

Herhangi bir hatta ait parametreler hesaplanırken, hat uzunluğu ve iletken tipi göz önünde bulundurulur. İletken tipine göre hat empedansı değerleri farklılıklar göstermektedir. Her hattın kendine ait birim kilometre başına direnç ve reaktans değeri vardır. Bu değerler hat uzunluğuyla çarpılarak hat empedans değerleri bulunmaktadır. Hat empedansı hesabı için kullanılan bağıntılar aşağıda (4.1), (4.2), (4.3) denklemleriyle verilmiştir.

$$R_{hat}[ohm] = r[ohm/km].\ L[km] \quad (4.1)$$

$$X_{hat}[ohm] = x[ohm/km].\ L[km]\ ] \quad (4.2)$$

$$Z_{hat} = R_{hat}[ohm] + j\ X_{hat}[ohm]\ ] \quad (4.3)$$

Burada: R_{hat} hat direncini, r hattın tipine göre kilometre başına direnci; X_{hat} hat reaktansını, x hattın tipine göre kilometre başına reaktansı; Z_{hat} hat empedansını ve L hat uzunluğunu ifade etmektedir.

Yukarıda verilen bağıntılarla hatta ait primer değerler hesaplanmaktadır. Fakat mesafe röleleri menzil değerleri sekonder değerler kullanılarak röleye girilmektedir. Bu yüzden primer değerlerin bağıntısı kullanılarak sekonder değerlere dönüştürülmesi gerekmektedir. Denklem (4.4) te sekonder empedans hesaplama bağıntısı verilmiştir.

$$Z_2 = Z_1 \,.\, (ATO/GTO) \tag{4.4}$$

Burada; ATO akım transformatörü dönüştürme oranını, GTO gerilim transformatörü dönüştürme oranını ifade etmektedir.

Bara 19–Bara 7 Hat Parametreleri Hesabı

$$R_{11Bara19\text{-}Bara7}[ohm] = r_{1272MCM}[ohm/km] \,.\, L_{Bara19\text{-}Bara7}[km] \tag{4.5}$$

$R_{11Bara19\text{-}Bara7} = 0{,}052174 \,.\, 48{,}4$

$R_{11Bara19\text{-}Bara7} = 2{,}5252216\ [ohm]$

$$X_{11Bara19\text{-}Bara7}[ohm] = x_{1272MCM}[ohm/km].\, L_{Bara19\text{-}Bara7}[km] \tag{4.6}$$

$X_{11Bara19\text{-}Bara7} = 0{,}437832 \,.\, 48{,}4$

$X_{11Bara19\text{-}Bara7} = 21{,}19107\ [ohm]$

$$Z_{11Bara19\text{-}Bara7}[ohm] = R_{1Bara19\text{-}Bara7}[ohm] + j\, X_{1Bara19\text{-}Bara7}[ohm] \tag{4.7}$$

$Z_{11Bara19\text{-}Bara7} = 2{,}5252216 + j21{,}19107$

$Z_{11Bara19\text{-}Bara7} = 21.341\angle 83{,}2^0\ [ohm]$

$Z_{12Bara19\text{-}Bara7} = Z_{1Bara19\text{-}Bara7} \,.(ATO/GTO)$

$$Z_{12Bara19\text{-}Bara7} = 21{,}341\angle 83{,}2^0 \,.\, 0.13 \approx 2{,}774\angle 83{,}2^0\ [ohm] \tag{4.8}$$

Bara 7–Bara 8 Hat Parametre Hesabı

$$R_{11Bara7\text{-}Bara8}[ohm] = r_{477MCM}[ohm/km] \,.\, L_{Bara7\text{-}Bara8}\ [km] \tag{4.9}$$

$R_{11Bara7\text{-}Bara8} = 0{,}134216.\ 18{,}5$

$R_{11Bara7\text{-}Bara8} = 2{,}48299\ [ohm]$

$X_{11Bara7\text{-}Bara8}$ [ohm] = x_{477MCM}[ohm/km]. $L_{Bara7\text{-}Bara8}$ [km] (4.10)

$X_{11Bara7\text{-}Bara8}$= 0,430506 . 18,5

$X_{11Bara7\text{-}Bara8}$= 7,96536 [ohm]

$Z_{11Bara7\text{-}Bara8}$ [ohm] = $R_{1Bara7\text{-}Bara8}$ [ohm] + j $X_{1Bara7\text{-}Bara8}$ [ohm] (4.11)

$Z_{11Bara7\text{-}Bara8}$= 2,48299 + j7,96536

$Z_{11Bara7\text{-}Bara8}$= $8,355969\angle 72,68^0$ [ohm]

$Z_{12Bara7\text{-}Bara8}$ = $Z_{1Bara7\text{-}Bara8}$.(ATO/GTO)

$Z_{12Bara7\text{-}Bara8}$ = $8,355969\angle 72,68^0$. 0.13 ≈ $1,0862\angle 72,68^0$ [ohm] (4.12)

Bara 7–Bara 13 Hat Parametre Hesabı

$R_{11Bara7\text{-}Bara13}$[ohm] = r_{477MCM}[ohm/km] . $L_{Bara7\text{-}Bara13}$ [km] (4.13)

$R_{11Bara7\text{-}Bara13}$ = 0,134216. 49,8

$R_{11Bara7\text{-}Bara13}$ = 6,692546 [ohm]

$X_{11Bara7\text{-}Bara13}$ [ohm] = x_{477MCM}[ohm/km]. $L_{Bara7\text{-}Bara13}$ [km] (4.14)

$X_{11Bara7\text{-}Bara13}$ = 0,430506 . 49,8

$X_{11Bara7\text{-}Bara13}$ = 21,46675 [ohm]

$Z_{11Bara7\text{-}Bara13}$ [ohm] = $R_{1Bara7\text{-}Bara13}$ [ohm] + j $X_{1Bara7\text{-}Bara13}$ [ohm] (4.15)

$Z_{11Bara7\text{-}Bara13}$ = 6,692546 + j21,46675

$Z_{11Bara7\text{-}Bara13}$ = $22,4858\angle 72,68^0$ [ohm]

$Z_{12Bara7\text{-}Bara13}$ = $Z_{1Bara7\text{-}Bara13}$.(ATO/GTO)

$Z_{12Bara7\text{-}Bara13}$ = $22,4858\angle 72,68^0$. 0.13 ≈ $2,9231\angle 72,68^0$ [ohm] (4.16)

Bara 7–Bara 9 Hat Parametre Hesabı

$R_{11Bara7\text{-}Bara9}$[ohm] = r_{477MCM}[ohm/km] . $L_{Bara7\text{-}Bara9}$ [km] (4.17)

$R_{11Bara7\text{-}Bara9}$ = 0,134216. 37,6

$R_{11Bara7\text{-}Bara9}$ = 5,04652 [ohm]

$X_{11Bara7\text{-}Bara9}$ [ohm] = x_{477MCM}[ohm/km]. $L_{Bara7\text{-}Bara9}$ [km] (4.18)

$X_{11Bara7\text{-}Bara9} = 0{,}430506 \cdot 37{,}6$

$X_{11Bara7\text{-}Bara9} = 16{,}18702$ [ohm]

$Z_{11Bara7\text{-}Bara9}$ [ohm] = $R_{1Bara7\text{-}Bara9}$ [ohm] + j $X_{1Bara7\text{-}Bara9}$ [ohm] (4.19)

$Z_{11Bara7\text{-}Bara9} = 5{,}04652 + j16{,}18702$

$Z_{11Bara7\text{-}Bara9} = 16{,}97393\angle 72{,}68^0$ [ohm]

$Z_{12Bara7\text{-}Bara9} = Z_{1Bara7\text{-}Bara9}$.(ATO/GTO) (4.20)

$Z_{12Bara7\text{-}Bara9} = 16{,}97393\angle 72{,}68^0 . 0.13 \approx 2{,}2066\angle 72{,}68^0$ [ohm]

Bara 19–Bara 26 Hat Parametre Hesabı

$R_{11Bara19\text{-}Bara26}$[ohm] = $r_{1272MCM}$[ohm/km] . $L_{Bara19\text{-}Bara26}$[km] (4.21)

$R_{11Bara19\text{-}Bara26} = 0{,}052174 \cdot 52{,}2$

$R_{11Bara19\text{-}Bara26} = 2{,}723483$ [ohm]

$X_{11Bara19\text{-}Bara26}$[ohm] = $x_{1272MCM}$[ohm/km]. $L_{Bara19\text{-}Bara26}$[km] (4.22)

$X_{11Bara19\text{-}Bara26} = 0{,}437832 \cdot 52{,}2$

$X_{11Bara19\text{-}Bara26} = 22{,}85483$ [ohm]

$Z_{11Bara19\text{-}Bara26}$[ohm] = $R_{1Bara19\text{-}Bara26}$[ohm] + j $X_{1Bara19\text{-}Bara26}$[ohm] (4.23)

$Z_{11Bara19\text{-}Bara26} = 2{,}723483 + j22{,}85483$

$Z_{11Bara19\text{-}Bara26} = 23{,}01653\angle 83{,}2^0$ [ohm]

$Z_{12Bara19\text{-}Bara26} = Z_{1Bara19\text{-}Bara26}$.(ATO/GTO) (4.24)

$Z_{12Bara19\text{-}Bara26} = 23{,}01653\angle 83{,}2^0 . 0.13 \approx 2{,}9921\angle 83{,}2^0$ [ohm]

4.1.1.4 k0 (sıfır sıra düzeltme faktörü) Hesabı

Mesafe koruma rölelerinde faz-faz arıza empedansı ile faz-toprak arıza empedansı arasındaki farkı belirlemek için k0 düzeltme faktörü değeri kullanılmaktadır. Mesafe röleleri genelde pozitif sıra değerleri ölçmektedir. Faz-toprak arızalarında, ölçülen bu pozitif sıra değerlerden arıza noktasını saptamak için k0 düzeltme faktörüne ihtiyaç duyulmaktadır. Faz-faz arızaları ve faz-toprak arızaları için aynı ayar değerleri

girildiğinde k0 sayesinde rölenin doğru çalışması sağlanır. Düzeltme faktörü k0 (4.25) bağıntısı kullanılarak hesaplanmaktadır. Bağıntı içerisinde kullanılan empedans değerleri korunan hat empedans değerleridir.

$$k0 = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} \quad (4.25)$$

Burada; Z_0 hattın sıfır sıra empedans değerini, Z_1 pozitif sıra empedans değerini ifade etmektedir.

Z_0 sıfır sıra empedans değeri hesabı:

$R_{01Bara19\text{-}Bara7}[ohm] = r_{1272MCM}[ohm/km] \cdot L_{Bara19\text{-}Bara7}[km]$ (4.26)

$R_{01Bara19\text{-}Bara7} = 0{,}315322 \cdot 48{,}4$

$R_{01Bara19\text{-}Bara7} = 15{,}26159$ [ohm]

$X_{01Bara19\text{-}Bara7}[ohm] = x_{1272MCM}[ohm/km] \cdot L_{Bara19\text{-}Bara7}[km]$ (4.27)

$X_{01Bara19\text{-}Bara7} = 1{,}121644 \cdot 48{,}4$

$X_{01Bara19\text{-}Bara7} = 54{,}28756$ [ohm]

$Z_{01Bara19\text{-}Bara7}[ohm] = R_{1Bara19\text{-}Bara7}[ohm] + j\, X_{1Bara19\text{-}Bara7}[ohm]$ (4.28)

$Z_{01Bara19\text{-}Bara7} = 15{,}261584 + j54.28757$

$Z_{01Bara19\text{-}Bara7} = 56{,}3919\angle 74{,}3^0$ [ohm]

Yukarıda yapılan işlemler sonucunda hattın sıfır sıra empedans değeri bulunmuştur. (4.7) ve (4.28) bağıntılarıyla bulunan değerleri (4.29) bağıntısında yerlerine yazdığımızda;

$$k0 = \frac{Z_{01Bara19-Bara7} - Z_{11Bara19-Bara7}}{3Z_{11Bara19-Bara7}} \quad (4.29)$$

$$k0 = \frac{56{,}3919\angle 74{,}3^0 - 21{,}341\angle 83{,}2^0}{3.56{,}3919\angle 74{,}3^0} = 0.55682\angle\text{-}14.1^0 \text{ [ohm]}$$

4.1.1.5 Ark Direnci (R_{ark}) Hesabı

Daha önceki bölümlerde arıza direnci başlığı altında ark direnci hesabı bağıntısı verilmişti. C. Warrington'un ortaya koymuş olduğu deneysel formüle göre ark direncinin yaklaşık değeri aşağıdaki bağıntısı kullanılarak hesaplanabilmektedir [48].

$$R_{ark} = \frac{28710}{I^{1,4}} . L \quad (4.30)$$

Burada; *L* hat açıklığı, *I* ark akımıdır. Hat açıklığı 7 metre, ark akımı 1 kA olarak alınırsa [48];

$$R_{1ark} = \frac{28710}{1000^{1,4}} . 7 \approx 12,68 \text{ [ohm]}$$

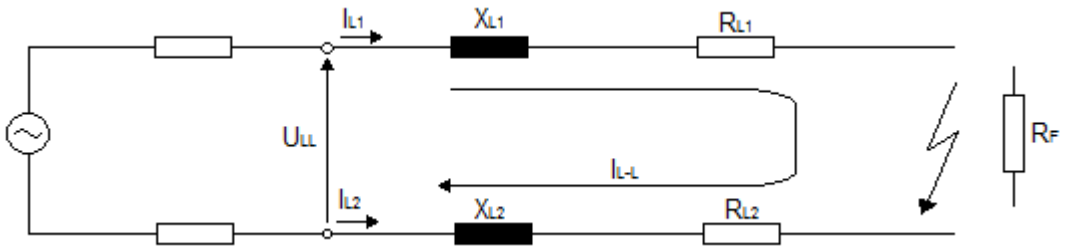
$R_{2ark} = 12,68 . 0.13 \approx 1.65$ [ohm]

4.1.1.6 Arıza Direnci (R_f) Hesabı

Mesafe koruma rölesi kademe hesaplamalarında arıza direnci, faz-faz arızaları ve faz-toprak arızaları için ayrı ayrı belirlenmektedir.

Faz-Faz Arızaları İçin Arıza Direnci (R_{ff}) Hesabı

Faz-faz arızalarında, arıza direnci ark direncinden oluşmaktadır. Şekil 4.3'te faz-faz arızalarına ait eşdeğer devre görülmektedir.



Şekil 4.3 Faz-faz arızası eşdeğer devresi [48]

Faz-faz arızalarında, kısa devre empedansına hat empedansı ve (4.31) bağıntısı gereğince ark direncinin yarısı ilave edilmektedir.

$$U_{LL} = U_{L1} - U_{L2} = 2.(R_L + jX_L).I_L + R_F . I_L \quad (4.31)$$

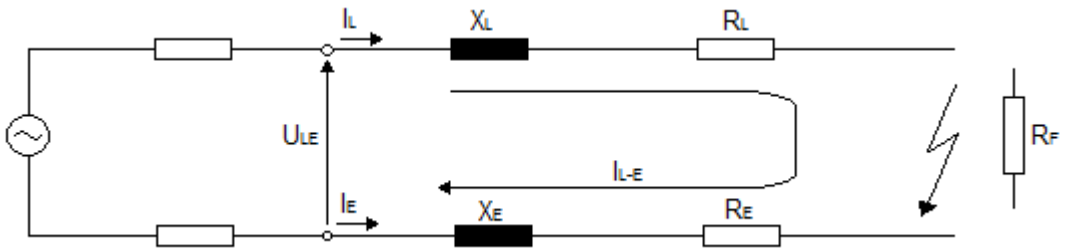
$I_L = I_{L2} = -I_{L1}$ olduğundan, $Z_{L1-L2} = \frac{2.(R_L + jX_L).I_L + R_F.I_L}{2.I_L}$ (4.32)

$Z_{L1-L2} = R_L + (R_F/2) + jX_L$, burada $R_F = R_{ark}$ (4.33)

$R_{ff} = \frac{R_{2ark}}{2} = \frac{1,65}{2} = 0,825$ [ohm]

Faz-Toprak Arızaları İçin Arıza Direnci (R_{ft}) Hesabı

Faz-toprak arızalarında, arıza direnci ile birlikte faz iletkenlerine temas ederek toprakla bağlantı oluşturan ekipmanların direnci de etki etmektedir. Söz konusu ekipmanların direncini, direk direnci olarak adlandırılan bir direnç temsil etmektedir. Şekil 4.4'te faz-toprak arızası için oluşturulan eşdeğer devre şeması verilmiştir [48].



Şekil 4.4 Faz-toprak arızası eşdeğer devresi [48]

Bu devre göz önüne alındığında, arıza empedansını hesaplamak için hat empedansı, ark direnci ve direk direnci dikkate alınmaktadır. Aşağıdaki hesaplamalarda direk direnci 10 ohm olarak alınmıştır.

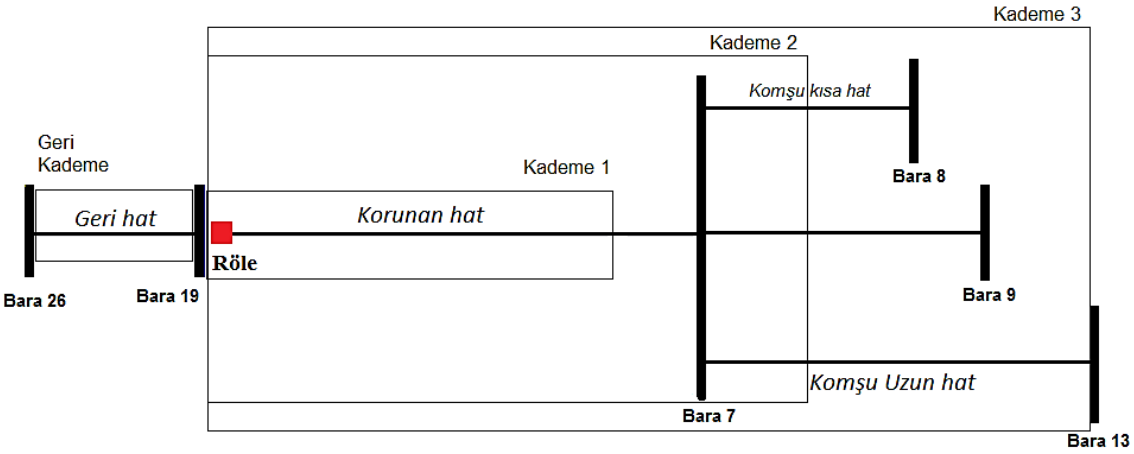
$U_{LE} = I_L . (R_L + jX_L) + I_E . (R_E + jX_E) + I_{L-E} . R_F$ (4.34)

$R_{2direk} = R_{direk} . 0,13 = 10 . 0,13 = 1,3$ [ohm]

$R_{ft} = R_{2ark} + R_{2direk} = 1,65 + 1,3 = 2,95$ [ohm]

4.1.1.7 Hat Empedansı Metodu Kullanılarak Röle Kademe Hesabı

Bara19-Bara7 hattını koruyan mesafe rölesinde dört kademe kullanılacaktır. Kademe 1, Kademe 2, ve Kademe 3 ileri yönlü, Kademe 4 ise geri yönlü koruma yapacak şekilde ayarlanacaktır. Rölenin kademe değerleri hesaplamaları için kullanılan hatlar Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 Röleye ait kademeler

Kademe hesaplamalarında kullanılan hatlar aşağıda liste halinde verilmiştir:

- Korunan hat: Bara19-Bara7 hattı,
- Komşu kısa hat: Bara7-Bara8 hattı,
- Komşu uzun hat: Bara7-Bara13 hattı,
- Geri hat: Bara19-Bara26 hattıdır.

Kademe 1 Empedans Hesabı

Kademe 1 empedans değeri için korunan hat empedansının %85' i kullanılır.

$$X_1 = 0,85 \cdot X_{12Bara19\text{-}Bara7} \quad (4.35)$$

$$X_1 = 0,85 \cdot 2,7549 \approx 2,3417 \text{ [ohm]}$$

$$R_{1ff} = 0,85 \cdot R_{12Bara19\text{-}Bara7} + R_{ff} \quad (4.36)$$

$$R_{1ff} = 0,85 \cdot 0,32828 + 0,825 \approx 1,104 \text{ [ohm]}$$

$$R_{1ft} = 0,85 \cdot R_{12Bara19\text{-}Bara7} + R_{ft} \quad (4.37)$$

$$R_{1ft} = 0,85 \cdot 0,32828 + 2,95 \approx 3,229 \text{ [ohm]}$$

$$Z_1 = 0,85 \cdot Z_{12Bara19\text{-}Bara7} \quad (4.38)$$

$$Z_1 = 0,85 \cdot 2,774\angle 83,2^0 \approx 2,3579 \text{ [ohm]}$$

Kademe 2 Empedans Hesabı

Kademe 2 empedans değeri için korunan hat empedansının %100' ü ile komşu kısa hat empedansının %50' si kullanılır.

$$X_2 = X_{12Bara19\text{-}Bara7} + 0,5 \,.\, X_{12Bara7\text{-}Bara8} \quad (4.39)$$

$X_2 = 2,7549 + 0,5 \,.\, 1,0355 \approx 3,27265$ [ohm]

$$R_{2ff} = R_{12Bara19\text{-}Bara7} + 0,5 \,.\, R_{12Bara7\text{-}Bara8} + R_{ff} \quad (4.40)$$

$R_{2ff} = 0,32828 + 0,5 \,.\, 0,32279 + 0,825 \approx 1,3147$ [ohm]

$$R_{2ft} = R_{12Bara19\text{-}Bara7} + 0,5 \,.\, R_{12Bara7\text{-}Bara8} + R_{ft} \quad (4.41)$$

$R_{2ft} = 0,32828 + 0,5 \,.\, 0,32279 + 2,95 \approx 3,43967$ [ohm]

$$R_2 = R_{12Bara19\text{-}Bara7} + 0,5 \,.\, R_{12Bara7\text{-}Bara8} \quad (4.42)$$

$R_2 = 0,32828 + 0,5 \,.\, 0,32279 \approx 0,48967$ [ohm]

$$Z_2 = R_2 + jX_2 \quad (4.43)$$

$Z_2 = 0,48967 + j3,27265 \approx 3,309\angle 81,5^0$ [ohm]

Kademe 3 Empedans Hesabı

Kademe 3 empedans değeri için korunan hat empedansının %100' ü ile komşu uzun hat empedansının %100' ü kullanılır.

$$X_3 = X_{12Bara19\text{-}Bara7} + X_{12Bara7\text{-}Bara13} \quad (4.44)$$

$X_3 = 2,7549 + 2,7906 \approx 5,5455$ [ohm]

$$R_{3ff} = R_{12Bara19\text{-}Bara7} + R_{12Bara7\text{-}Bara13} + R_{ff} \quad (4.45)$$

$R_{3ff} = 0,32828 + 0,87 + 0,825 \approx 2,0233$ [ohm]

$$R_{3ft} = R_{12Bara19\text{-}Bara7} + R_{12Bara7\text{-}Bara13} + R_{ft} \quad (4.46)$$

$R_{3ft} = 0,32828 + 0,87 + 2,95 \approx 4,149$ [ohm]

$$R_3 = R_{12Bara19\text{-}Bara7} + R_{12Bara7\text{-}Bara13} \quad (4.47)$$

$R_3 = 0,32828 + 0,87 \approx 1,1982$ [ohm]

$$Z_3 = R_3 + jX_3 \quad (4.48)$$

$Z_3 = 1,1982 + j5,5455 \approx 5,673\angle 72,7^0$ [ohm]

Kademe 4 (Geri Kademe) Empedans Hesabı

Kademe 4 empedans değeri için geri yöndeki en uzun hat empedansının %100' ü kullanılır.

$$X_4 = X_{12Bara19\text{-}Bara26} \quad (4.49)$$

$X_4 = 2{,}971$ [ohm]

$$R_{4ff} = R_{12Bara19\text{-}Bara26} + R_{ff} \quad (4.50)$$

$R_{4ff} = 0{,}354 + 0{,}825 \approx 1{,}179$ [ohm]

$$R_{4ft} = R_{12Bara19\text{-}Bara26} + R_{ft} \quad (4.51)$$

$R_{4ft} = 0{,}354 + 2{,}95 \approx 3{,}304$ [ohm]

$$Z_4 = Z_{12Bara19\text{-}Bara26} \quad (4.52)$$

$Z_4 = 2{,}9921\angle 83{,}2^0$ [ohm]

4.1.1.8 Görünür Empedans Metodu Kullanılarak Röle Kademe Hesabı

Komşu baralardaki arıza besleme akımları, mesafe rölelerinde Kademe 2 ve Kademe 3 ayar değerlerini hesaplamada önemli bir rol oynamaktadır. Besleme etkisi Kademe 1 hesabını etkilememektedir. Besleme akımlarının büyüklüğü arıza anındaki şebeke topolojisine ve üretim seviyesine bağlıdır.

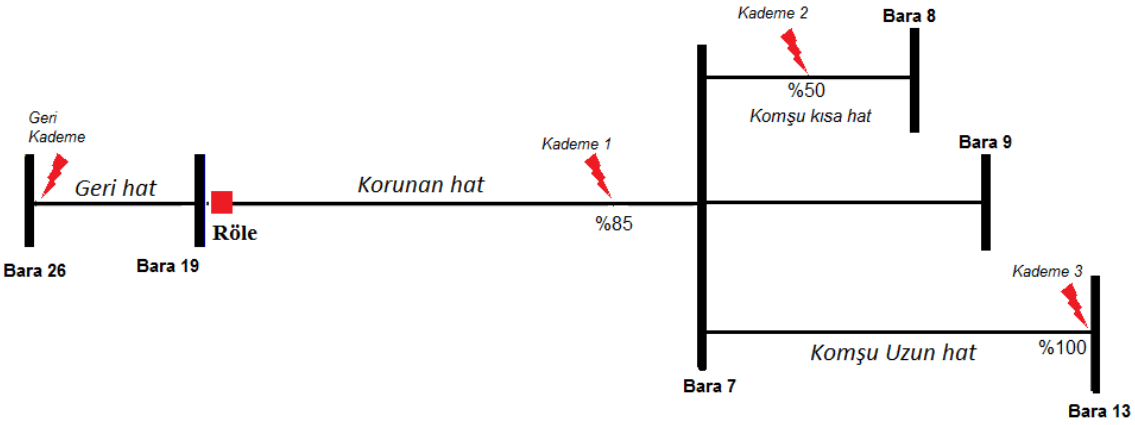
Bölüm 3.3.2 'de besleme (infeed) etkisinin röle kademe hesaplamalarına nasıl etki ettiği anlatılmıştır. (4.53) denklemi uyarınca, besleme etkisinden dolayı mesafe rölesinin düşük menzil kalmasına, yani arıza noktasındaki empedansın rölenin ölçtüğü empedanstan daha büyük olmasına neden olmaktadır.

$$Z = Z_1 + \left(\frac{I_1 + I_2 + In}{I_1}\right).Z_2 = Z_1 + k_{in}.Z_2 \quad (4.53)$$

Burada; k_{in} infeed katsayısı, Z_1 korunan hat empedansı, Z_2 komşu kısa hat empedansıdır. Besleme (infeed) akımlarının Kademe hesabına etkisi olan infeed katsayısı aşağıdaki bağıntıdan bulunmaktadır:

$$k_{in} = \frac{I_1 + I_2 + \cdots + In}{I_1} \quad (4.54)$$

Burada; I_1 röleden geçen kısa devre akımı, $I_2 + \cdots + In$ diğer hatlardan gelen kısa devre akımıdır. Görünür empedans metodu için röle kademeleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6 Görünür empedans metodu için röle kademeleri

Kademe 1 Empedans Hesabı

Kademe 1 hesabı için korunan hattın (Bara19-Bara7) %85'sinde 3 faz kısa devre oluşturmuştur. Kısa devre akımı 2.592 kA olarak hesaplanmıştır. Kademe 1 için, başka herhangi bir besleme etkisi olmadığı için infeed katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$k_{in} = \frac{2.592 + 0}{2.592} = 1$$

$$X_1 = k_{in}\ (0{,}85\ .\ X_{12Bara19\text{-}Bara7}) \qquad (4.55)$$

$$X_1 = 0{,}85\ .\ 2{,}7549 \approx 2{,}3417\ [ohm]$$

$$R_{1ff} = k_{in}\ (0{,}85\ .\ R_{12Bara19\text{-}Bara7} + R_{ff}) \qquad (4.56)$$

$$R_{1ff} = 0{,}85\ .\ 0{,}32828 + 0{,}825 \approx 1{,}104\ [ohm]$$

$$R_{1ft} = k_{in}\ (0{,}85\ .\ R_{12Bara19\text{-}Bara7} + R_{ft}) \qquad (4.57)$$

$$R_{1ft} = 0{,}85\ .\ 0{,}32828 + 2{,}95 \approx 3{,}229\ [ohm]$$

$$Z_1 = k_{in}\ (0{,}85\ .\ Z_{12Bara19\text{-}Bara7}) \qquad (4.58)$$

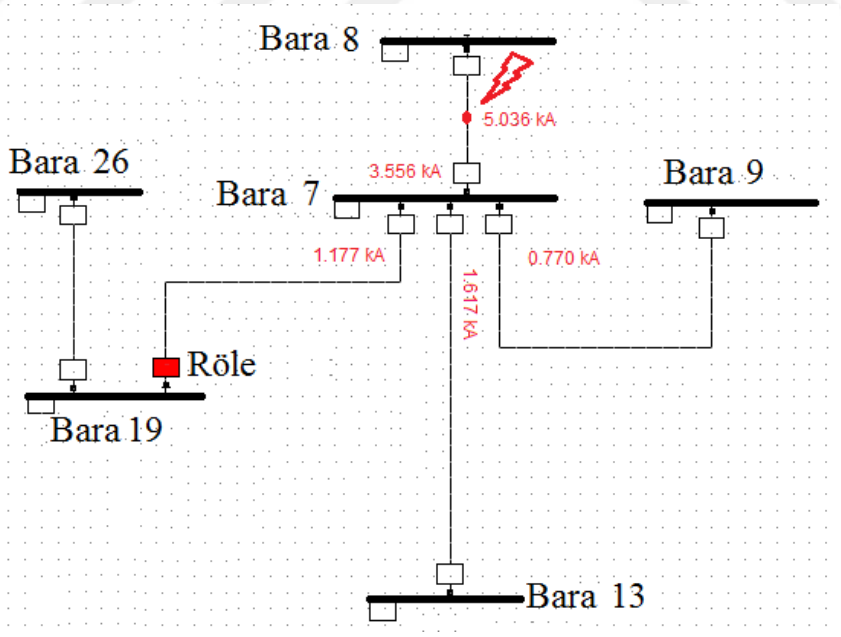
$$Z_1 = 0{,}85\ .\ 2{,}774\angle 83{,}2^0 \approx 2{,}3579\ [ohm]$$

Kademe 2 Empedans Hesabı

Kademe 2 hesabı için komşu kısa hattın (Bara7-Bara8) %50'sinde 3 faz kısa devre oluşturmuştur. Şekil 4.7'de verilen topolojiye göre oluşturulan kısa devre sonucunda iletim hatlarından geçen kısa devre besleme akımları Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Kısa devre besleme akımları

İletim hattı	**K.D. Akımı**
Bara19- Bara7	1,177 kA
Bara7 – Arıza noktası	3,556 kA
Bara13–Bara7	1,617 kA
Bara9–Bara7	0,770 kA
Bara8 – Arıza noktası	1,480 kA



Şekil 4.7 Komşu kısa hattın ortasında arıza durumu

Kademe 2 için, (4.54) bağıntısını Şekil 4.7'de verilmiş olan şebeke topolojisine uyguladığımızda, infeed katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$k_{in} = \frac{1.177 + 1.617 + 0.770}{1.177} \approx 3.03$

Kademe 2 empedans değeri için korunan hat empedansının %100' ü ile komşu kısa hat empedansının %50' si kullanılır.

$X_2 = X_{12Bara19\text{-}Bara7} + k_{in}\ (0,5\ .\ X_{12Bara7\text{-}Bara8})$ (4.59)

$X_2 = 2,7549 + 3.03(0,5\ .\ 1,0355) \approx 4,324$ [ohm]

$R_{2ff} = R_{12Bara19\text{-}Bara7} + k_{in}\ (0,5\ .\ R_{12Bara7\text{-}Bara8}) + R_{ff}$ (4.60)

$R_{2ff} = 0,32828 + 3.03(0,5\ .\ 0,32279) + 0,825 \approx 1,643$ [ohm]

$R_{2ft} = R_{12Bara19\text{-}Bara7} + k_{in}\ (0,5\ .\ R_{12Bara7\text{-}Bara8}) + R_{ft}$ (4.61)

$R_{2ft} = 0,32828 + 3.03(0,5\ .\ 0,32279) + 2,95 \approx 3,768$ [ohm]

$R_2 = R_{12Bara19\text{-}Bara7} + k_{in}\ (0,5\ .\ R_{12Bara7\text{-}Bara8})$ (4.62)

$R_2 = 0,32828 + 3.03(0,5\ .\ 0,32279) \approx 0,817$ [ohm]

$Z_2 = R_2 + jX_2$ (4.63)

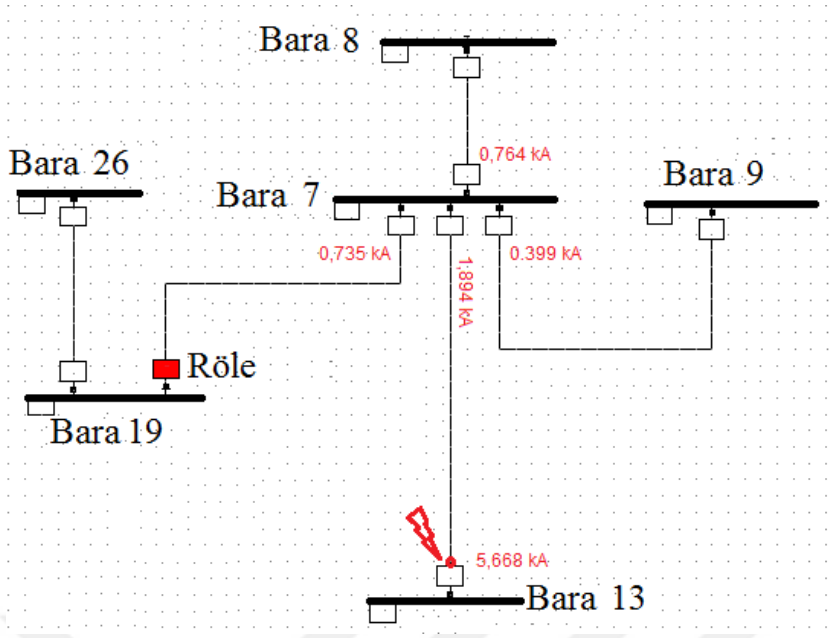
$Z_2 = 0,817 + j4,324 \approx 4,401\angle 79,5^0$ [ohm]

Kademe 3 Empedans Hesabı

Kademe 3 hesabı için komşu uzun hattın (Bara7-Bara13) %100'ünde 3 faz kısa devre oluşturmuştur. Şekil 4.8'de verilen topolojiye göre oluşturulan kısa devre sonucunda iletim hatlarından geçen kısa devre besleme akımları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Kısa devre besleme akımları

İletim hattı	**K.D. Akımı**
Bara19-Bara7	0,735 kA
Bara8–Bara7	0,764 kA
Bara7–Arıza noktası	1,894 kA
Bara9–Bara7	0,399 kA
Bara13–Arıza noktası	3,774 kA



Şekil 4.8 Komşu uzun hattın sonunda arıza durumu

Kademe 3 için, 4.54 bağıntısını Şekil 40'da verilmiş olan şebeke topolojisine uyguladığımızda, infeed katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$k_{in} = \frac{0,735+0,764+0,399}{0,735} \approx 2,58$

Kademe 3 empedans değeri için korunan hat empedansının %100' ü ile komşu uzun hat empedansının %100' ü kullanılır.

$X_3 = X_{12Bara19\text{-}Bara7} + k_{in} \,.\, X_{12Bara7\text{-}Bara13}$ (4.64)

$X_3 = 2,7549 + 2,58 \,.\, 2,7906 \approx 9,9545$ [ohm]

$R_{3ff} = R_{12Bara19\text{-}Bara7} + k_{in} \,.\, R_{12Bara7\text{-}Bara13} + R$ (4.65)

$R_{3ff} = 0,32828 + 2,58 \,.\, 0,87 + 0,825 \approx 3,397$ [ohm]

$R_{3ft} = R_{12Bara19\text{-}Bara7} + k_{in} \,.\, R_{12Bara7\text{-}Bara13} + R_{ft}$ (4.66)

$R_{3ft} = 0,32828 + 2,58 \,.\, 0,87 + 2,95 \approx 5,523$ [ohm]

$R_3 = R_{12Bara19\text{-}Bara7} + k_{in} \,.\, R_{12Bara7\text{-}Bara13}$ (4.67)

$R_3 = 0,32828 + 2,58 \,.\, 0,87 \approx 2,573$ [ohm]

$Z_3 = R_3 + jX_3$ (4.68)

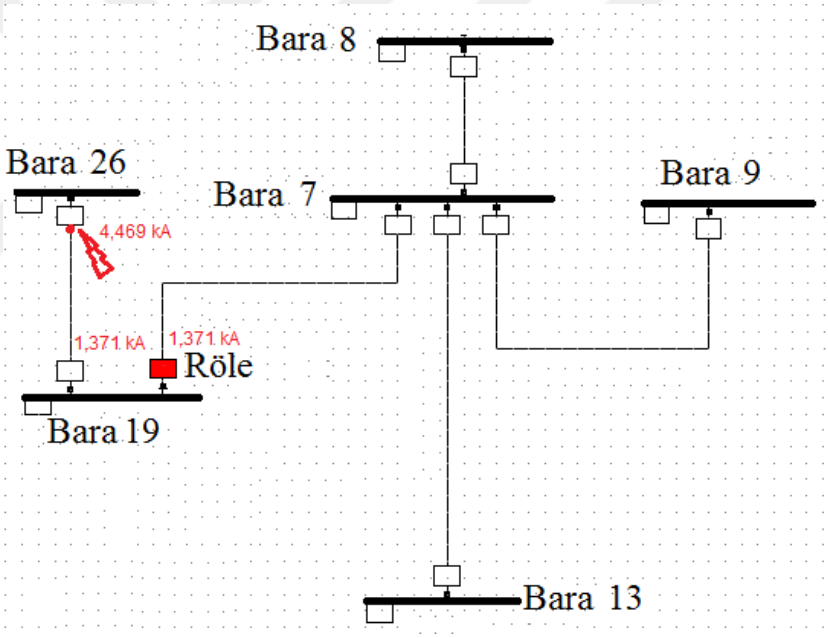
$Z_3 = 2,573 + j9,9545 \approx 10,282\angle 75,7^0$ [ohm]

Kademe 4 (Geri Kademe) Empedans Hesabı

Kademe 4 hesabı için geri yöndeki hattın (Bara7-Bara13) %100'ünde 3 faz kısa devre oluşturmuştur. Şekil 4.9'da verilen topolojiye göre oluşturulan kısa devre sonucunda iletim hatlarından geçen kısa devre besleme akımları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Kısa devre besleme akımları

İletim hattı	**K.D. Akımı**
Bara7-Bara19	1,371 kA
Bara19–Arıza noktası	1,371 kA
Bara26–Arıza noktası	3,098 kA



Şekil 4.9 Geri hattın sonunda arıza durumu

Kademe 4 için, 4.54 bağıntısını Şekil 41'de verilmiş olan şebeke topolojisine uyguladığımızda, infeed katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$k_{in} = \frac{1{,}371}{1{,}371} = 1$$

Burada, geri yönde sadece 1 tane iletim hattı olduğu için herhangi bir besleme etkisi yoktur. Bu yüzden infeed katsayısı 1 çıkmıştır ve Kademe 4 değerine hiçbir etkisi yoktur.

Kademe 4 değeri için geri yöndeki en uzun hat empedansının %100' ü kullanılır.

$$X_4 = k_{in} \cdot X_{12Bara19\text{-}Bara26} \quad (4.69)$$

$X_4 = 1.\ 2{,}971 = 2{,}971$ [ohm]

$$R_{4ff} = k_{in} \cdot R_{12Bara19\text{-}Bara26} + R_{ff} \quad (4.70)$$

$R_{4ff} = 1.\ 0{,}354 + 0{,}825 \approx 1{,}179$ [ohm]

$$R_{4ft} = k_{in} \cdot R_{12Bara19\text{-}Bara26} + R_{ft} \quad (4.71)$$

$R_{4ft} = 1.\ 0{,}354 + 2{,}95 \approx 3{,}304$ [ohm]

$$Z_4 = k_{in} \cdot Z_{12Bara19\text{-}Bara26} \quad (4.72)$$

$Z_4 = 1.\ 2{,}9921\angle 83{,}2^0 = 2{,}9921\angle 83{,}2^0$ [ohm]

4.2 Algoritma Geliştirme Çalışması

Enerji iletim hatlarında ana koruma amaçlı kullanılan mesafe rölelerinin ayar değerlerini topolojik değişiklikleri de dikkate alarak yeniden hesaplayan algoritmalar oluşturulmuştur. Algoritmaların oluşturulmasında Türkiye enerji iletim sisteminde kullanılan hesaplama metodolojisi baz alınmıştır. Oluşturulan algoritmalar; sistemde anahtarlama sonucu devre dışı bırakılan hatları, tamamen devreden çıkarılan hatları veya sisteme yeni eklenmiş üretim birimlerini ve onlara ait iletim hatlarını göz önünde bulundurularak mesafe rölesi ayar değerlerini yeniden hesaplamaktadır. Hesaplanan yeni değerler rölelere otomatik olarak kaydedilmektedir. Böylece, topoloji değişikliğinden kaynaklanan yanlış açmaların önüne geçilmektedir. Algoritmalar sayesinde farklı model ve tipteki rölelerin ayar değerlerini hızlı bir şekilde hesaplamak mümkündür.

Temel olarak mesafe koruma röleleri gerilim ve akım değerlerini karşılaştırarak hattın empedansını $Z = V/I$ eşitliğine göre belirlenmektedir. Rölenin ölçtüğü empedans değeri daha önceden röleye girilen ayar değerinden küçük ise röle çalışmaktadır. Mesafe

koruma rölelerinin Empedans, Reaktans, Mho, Quadrilateral gibi farklı karakteristiklere sahip çeşitleri mevcuttur. Bu çalışma kapsamında kullanılan röleler 3 ileri kademe ve 1 adet geri kademe olmak üzere, toplam 4 kademeli Quadrilateral tipi mesafe koruma röleleridir.

Mesafe koruma rölelerinin kademe değerlerini hesaplamak için iki farklı yol bulunmaktadır. Birinci yolda hat empedansı değerleri kullanılırken, ikinci yolda görünür empedans değerleri kullanılmaktadır [2]. Çalışma kapsamında, her iki farklı yol için röle kademe değerlerini hesaplayan algoritmalar oluşturulmuştur.

4.2.1 Hat Empedansı Metodu Algoritma Çalışması

Algoritma ilk olarak sistemde bulunan mesafe koruma rölelerinin tamamını bulmaktadır. Daha sonra ilgili rölenin koruduğu hattı ve o hattın bağlı olduğu karşı barayı (transformatör merkezi) belirlemektedir. Karşı baradan çıkan ve korunan hat haricindeki tüm hatlar belirlenmektedir. Bu hatlara komşu hatlar denilmektedir. Komşu hatlar içerisinden en uzun olanı 'komşu uzun hat', en kısa olanı da 'komşu kısa hat' olarak atanmaktadır. Kademe hesaplamaları, atanan bu hatlara ait parametreler kullanılarak Bölüm 4.1'de anlatılan hesaplama metodolojisine göre yapılmaktadır. Geri kademe hesaplaması için rölenin koruduğu hattın bağlı olduğu baradan çıkan ve rölenin koruduğu hattın haricindeki bütün hatları tespit etmektedir. Tespit edilen hatlar içerisinden en uzununu 'geri uzun hat' olarak atayıp bu hatta ait parametreleri kullanarak geri kademe hesaplamalarını yapmaktadır.

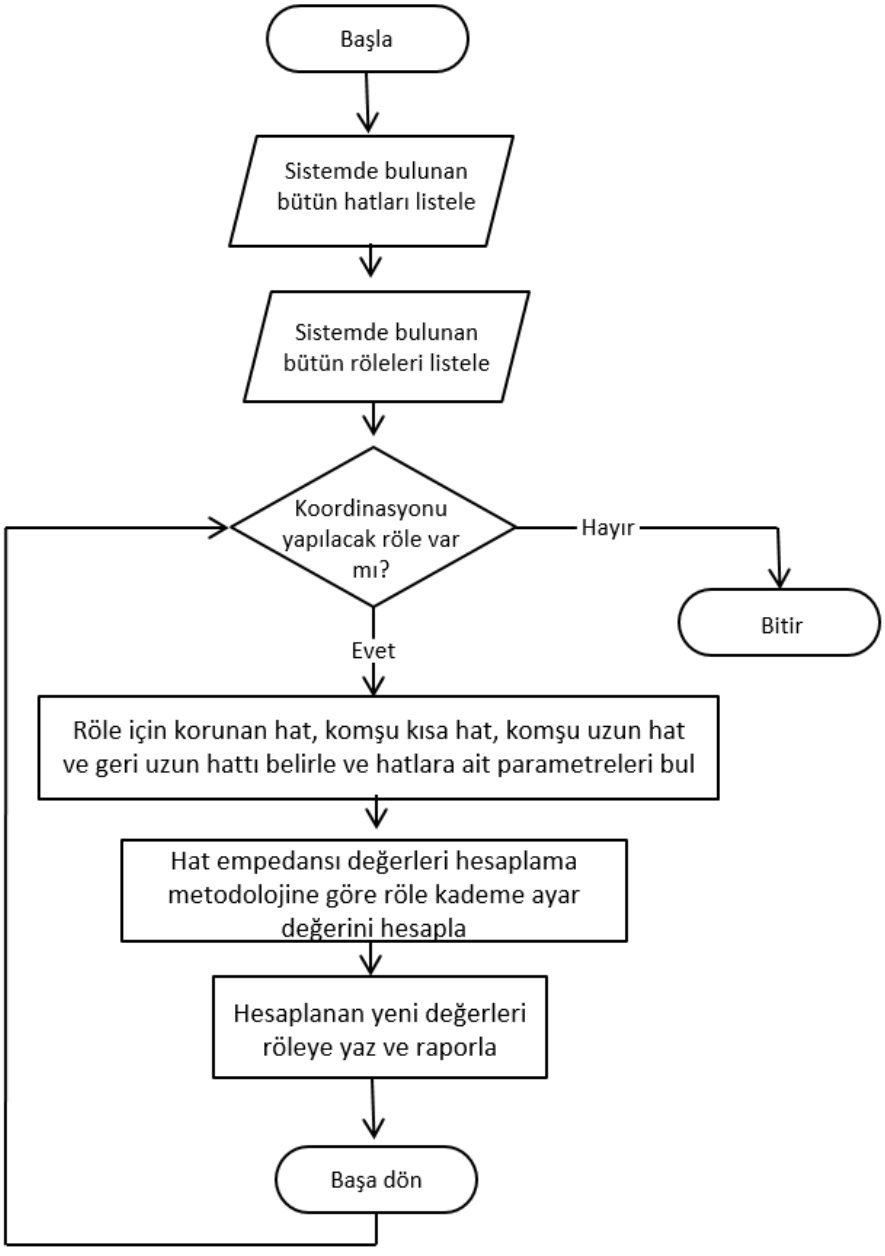
Rölenin kademe hesaplamaları için;

- Kademe 1, korunan hat empedansının %85'i,
- Kademe 2, korunan hat empedansının %100'ü ile komşu kısa hat empedansının %50'si,
- Kademe 3, korunan hat empedansının %100'ü ile komşu uzun hat empedansının %100'ü,
- Geri kademe, geri uzun hat empedansının %100'ü,

alınarak röle kademeleri hesaplanmaktadır.

Oluşturulan algoritmaya ait genel akış şeması Şekil 4.10'da verilmiştir. Algoritma için gerekli giriş verileri aşağıda sıralanmıştır;

- Sistemin topolojisi (baralar, hatlar, bara bağlantıları),
- Hat parametreleri (uzunluk, empedans, direnç, reaktans, açı),
- Koruma cihazları (röle, akım transformatörü, gerilim transformatörü).



Şekil 4.10 Hat empedansı metodu algoritması akış şeması

4.2.2 Görünür Empedans Metodu Algoritma Çalışması

Görünür empedans metodunda besleme (infeed) akımlarının etkisi göz önünde bulundurularak kademe değerleri hesaplanmaktadır. Bunun için öncelikle hat empedansı değerleri metodunda olduğu gibi, algoritma ilk olarak sistemde bulunan mesafe koruma rölelerinin tamamını bulmaktadır. Daha sonra, ilgili rölenin koruduğu hattı ve o hattın bağlı olduğu karşı barayı (transformatör merkezi) belirlemektedir. Karşı baradan çıkan ve korunan hat haricindeki tüm hatlar belirlenmektedir. Bu hatlara komşu hatlar denilmektedir. Komşu hatlar içerisinden en uzun olanı 'komşu uzun hat', en kısa olanı da 'komşu kısa hat' olarak atanmaktadır. Geri kademe hesaplaması için rölenin koruduğu hattın bağlı olduğu baradan çıkan ve rölenin koruduğu hattın haricindeki bütün hatları tespit eder. Tespit edilen hatlar içerisinden en uzununu 'geri uzun hat' olarak atanmaktadır.

Rölenin kademe hesaplamaları için;

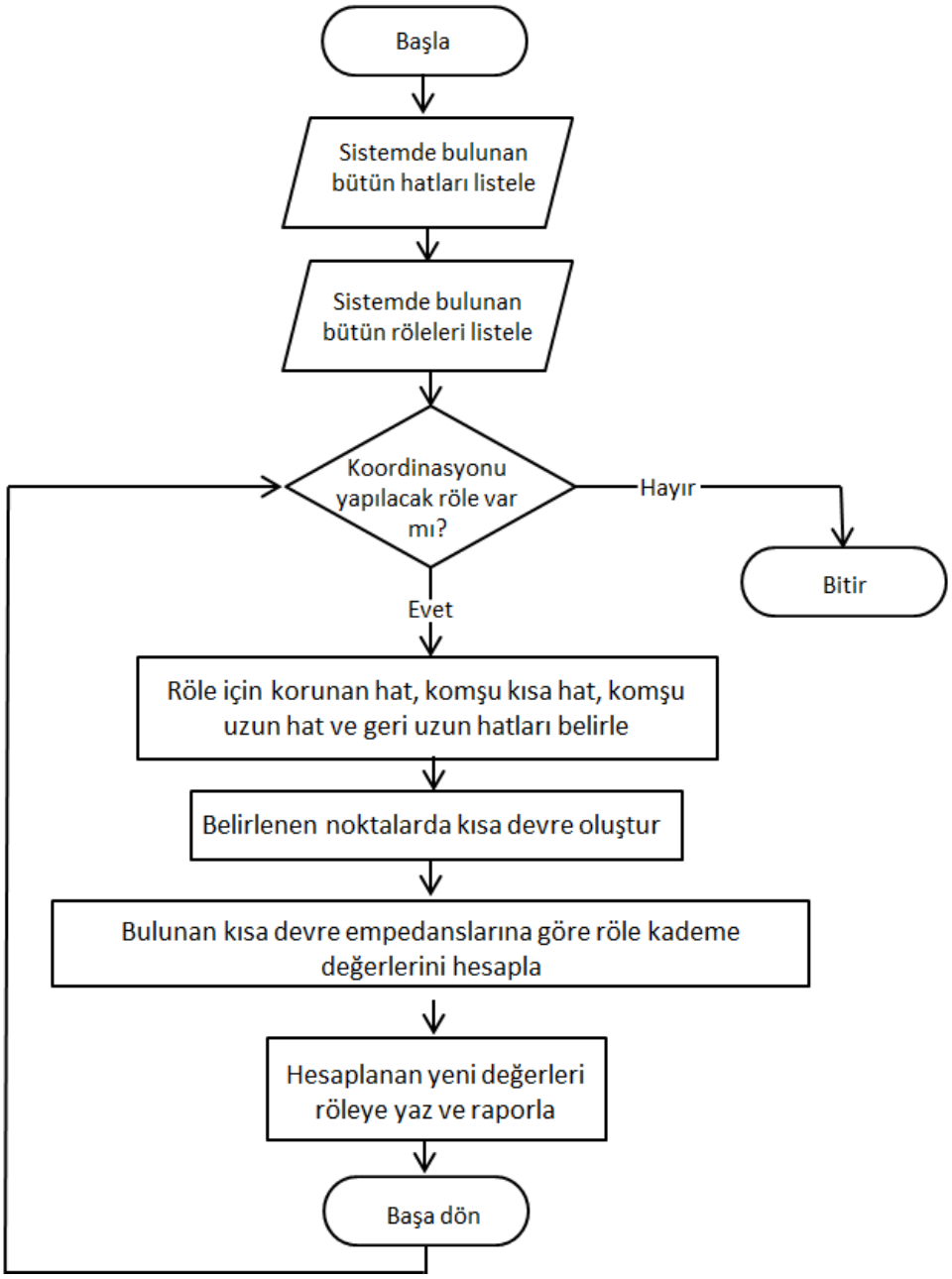
- Kademe 1 hesabı için, korunan hattın %85' inde 3-faz kısa devre arızası oluşturulur. Oluşturulan kısa devre arızası sonucunda hesaplanan kısa devre empedansı röleye Kademe 1 ayar değeri olarak girilir.
- Kademe 2 hesabı için, komşu kısa hattın %50' sinde 3-faz kısa devre arızası oluşturulur. Oluşturulan kısa devre arızası sonucunda hesaplanan kısa devre empedansı röleye Kademe 2 ayar değeri olarak girilir.
- Kademe 3 hesabı için, komşu uzun hattın %100' ünde 3-faz kısa devre arızası oluşturulur. Oluşturulan kısa devre arızası sonucunda hesaplanan kısa devre empedansı röleye Kademe 3 ayar değeri olarak girilir.
- Geri kademe hesabı için, geri uzun hattın %100' ünde 3-faz kısa devre arızası oluşturulur. Oluşturulan kısa devre arızası sonucunda hesaplanan kısa devre empedansı röleye Geri Kademe ayar değeri olarak girilir.

Görünür empedans metoduna göre mesafe koruma rölesi kademelerini hesaplamak için hatların neresinde kısa devre yapıldığı Şekil 4.6'da verilmiştir.

Oluşturulan algoritmaya ait genel akış şeması Şekil 4.11'de verilmiştir. Algoritma için gerekli giriş verileri;

- Sistemin topolojisi (baralar, hatlar, bara bağlantıları),
- Hat parametreleri (uzunluk, empedans, direnç, reaktans, açı),
- Koruma cihazları (röle, akım trafosu, gerilim trafosu),
- Arıza noktası bilgileri,

olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.11 Görünür empedans metodu algoritması akış şeması

BÖLÜM 5

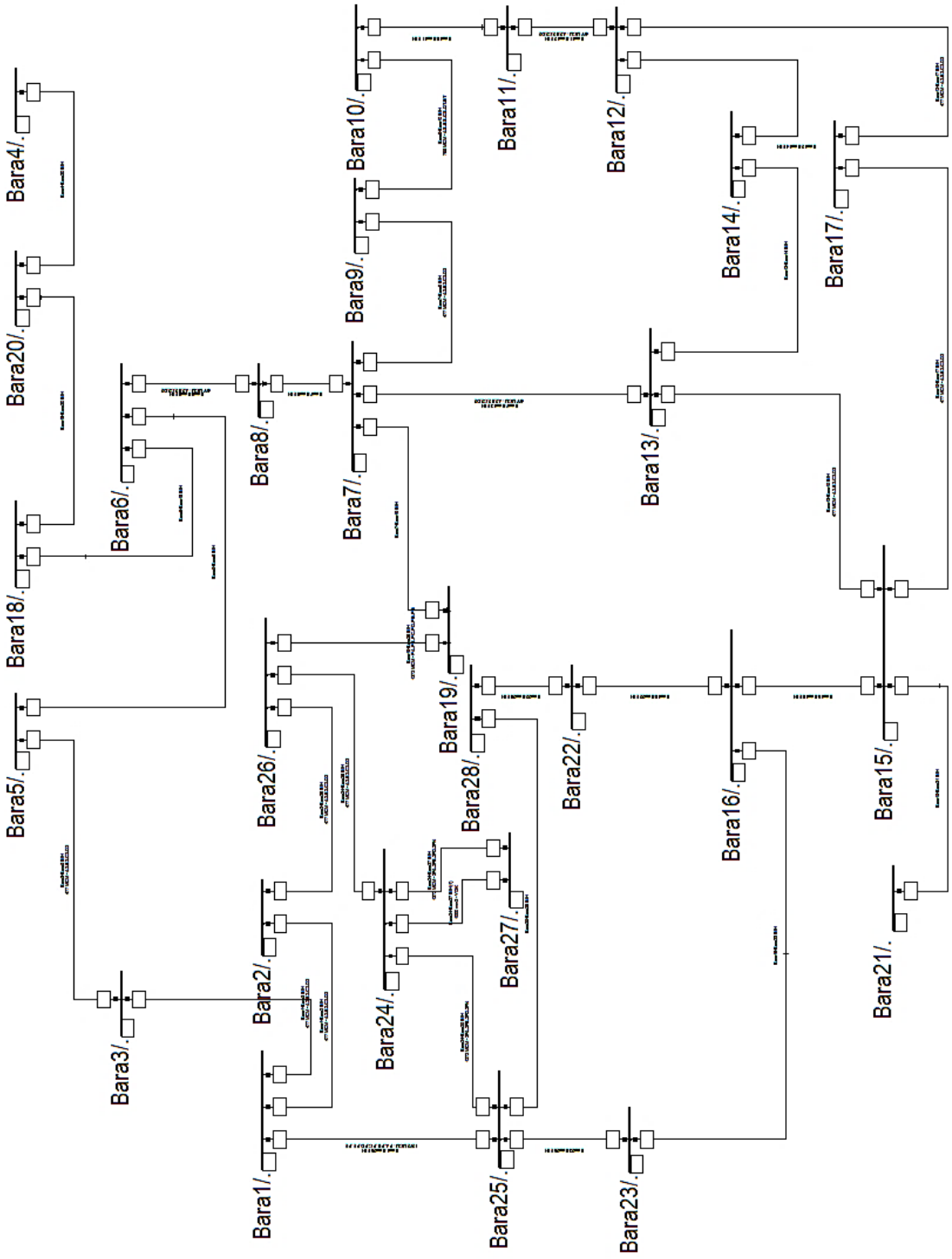
MODELLEME VE SİMÜLASYON

Tez çalışması kapsamında oluşturulan algoritmalar, Türkiye iletim sistemine ait 28 baralı örnek bir bölgede uygulanmıştır. Örnek bölge için DigSilent yazılımında oluşturulan modelin tek hat diyagramı Şekil 5.1'de verilmiştir. Simülasyon çalışmaları için yapılan analizler, 3-faz arızası durumları için gerçekleştirilmiştir. Arızalar oluşturulurken, analizlerde sadece topolojik değişikliklerin etkisini gözlemlemek için arıza direnci sıfır alınmıştır.

Hesaplama yapan algoritma DigSilent programlama dili (DPL: DigSilent Programing Language) yazılımı ile oluşturulmuştur. Arıza analizleri ve Quadrilateral tipi mesafe koruma rölesinin modellenmesi için DigSİlent PowerFactory yazılımı kullanılmıştır.

Simülasyon çalışmalarında üç farklı durum göz önüne alınarak algoritmalar test edilmiştir. Birinci durumda, mevcut şebeke yapısı kullanılarak hesaplama yapılmıştır. İkinci durumda ise arıza sonucu hatlardan birinin devre dışı kalması senaryosu dikkate alınmıştır. Üçüncü durumda, sisteme 50 MW gücünde yeni bir rüzgar enerjisi santrali eklenmesi senaryosu incelenmiştir.

İncelenen her bir senaryo için hem hat empedansı metodu hem de görünür empedans metoduna göre röle ayar değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan ayar değerleri için arıza analizleri gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 5.1 İletim sistemi modeline ait tek hat diyagramı

5.1 Hat Empedansı Metodu ile Gerçekleştirilen Analizler

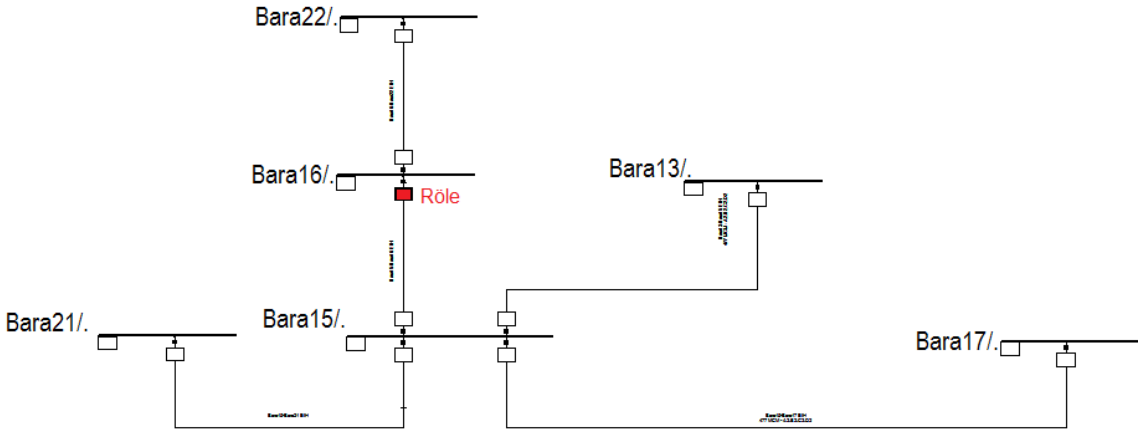
Bu başlık altında gerçekleştirilen senaryolar için mesafe rölesi ayar değerleri "Hat Empedansı Metoduna" göre hesaplanmıştır. Bara16–Bara15 arasındaki iletim hattını koruyan, Bara16 tarafındaki mesafe rölesi incelenmiştir. Kullanılan röle SIEMENS markasına ait 7SA611 modeli röledir. Gerçekleştirilen senaryolar;

- Mevcut topoloji için,
- Değişen topoloji için,
    - İletim hattının devre dışı kalması,
    - Yeni üretim merkezi eklenmesi,

durumları için simule edilmiştir.

5.1.1 Mevcut Topolojiye Göre Röle Koordinasyonu

İlk durumda, analizler Şekil 5.2'de görülen mevcut şebeke yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mevcut topolojide, Bara16 tarafında bulunan ve Bara16–Bara15 iletim hattını koruyan Quadrilateral karakteristikli mesafe koruma rölesi için algoritma çalıştırılarak röleye ait kademe değerleri hesaplanmıştır. Röle; çevirme oranı 800/5 A akım ölçü transformatöründen akım bilgilerini, çevirme oranı 154/0.100 kV olan gerilim ölçü transformatöründen gerilim bilgilerini almaktadır.



Şekil 5.2 Mevcut topoloji tek hat diyagramı

Rölenin kademe değerleri hesaplamalarında kullanılan hatlar aşağıda listelenmiştir:

- Korunan hat: Bara16-Bara15 hattı,
- Komşu kısa hat: Bara15-Bara21 hattı,
- Komşu uzun hat: Bara15-Bara17 hattı,
- Geri uzun hat: Bara16-Bara22 hattıdır.

Hatlara ait parametreler Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Hat parametreleri

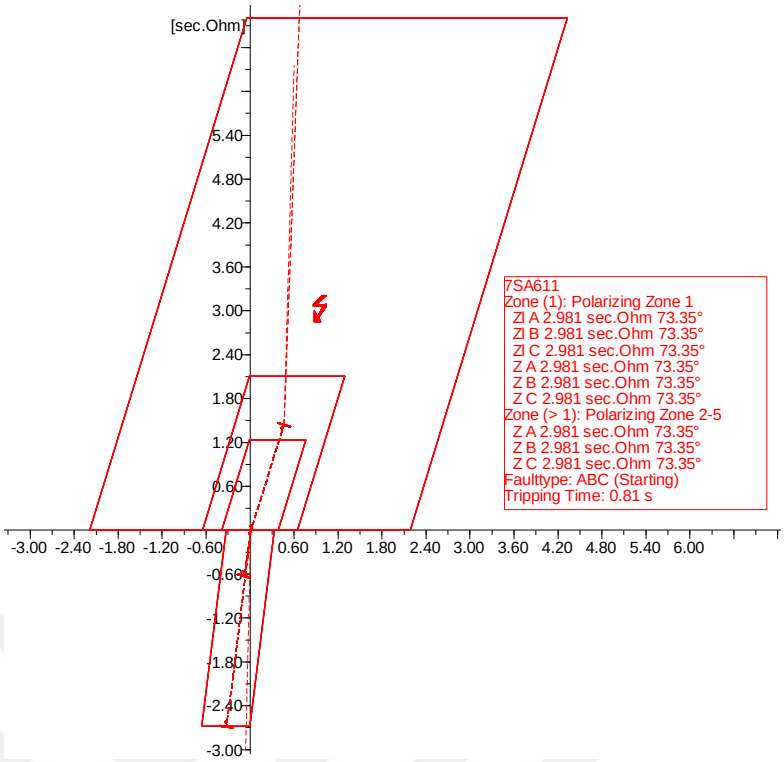
EİH	***Uzunluk(km)***	***Hat tipi***	R_1	X_1	Z_1
Bara16-Bara15	32.9	477 + 1272 MCM	4.16	13.34	13.97
Bara15-Bara21	31.5	477 + 1272 MCM	3.78	12.58	13.15
Bara15-Bara17	124.2	477 MCM	16.67	53.47	56.01
Bara16-Bara22	60.5	1272 MCM	3.16	25.77	25.96
Bara15-Bara13	72.8	477 MCM	9.77	31.35	32.84

Mevcut topoloji için algoritma kullanılarak hesaplanan kademe ayar değerleri Çizelge 5.2'de verilmiştir. Diğer röleler için hesaplanan kademe değerleri EK-A'da verilmiştir.

Çizelge 5.2 Mevcut topoloji hat empedansı metodu için röle kademe değerleri

Röle kademeleri	**Z** (sekonder)	**X** (sekonder)	**R** (sekonder)
Kademe 1	1.291	1.232	0.385
Kademe 2	2.202	2.104	0.65
Kademe 3	7.338	7.005	2.185
Geri Kademe	2.698	2.678	0.328

Bara15-Bara13 hattının %15' inde 3-faz kısa devre arızası gerçekleştirilmiştir. Arıza sonucunda elde edilen değerler Şekil 5.3'te verilen R-X diyagramında gösterilmiştir. Arıza empedansı 2.981 sec.ohm, arıza açısı 73.55^{o} olarak çıkmıştır. Röle arızayı Kademe 3 içerisinde görmüş ve 0.81 s gecikmeyle trip sinyali üretmiştir.



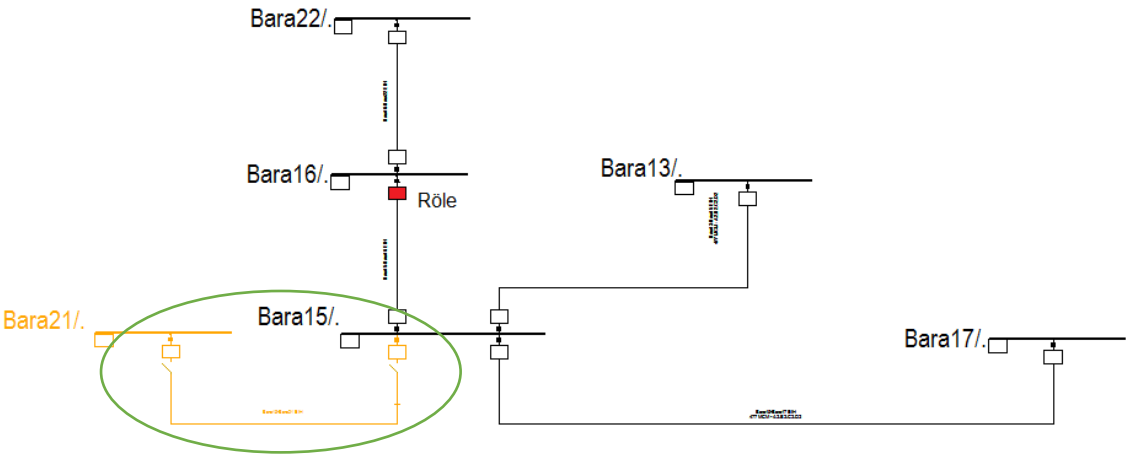
Şekil 5.3 Mevcut topoloji hat empedansı metodu için röle R-X diyagramı

5.1.2 Değişen Topolojiye Göre Röle Koordinasyonu

Değişen topoloji senaryoları 2 farklı şekilde oluşturulmuştur. Bunlardan birinci durumda sistemden bir iletim hattı devre dışı bırakılmış, ikinci durumda ise sisteme yeni bir üretim santrali eklenmiştir.

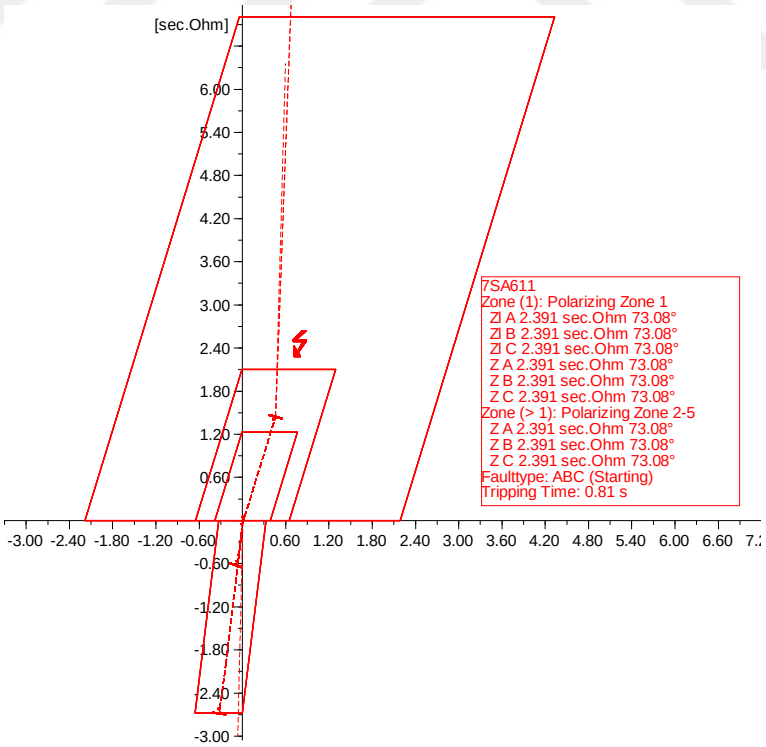
5.1.2.1 İletim Hattının Devre Dışı Kalma Durumu

İletim hattının devre dışı kalması durumunda, arıza sonucu, işletme operasyonları veya bakım yapmak için şebekede meydana gelebilecek bir değişiklik için senaryo oluşturulmuştur. Topoloji değişikliği senaryosu için Şekil 5.4'te görüldüğü üzere Bara15-Bara21 (komşu kısa hat) hattı devreden çıkarılmıştır.



Şekil 5.4 Değişen topoloji için tek hat diyagramı

Değişen topoloji yapısı için gerçekleştirilen ilk analizde röle kademe ayarları değiştirilmeyerek yeniden Bara15-Bara13 hattının %15'inde 3-faz arızası gerçekleştirilmiştir. Hattın devre dışı kalmasıyla besleme etkisinin azalmasından dolayı Şekil 5.5'te görülüğü üzere arıza empedansı 2.391 sec.ohm, açısı 73.08^{o} olarak çıkmıştır. Hem topolojinin hem de besleme etkisinin değişmesine rağmen röle arızayı yine Kademe 3 içerisinde görmüş ve 0.81 s gecikmeyle trip sinyali üretmiştir.



Şekil 5.5 Değişen topoloji mevcut ayar değerleri için hat empedansı metoduna göre röle R-X diyagramı

Şebekenin yeni yapısına göre rölenin arızayı Kademe 2'de görmesi gerekmektedir. Fakat, röle arızayı yine Kademe 3 içerisinde görmüştür. Bu durum, sistemde meydana gelen yapısal değişikliklerin etkisinin kademe değerlerine yansıtılmadığında rölenin görevini uygun biçimde yerine getiremediğini göstermektedir. Elde edilen sonuç, topoloji değişikliği durumunda röle ayarlarının değiştirilmemesinin yanlış açmalara sebep olduğunu göstermektedir.

Şebeke konfigürasyonundaki değişimin röle ayarlarına yansıtılması ile istenmeyen durumların ortadan kaldırılması mümkün olacaktır. Oluşturulan algoritma kullanılarak değişen topolojiye göre kademe ayar değerleri yeniden hesaplatılmıştır. Kademe 2 hesaplaması için komşu kısa hat ilk durumda Bara15-Bara21 hattı iken, topoloji değiştikten sonra Bara15-Bara13 hattı olmuştur.

Kademe 2 değeri ilk hesaplamada 2.202 sec.ohm iken topoloji değiştikten sonra yapılan hesaplamada 3.225 sec.ohm olarak belirlenmiştir.

Değişen topolojiye göre rölenin kademe değerleri hesaplamalarında kullanılan hatlar aşağıda listelenmiştir:

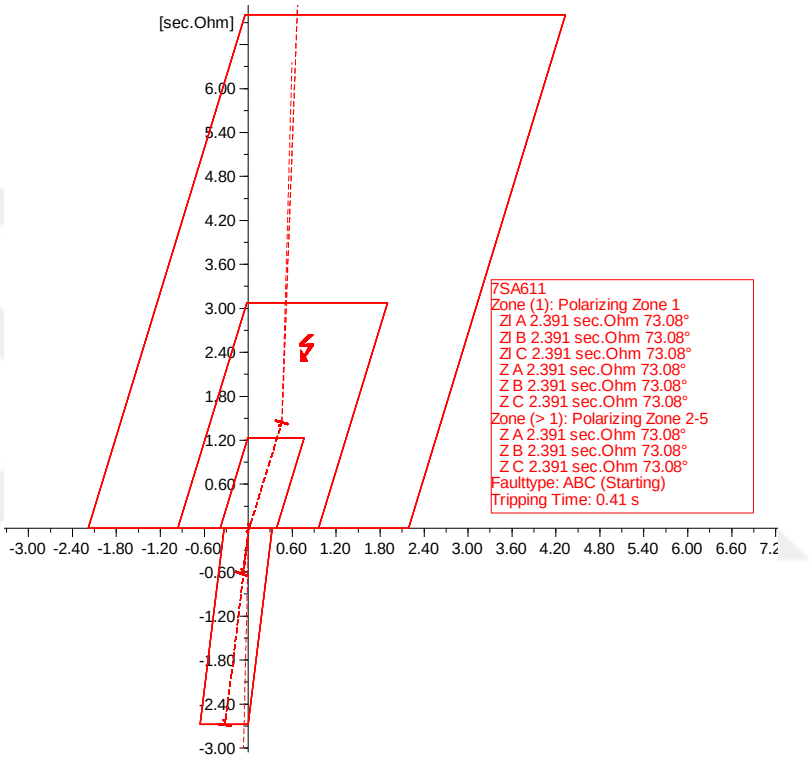
- Korunan hat : Bara16-Bara15 hattı,
- Komşu kısa hat : Bara15-Bara13 hattı,
- Komşu uzun hat : Bara15-Bara17 hattı,
- Geri uzun hat : Bara16-Bara22 hattıdır.

Hesaplama sonucu belirlenen kademe değerleri Çizelge 5.3'te verilmiştir. Diğer röleler için hesaplanan kademe değerleri EK-B'de verilmiştir.

Çizelge 5.3 Değişen topoloji hat empedansı metodu için röle kademe değerleri

Röle kademeleri	**Z** (sekonder)	**X** (sekonder)	**R** (sekonder)
Kademe 1	1.291	1.232	0.385
Kademe 2	3.225	3.078	0.961
Kademe 3	7.338	7.005	2.185
Geri Kademe	2.698	2.678	0.328

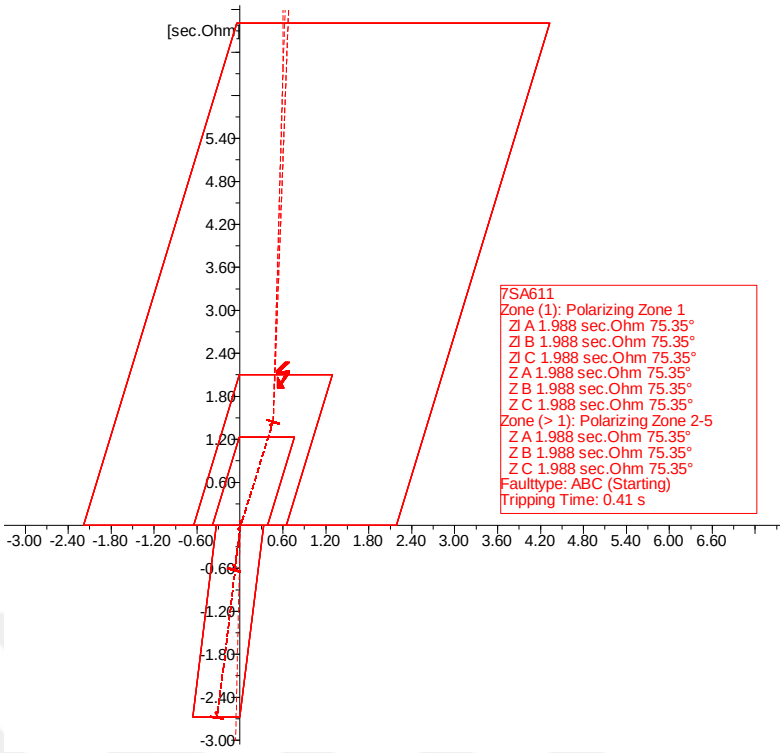
Röleye yeni set değerleri girilerek topoloji değişikliği sonrası gerçekleştirilen arızaya karşı verdiği cevap test edilmiştir. Bara15-Bara13 hattında yine aynı noktada (%15) 3-faz arızası gerçekleştirildiğinde arıza empedansının 2.391 sec.ohm ve açısının 73.08^{o} olarak çıktığı Şekil 5.6'da görülmektedir. Arıza bu sefer Kademe 2 içerisinde görülmüş ve röle 0.41 s gecikmeyle trip sinyali üretmiştir. Elde edilen sonuçlar algoritmanın doğru çalıştığını ve yeni set değerlerinin girilmesi ile rölenin arızayı görmesi gereken kademede algıladığını göstermektedir.



Şekil 5.6 Değişen topoloji hat empedansı metodu için röle R-X diyagramı

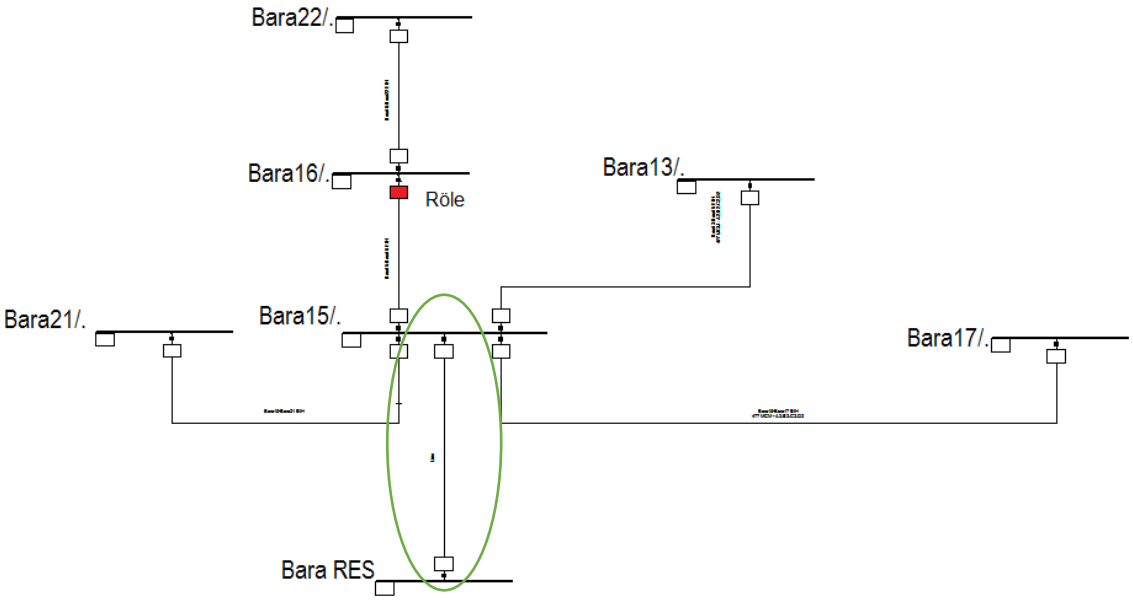
5.1.2.2 Yeni Üretim Merkezinin Eklenmesi Durumu

Sisteme yeni üretim santrali eklenmeden önce mevcut durum kademe ayarları kullanılarak, Bara15-Bara21 hattının %15'inde 3-faz kısa devre arızası gerçekleştirmiştir. Arıza sonucunda elde edilen değerler Şekil 5.7'de verilen R-X diyagramında gösterilmiştir. Arıza empedansı 1.988 sec.ohm, arıza açısı 75.35^{o} olarak çıkmıştır. Röle arızayı Kademe 2 içerisinde görmüş ve 0.41 s gecikmeyle trip sinyali üretmiştir. Elde edilen sonuç, rölenin beklenen şekilde görevini yerine getirdiğini göstermektedir.



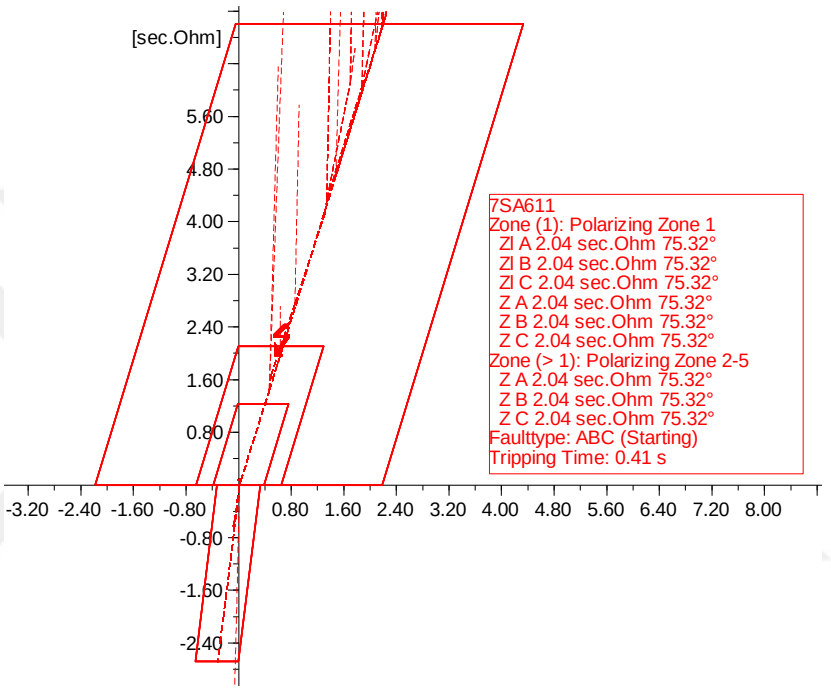
Şekil 5.7 Mevcut topoloji hat empedansı metodu için röle R-X diyagramı

Yeni üretim santralinin eklenmesi durumunda, sisteme 50 MW gücünde Rüzgar santrali 12 km uzunluğunda 477 MCM kablo ile Bara15 transformatör merkezine bağlanmıştır. Topoloji değişikliği senaryosu için Şekil 5.8'de görüldüğü üzere Bara15 transformatör merkezine, Bara RES transformatör merkezli üretim santrali eklenmiştir.



Şekil 5.8 Değişen topoloji için tek hat diyagramı

Değişen topoloji yapısı için gerçekleştirilen ilk analizde röle kademe ayarları değiştirilmeyerek yeniden Bara15-Bara21 hattının %15'inde 3-faz arızası gerçekleştirilmiştir. Yeni üretim santralinin devreye girmesiyle besleme etkisinin artmasından dolayı Şekil 5.9'da görülüğü üzere arıza empedansı 2.04 sec.ohm, açısı 75.32^{o} olarak çıkmıştır. Hem topolojinin hem de besleme etkisinin değişmesine rağmen röle arızayı yine Kademe 2 içerisinde görmüş ve 0.41 s gecikmeyle trip sinyali üretmiştir.



Şekil 5.9 Değişen topoloji mevcut ayar değerleri için hat empedansı metoduna göre röle R-X diyagramı

Şebekenin yeni yapısına göre rölenin arızayı Kademe 3'te görmesi gerekmektedir. Fakat, röle arızayı yine Kademe 2 içerisinde görmüştür. Bu durum, topoloji değişiminin etkisinin kademe değerlerine yansıtılmadığında rölenin görevini uygun biçimde yerine getiremediğini göstermektedir. Arıza analizi sonucu, topoloji değişikliği durumunda röle ayarlarının değiştirilmemesinin yanlış açmalara sebep olduğunu göstermektedir.

Sistemde meydana gelen yapısal değişikliklerin röle ayarlarına yansıtılması ile hatalı açmaların ortadan kaldırılması mümkün olacaktır. Oluşturulan algoritmalar kullanılarak değişen topolojiye göre kademe ayar değerleri yeniden hesaplanmıştır. Kademe 2 hesaplaması için komşu kısa hat ilk durumda Bara15-Bara21 hattı iken, topoloji değiştikten sonra Bara15-Bara RES hattı olmuştur. Buna bağlı olarak Kademe 2

değerinin ilk hesaplamada 2.202 sec.ohm iken topoloji değiştikten sonra yapılan hesaplamada 1.80 sec.ohm değerine düştüğü görülmüştür. Hesaplama sonucu belirlenen kademe değerleri Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Değişen topolojiye göre rölenin kademe değerleri hesaplamalarında kullanılan hatlar aşağıda listelenmiştir:

- Korunan hat : Bara16-Bara15 hattı,
- Komşu kısa hat : Bara15-Bara RES hattı,
- Komşu uzun hat : Bara15-Bara17 hattı,
- Geri uzun hat : Bara16-Bara22 hattıdır.

Hatlara ait parametreler Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 Hat parametreleri

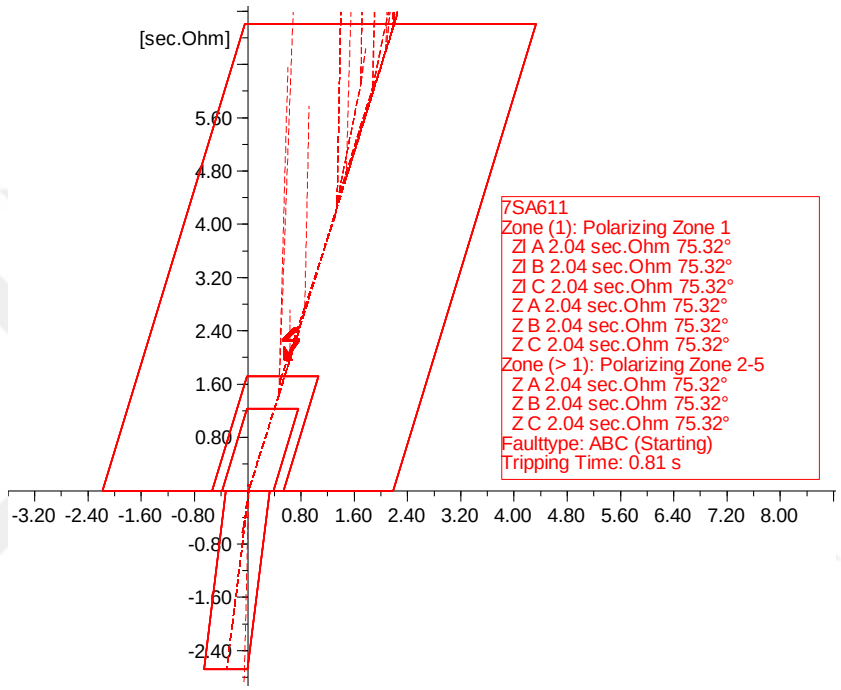
EİH	***Uzunluk(km)***	***Hat tipi***	R_1	X_1	Z_1
Bara16-Bara15	32.9	477 + 1272 MCM	4.16	13.34	13.97
Bara15-Bara21	31.5	477 + 1272 MCM	3.78	12.58	13.15
Bara15-Bara17	124.2	477 MCM	16.67	53.47	56.01
Bara16-Bara22	60.5	1272 MCM	3.16	25.77	25.96
Bara15-Bara13	72.8	477 MCM	9.77	31.35	32.84
Bara15-Bara RES	12	477 MCM	1.61	5.16	5.411

Hesaplama sonucu belirlenen kademe değerleri Çizelge 5.5'te verilmiştir. Diğer röleler için hesaplanan kademe değerleri EK-C'de verilmiştir.

Çizelge 5.5 Değişen topoloji hat empedansı metodu için röle kademe değerleri

Röle kademeleri	**Z (sekonder)**	**X (sekonder)**	**R (sekonder)**
Kademe 1	1.291	1.232	0.385
Kademe 2	1.80	1.718	0.537
Kademe 3	7.338	7.005	2.185
Geri Kademe	2.698	2.678	0.328

Röleye yeni set değerleri girilerek topoloji değişikliği sonrası gerçekleştirilen arızaya karşı verdiği cevap test edilmiştir. Bara15-Bara21 hattında yine aynı noktada 3-faz arızası gerçekleştirildiğinde arıza empedansının 2.04 sec.ohm ve açısının 75.32^{o} olarak çıktığı Şekil 5.10'da görülmektedir. Arıza bu sefer Kademe 3 içerisinde görülmüş ve röle 0.81 s gecikmeyle trip sinyali üretmiştir. Elde edilen sonuçlar algoritmanın doğru çalıştığını ve yeni set değerlerinin girilmesi ile rölenin arızayı görmesi gereken kademede algıladığını göstermektedir.



Şekil 5.10 Değişen topoloji hat empedansı metodu için röle R-X diyagramı

5.2 Görünür Empedans Metodu ile Gerçekleştirilen Analizler

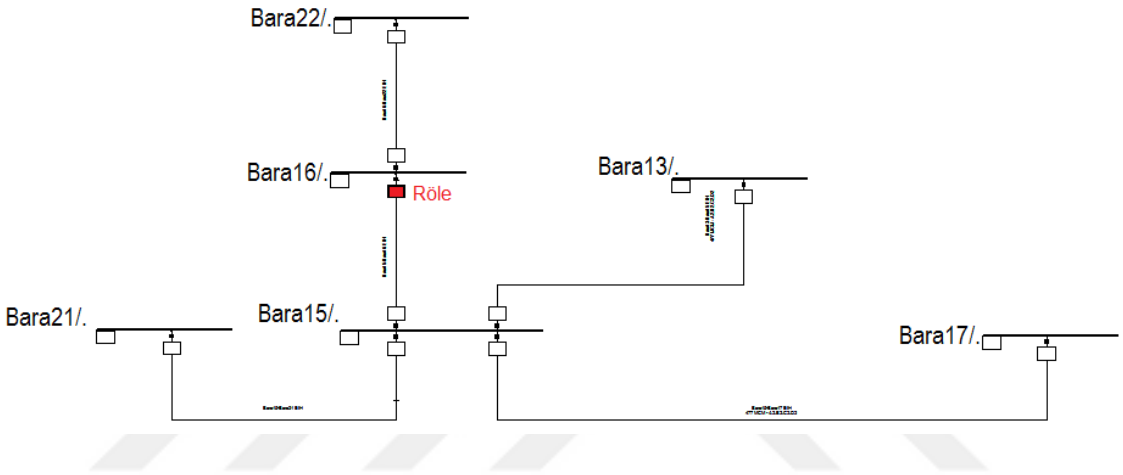
Bu başlık altında gerçekleştirilen senaryolar için mesafe rölesi ayar değerleri görünür empedans metoduna göre hesaplanmıştır. Yine Bara16 – Bara15 iletim hattını koruyan, Bara16 tarafındaki mesafe rölesi incelenmiştir. Kullanılan röle SIEMENS markasına ait 7SA611 modeli röledir. Gerçekleştirilen senaryolar;

- Mevcut topoloji için,
- Değişen topoloji için,
    - İletim hattının devre dışı kalması,
    - Yeni üretim merkezi eklenmesi,

durumları için yapılmıştır.

5.2.1 Mevcut Topolojiye Göre Röle Koordinasyonu

İlk durumda, analizler Şekil 5.11'de görülen mevcut şebeke yapısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mevcut topolojide, Bara16 tarafında bulunan ve Bara16 – Bara15 iletim hattını koruyan Quadrilateral karakteristikli mesafe koruma rölesi için algoritma çalıştırılarak röleye ait kademe değerleri hesaplanmıştır. Akım trafosu çevirme oranı 800/5 A ve gerilim trafosu çevirme oranı 154/0.100 kV'tur.



Şekil 5.11 Mevcut topoloji tek hat diyagramı

Rölenin kademe değerleri hesaplamalarında kullanılan hatlar aşağıda listelenmiştir:

- Korunan hat: Bara16-Bara15 hattı,
- Komşu kısa hat: Bara15-Bara21 hattı,
- Komşu uzun hat: Bara15-Bara17 hattı,
- Geri uzun hat: Bara16-Bara22 hattıdır.

Mevcut topoloji için görünür empedansa göre hesaplama yapan algoritma aşağıdaki kurallara göre kademe değerlerini hesaplamıştır:

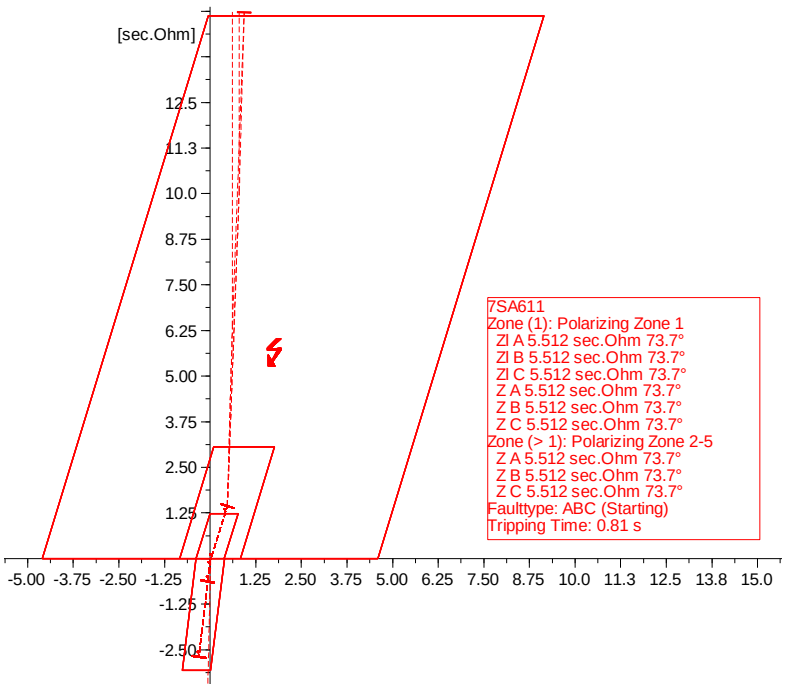
- Kademe 1 için korunan hattın %85 inde,
- Kademe 2 için komşu kısa hattın %50 sinde,
- Kademe 3 için komşu uzun hattın %100 ünde,
- Geri Kademe için geri uzun hattın %100 ünde,

Bölüm 4.1.1.8'de belirtildiği üzere 3-faz kısa devre arızaları oluşturulmuş ve hesaplanan kısa devre empedans bilgileri kullanılarak röle kademe ayar değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan röle arar değerleri Çizelge 5.6'da verilmiştir. Diğer röleler için hesaplanan kademe değerleri EK-D'de verilmiştir.

Çizelge 5.6 Mevcut topoloji için görünür empedans metoduna göre röle kademe değerleri

Röle kademeleri	**Z** (sekonder)	**X** (sekonder)	**R** (sekonder)
Kademe 1	1.291	1.232	0.385
Kademe 2	3.166	3.055	0.831
Kademe 3	15.562	14.866	4.602
Geri Kademe	3.092	3.068	0.389

Topolojik değişikliğin röle koordinasyonuna olan etkisinin net bir şekilde görülebilmesi için, Bara15-Bara13 hattının %40'ında 3-faz kısa devre arızası gerçekleştirilmiştir. Arıza sonucunda elde edilen değerler Şekil 5.12'de verilen R-X diyagramında gösterilmiştir. Arıza empedansı 5.512 sec.ohm, arıza açısı 73.7^{o} olarak çıkmıştır. Röle arızayı Kademe 3 içerisinde görmüş ve 0.81 s gecikmeyle trip sinyali üretmiştir.



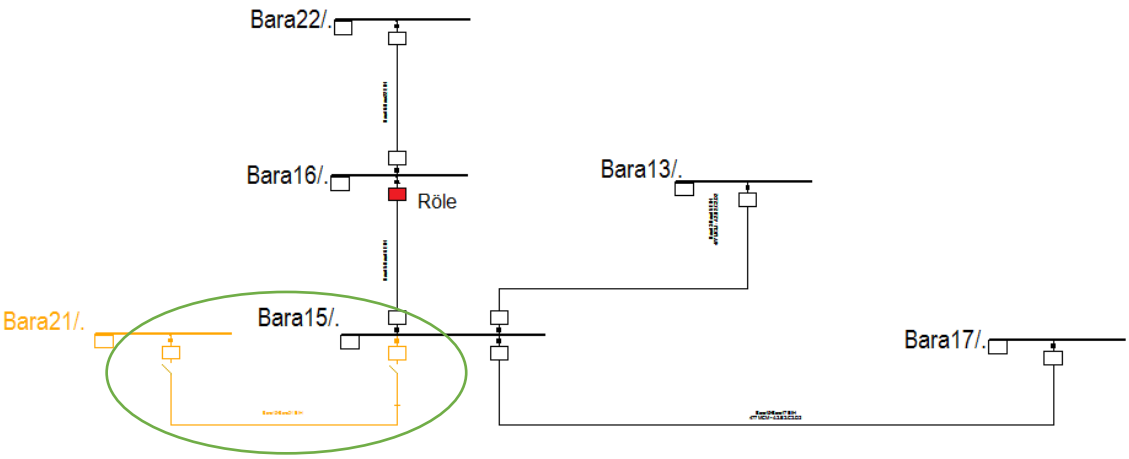
Şekil 5.12 Mevcut topoloji görünür empedans metodu için röle R-X diyagramı

5.2.2 Değişen Topolojiye Göre Röle Koordinasyonu

Değişen topoloji durumları 2 farklı şekilde oluşturulmuştur. Bunlardan ilkinde iletim hattı devre dışı bırakılmış, ikinci durumda ise yeni bir üretim santrali eklenmiştir.

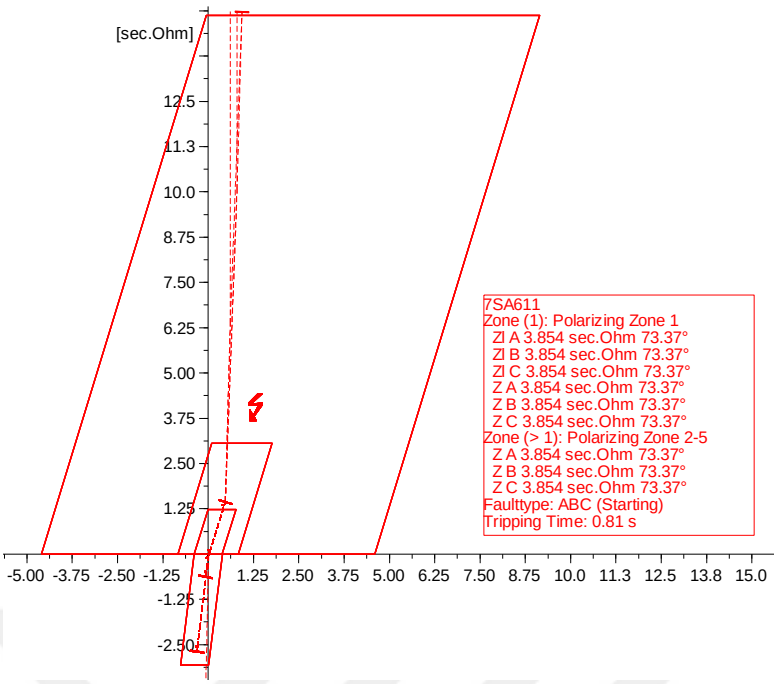
5.2.2.1 İletim Hattının Devre Dışı Kalma Durumu

İletim hattının devre dışı kalması durumunda, arıza sonucu veya bakım yapmak için şebekede meydana gelebilecek bir değişiklik için senaryo oluşturulmuştur. Topoloji değişikliği senaryosu için Şekil 5.13'te görüldüğü üzere Bara15-Bara21 (komşu kısa hat) hattı devreden çıkarılmıştır.



Şekil 5.13 Değişen topoloji için tek hat diyagramı

Değişen topoloji yapısı için gerçekleştirilen ilk analizde röle kademe ayarları değiştirilmeyerek yeniden Bara15-Bara13 hattının %40'ında 3-faz arızası gerçekleştirilmiştir. Hattın devre dışı kalmasıyla besleme etkisinin azalmasından dolayı Şekil 5.14'te görülüğü üzere arıza empedansı 3.854 sec.ohm, açısı 73.37^{o} olarak çıkmıştır. Hem topolojinin hem de besleme etkisinin değişmesine rağmen röle arızayı yine Kademe 3 içerisinde görmüş ve 0.81 s gecikmeyle trip sinyali üretmiştir.



Şekil 5.14 Değişen topoloji mevcut ayar değerleri için görünür empedans metoduna göre röle R-X diyagramı

Şebekenin yeni yapısına göre rölenin arızayı Kademe 2'de görmesi gerekmektedir. Fakat, röle arızayı yine Kademe 3 içerisinde görmüştür. Bu durum, sistemdeki topolojik değişikliklerin kademe değerlerine yansıtılmadığında rölenin görevini uygun biçimde yerine getiremediğini göstermektedir. Elde edilen sonuç, topoloji değişikliği durumunda röle ayarlarının yeniden hesaplanmamasının yanlış açmalara sebep olduğunu göstermektedir.

Şebeke konfigürasyonundaki değişimin röle ayarlarına yansıtılması ile istenmeyen durumların ortadan kaldırılması mümkün olacaktır. Oluşturulan algoritma kullanılarak değişen topolojiye göre kademe ayar değerleri yeniden hesaplatılmıştır. Kademe 2 hesaplaması için komşu kısa hat ilk durumda Bara15-Bara21 hattı iken, topoloji değiştikten sonra Bara15-Bara13 hattı olmuştur. Buna bağlı olarak Kademe 2 değerinin ilk hesaplamada 3.166 sec.ohm iken topoloji değiştikten sonra yapılan hesaplamada 4.445 sec.ohm değerine çıktığı görülmüştür. Hesaplama sonucu belirlenen kademe değerleri Çizelge 5.7'de verilmiştir. Diğer röleler için hesaplanan kademe değerleri EK-E'de verilmiştir.

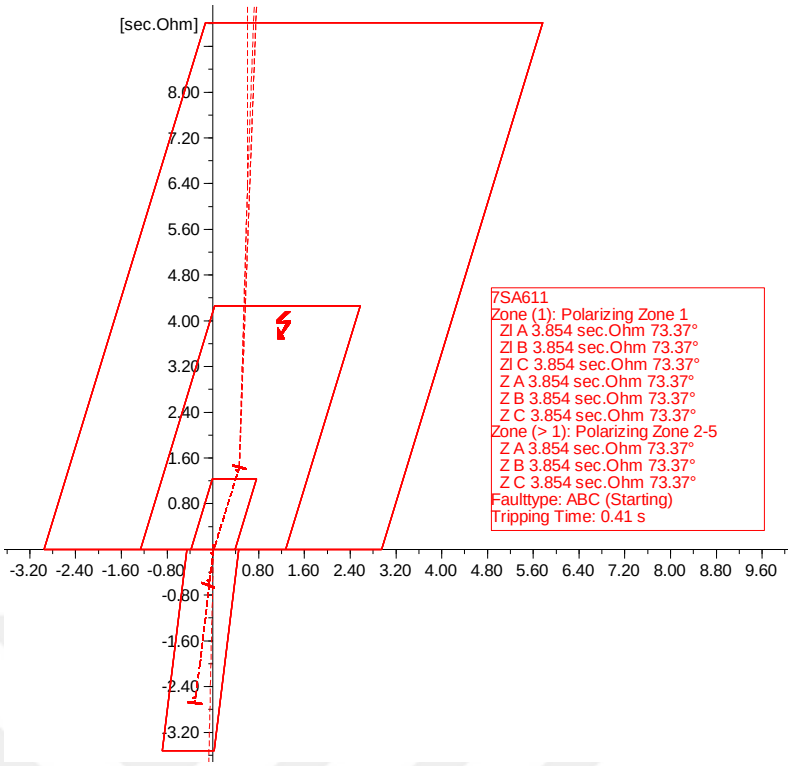
Değişen topolojiye göre rölenin kademe değerleri hesaplamalarında kullanılan hatlar aşağıda listelenmiştir:

- Korunan hat : Bara16-Bara15 hattı,
- Komşu kısa hat : Bara15-Bara13 hattı,
- Komşu uzun hat : Bara15-Bara17 hattı,
- Geri uzun hat : Bara16-Bara22 hattıdır.

Çizelge 5.7 Değişen topoloji görünür empedans metodu için kademe değerleri

Röle kademeleri	Z (sekonder)	X (sekonder)	R (sekonder)
Kademe 1	1.291	1.232	0.385
Kademe 2	4.445	4.26	1.296
Kademe 3	9.676	9.216	2.95
Geri Kademe	3.549	3.519	0.455

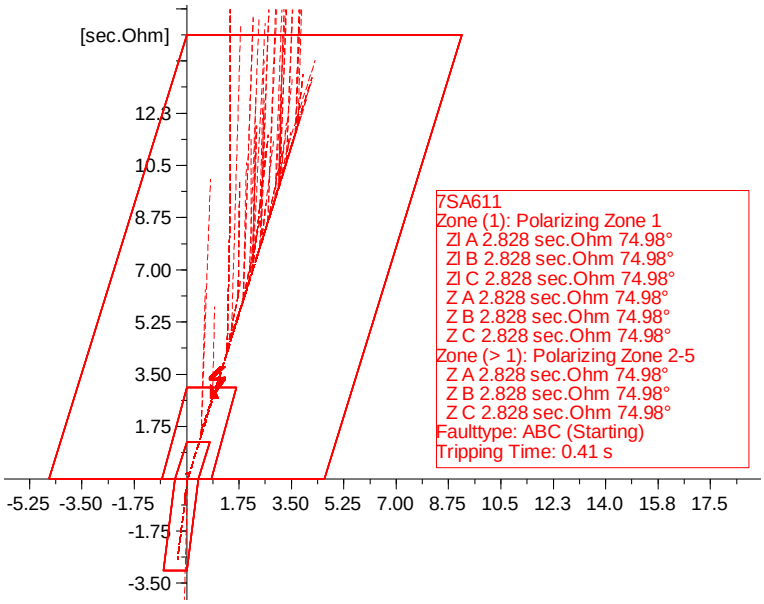
Röleye yeni set değerleri girilerek topoloji değişikliği sonrası gerçekleştirilen arızaya karşı verdiği cevap test edilmiştir. Bara15-Bara13 hattında yine aynı noktada 3-faz arızası gerçekleştirildiğinde arıza empedansının 3.854 sec.ohm ve açısının 73.37^{o} olarak çıktığı Şekil 5.15'te görülmektedir. Arıza bu sefer Kademe 2 içerisinde görülmüş ve röle 0.41 s gecikmeyle trip sinyali üretmiştir. Elde edilen sonuçlar algoritmanın doğru çalıştığını ve yeni set değerlerinin girilmesi ile rölenin arızayı görmesi gereken kademede algıladığını göstermektedir.



Şekil 5.15 Değişen topoloji görünür empedans metodu için röle R-X diyagramı

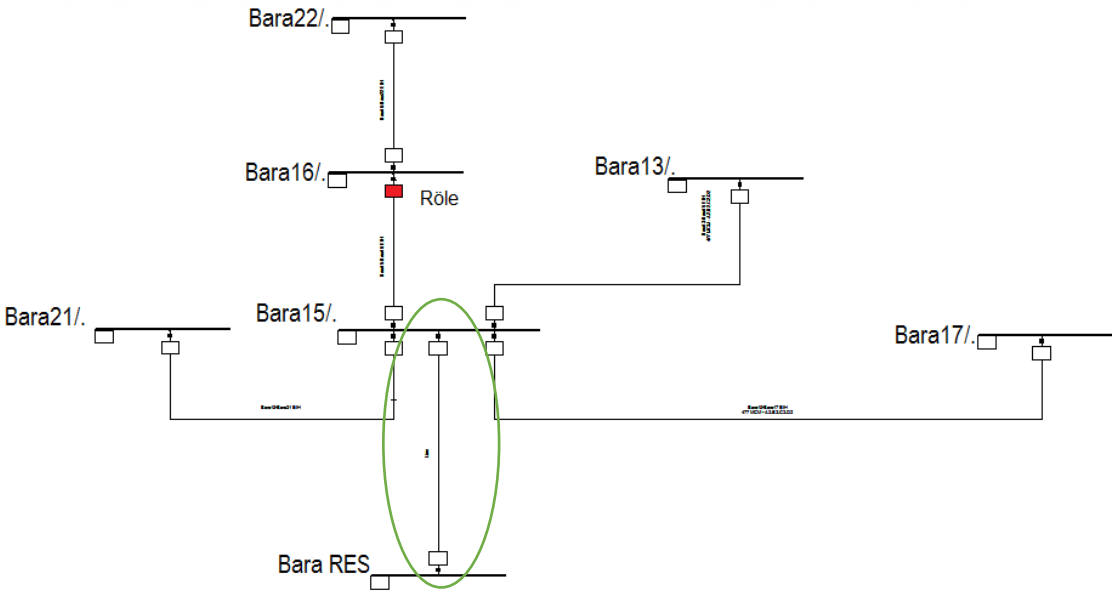
5.2.2.2 Yeni Üretim Merkezinin Eklenmesi Durumu

Sisteme yeni üretim santrali eklenmeden önce mevcut durum kademe ayarları kullanılarak analiz yapılmıştır. Topolojik değişikliğin röle koordinasyonu üzerine olan etkisinin net bir şekilde görülebilmesi için, Bara15-Bara21 hattının %40'ında 3-faz kısa devre arızası gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.16'da görülen röleye ait R-X diyagramı elde edilmiştir. Arıza empedansı 2.828 sec.ohm, arıza açısı 74.98^{o} olarak çıkmıştır. Röle arızayı Kademe 2 içerisinde görmüş ve 0.41 s gecikmeyle trip sinyali üretmiştir. Elde edilen sonuç, rölenin beklenen şekilde görevini yerine getirdiğini göstermektedir.



Şekil 5.16 Mevcut topoloji görünür empedans metodu için röle R-X diyagramı

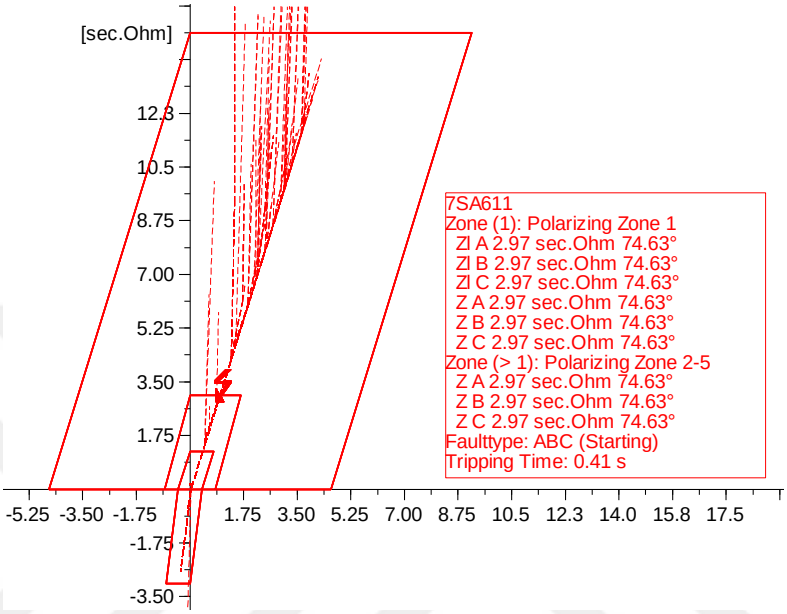
Yeni üretim santralinin eklenmesi durumunda, sisteme 50 MW gücünde Rüzgar santrali 12 km uzunluğunda 477 MCM kablo ile Bara15 trafo merkezine bağlanmıştır. Topoloji değişikliği senaryosu için Şekil 5.17'de görüldüğü üzere Bara15 trafo merkezine Bara RES trafo merkezine bağlı üretim santrali eklenmiştir.



Şekil 5.17 Değişen topoloji için tek hat diyagramı

Değişen topoloji yapısı için gerçekleştirilen ilk analizde röle kademe ayarları değiştirilmeyerek yeniden Bara15-Bara21 hattının %40'ında 3-faz arızası

gerçekleştirilmiştir. Yeni üretim santralinin devreye girmesiyle besleme etkisinin artmasından dolayı Şekil 5.18'de görülüğü üzere arıza empedansı 2.97 sec.ohm, açısı 74.63^{o} olarak çıkmıştır. Hem topolojinin hem de besleme etkisinin değişmesine rağmen röle arızayı yine Kademe 2 içerisinde görmüş ve 0.41 s gecikmeyle trip sinyali üretmiştir.



Şekil 5.18 Değişen topoloji mevcut ayar değerleri için görünür empedans metoduna göre röle R-X diyagramı

Şebekenin yeni yapısına göre rölenin arızayı Kademe 3'te görmesi gerekmektedir. Fakat, röle arızayı yine Kademe 2 içerisinde görmüştür. Sistemde meydana gelen topolojik değişiminin etkisinin kademe değerlerine yansıtılmadığında rölenin görevini uygun biçimde yerine getiremediği görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda, topoloji değişikliği durumunda rölelerin yeniden set edilmemesinin yanlış açmalara sebep olduğunu göstermektedir.

Şebeke yapısındaki değişimin röle ayarlarına yansıtılması ile istenmeyen durumların ortadan kaldırılması mümkün olacaktır. Oluşturulan algoritmalar kullanılarak değişen topolojiye göre kademe ayar değerleri yeniden hesaplatılmıştır. Kademe 2 hesaplaması için komşu kısa hat ilk durumda Bara15-Bara21 hattı iken, topoloji değiştikten sonra Bara15-Bara RES hattı olmuştur. Buna bağlı olarak Kademe 2 değerinin ilk hesaplamada 3.166 sec.ohm iken topoloji değiştikten sonra yapılan hesaplamada 2.522 sec.ohm

değerine düştüğü görülmüştür. Değişen topolojiye göre rölenin kademe değerleri hesaplamalarında kullanılan hatlar aşağıda listelenmiştir:

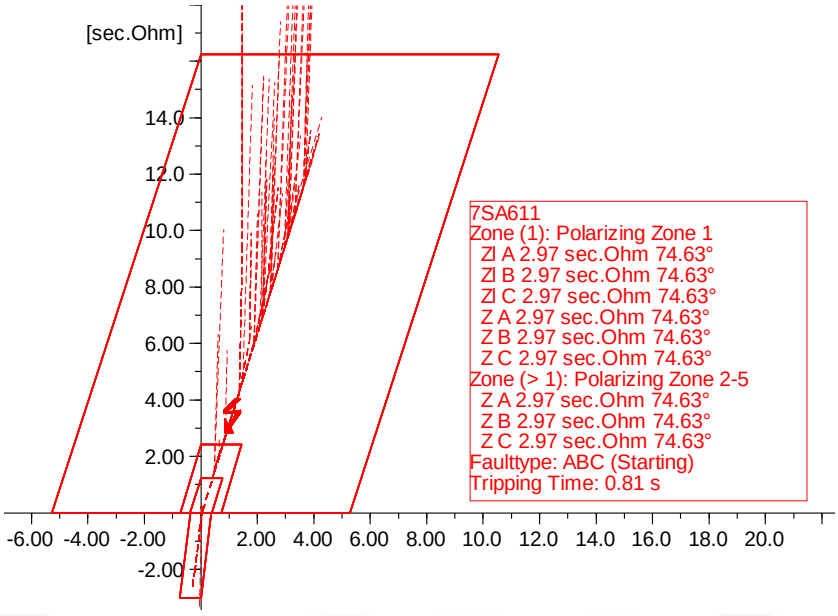
- Korunan hat : Bara16-Bara15 hattı,
- Komşu kısa hat : Bara15-Bara RES hattı,
- Komşu uzun hat : Bara15-Bara17 hattı,
- Geri uzun hat : Bara16-Bara22 hattıdır.

Hesaplama sonucu belirlenen kademe değerleri Çizelge 5.8'de verilmiştir. Diğer röleler için hesaplanan kademe değerleri EK-F'de verilmiştir.

Çizelge 5.8 Değişen topoloji görünür empedans metodu için röle kademe değerleri

Röle kademeleri	Z (sekonder)	X (sekonder)	R (sekonder)
Kademe 1	1.291	1.232	0.386
Kademe 2	2.522	2.416	0.724
Kademe 3	16.942	16.116	5.224
Geri Kademe	3.043	3.02	0.373

Röleye yeni set değerleri girilerek topoloji değişikliği sonrası gerçekleştirilen arızaya karşı verdiği cevap test edilmiştir. Bara15-Bara21 hattında yine aynı noktada 3-faz arızası gerçekleştirildiğinde arıza empedansının 2.97 sec.ohm ve açısının 74.63^{o} olarak çıktığı Şekil 5.19'da görülmektedir. Arıza bu sefer Kademe 3 içerisinde görülmüş ve röle 0.81 s gecikmeyle trip sinyali üretmiştir. Elde edilen sonuçlar algoritmanın doğru çalıştığını ve yeni set değerlerinin girilmesi ile rölenin arızayı görmesi gereken kademede algıladığını göstermektedir.



Şekil 5.19 Değişen topoloji görünür empedans metodu için röle R-X diyagramı

5.3 Hat Empedansı Metodu ile Görünür Empedans Metodunun Karşılaştırılması

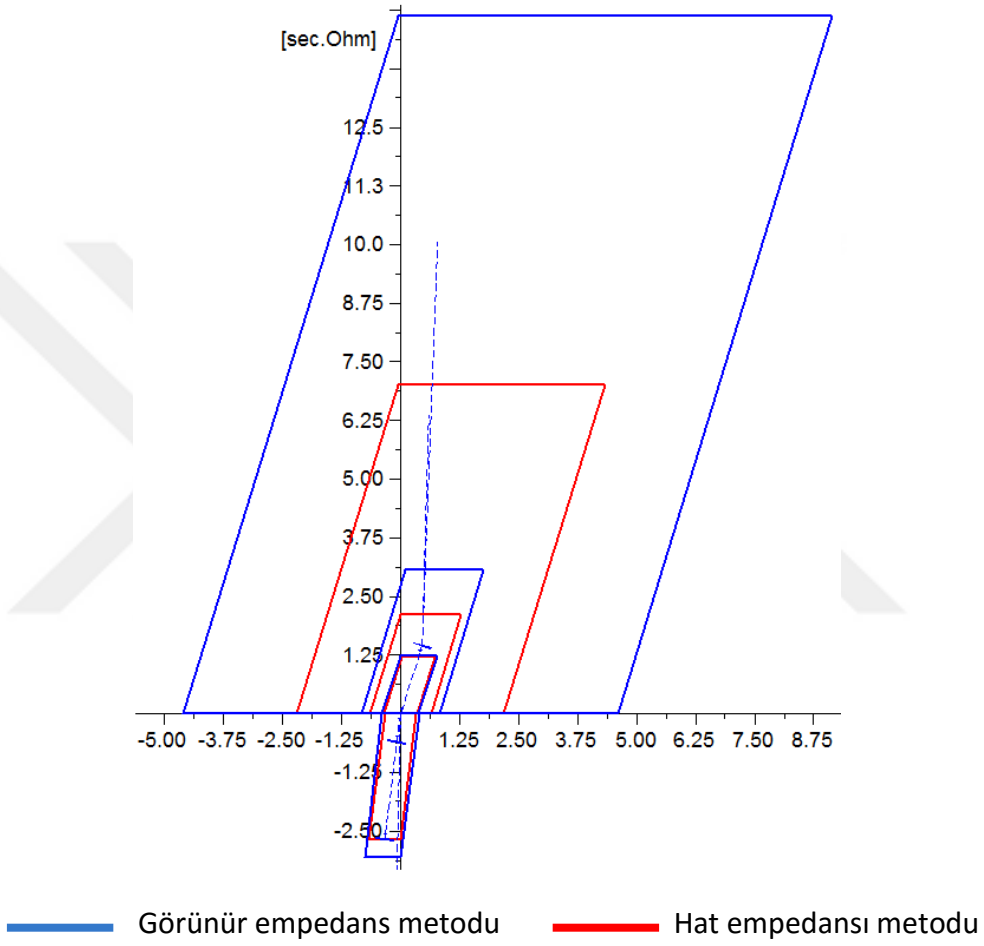
Bu bölümde, mevcut topoloji için hat empedansı metodu ile görünür empedans metodu kullanılarak yapılan hesaplama sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için Bara16-Bara15 hattını koruyan Bara16 tarafındaki 7SA611 rölesi kullanılmıştır. Mevcut topoloji için her iki metot kullanılarak hesaplanan kademe ayar değerleri Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9 Mevcut topoloji hat empedansı metodu ile görünür empedans metodu röle ayar değerlerinin karşılaştırılması

Röle kademeleri	**Hat empedansı metodu**			**Görünür empedans metodu**		
	Z [Ω]	**X** [Ω]	**R** [Ω]	**Z** [Ω]	**X** [Ω]	**R** [Ω]
Kademe 1	1.291	1.232	0.385	1.291	1.232	0.385
Kademe 2	2.202	2.104	0.65	3.166	3.055	0.831
Kademe 3	7.338	7.005	2.185	15.562	14.866	4.602
Geri Kademe	2.698	2.678	0.328	3.092	3.068	0.389

Çizelge 5.9 incelendiğinde, Kademe 1 ayar değerlerinin her iki metot içinde aynı olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, Kademe 1 hesabında kullanılan korunan hat için

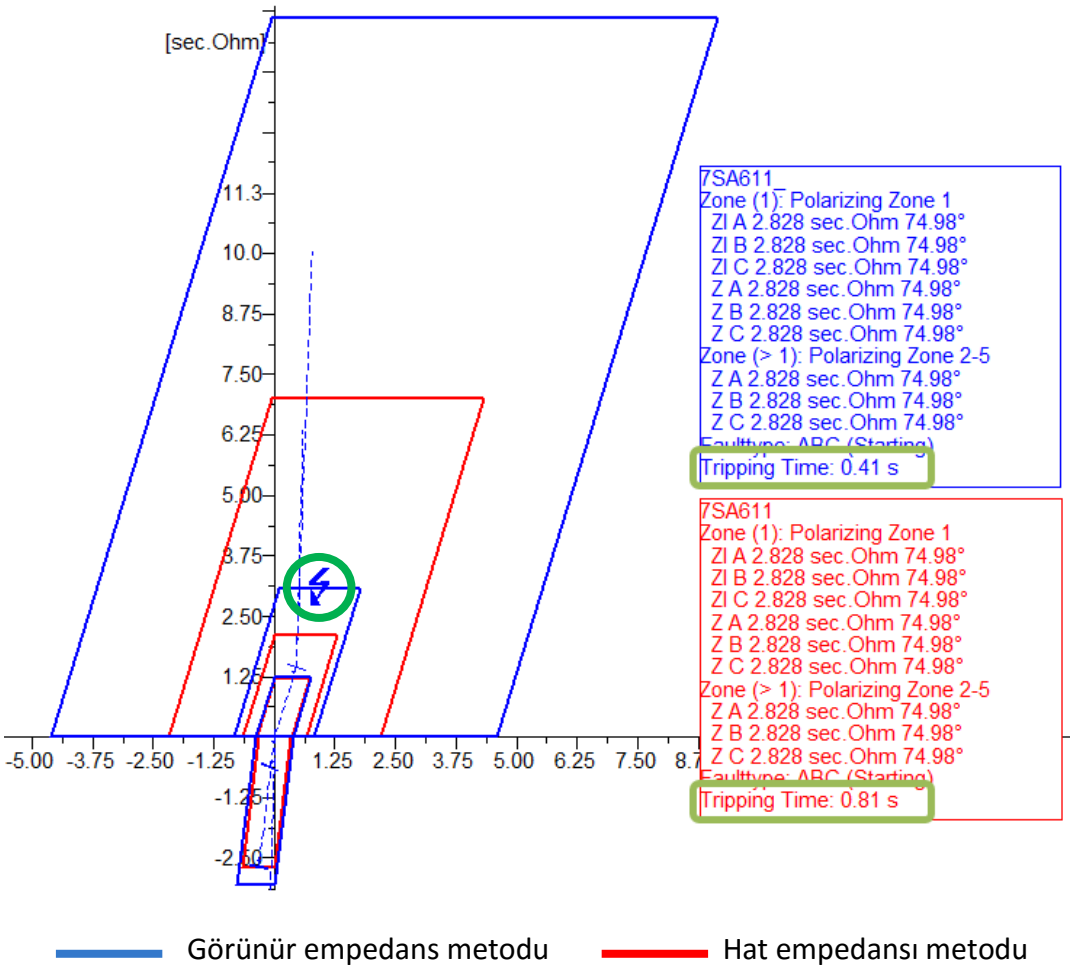
herhangi bir besleme (infeed) akımı etkisi olmamasından kaynaklanmaktadır. Fakat, komşu hatların birden fazla olmasından dolayı Kademe 2 ve Kademe 3 ayar değerlerinde farklılıklar çıkmıştır. Bu farklılığın daha net görülebilmesi için, her iki metot için hesaplanan röle ayar değerleri Şekil 5.20'de görüldüğü üzere aynı R-X diyagramında verilmiştir. R-X diyagramı incelendiğinde, Kademe 2 ve Kademe 3 ayar değerlerinin görünür empedans metodunda daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 5.20 Hat empedansı metodu ile görünür empedans metodu karşılaştırılması

Besleme akımı etkisi hesaplamalara dahil edilmediği zaman, rölelerin arızayı doğru kademede görmediği anlaşılmaktadır. Birden fazla komşu hattın olduğu durumlarda, rölenin ölçtüğü kısa devre akımıyla gerçekte oluşan kısa devre akımı arasında bir farklılık olmaktadır. Böyle durumlarda, röle hat empedansı metoduna göre ayarlandığında yanlış çalışmaktadır. Bu durumu daha net ortaya koymak adına, her iki metot kullanılarak hesaplanan röle ayar değerleri için arıza gerçekleştirilmiştir. Arıza, her iki ayar değeri için de aynı noktada oluşturulmuştur. Bu bağlamda, komşu kısa

hattın (Bara15-Bara21) %40' ında 3-faz kısa devre arızası gerçekleştirilmiştir. Bölüm 4.1'de verilmiş olan hesaplama metodolojisine göre, komşu kısa hattın %50 'sine kadar olan kısım Kademe 2 bölgesinde kalmalıdır. Arıza komşu kısa hattın %40'ında gerçekleştirildiği için, her iki rölenin de arızayı Kademe 2 içerisinde görmesi gerekmektedir. Fakat, Şekil 5.21'de görüldüğü üzere, görünür empedans metoduna göre hesaplanan röle arızayı Kademe 2 içerisinde algılayıp 0.41 s gecikmeyle trip sinyali üretirken, hat empedansı metoduna göre hesaplanan röle arızayı Kademe 3 içerisinde görüp 0.81 s gecikmeyle trip sinyali üretmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere, hat empedansı metoduna göre ayarlanan röle Kademe 2 içerisinde görmesi gereken bir arızayı Kademe 3 içerisinde görerek daha uzun süreli trip sinyali üretmiş ve yanlış çalışmıştır.



Şekil 5.21 Mevcut topoloji hat empedansı metodu ile görünür empedans metodu ayar değerleri için arıza analizi

BÖLÜM 6

SONUÇ ve ÖNERİLER

İletim sistemi topolojisi, şebekeye yeni üretim merkezlerinin ve iletim hatlarının eklenmesi, arıza sebebi ile hatların devre dışı kalması, şebeke yapılandırılması ile bazı hatların kullanılmaması gibi sebeplerle sürekli değişmektedir. Sistemde meydana gelen yapısal değişiklikler mesafe koruma rölesi kademe değerlerinin değişmesine neden olmaktadır. Bu değişikliklere bağlı olarak röleler doğru çalışamamaktadır. Bu yüzden, şebekede meydana gelen yapısal değişiklikleri göz önünde bulundurarak röle ayar değerlerini yeniden hesaplayan algoritmalar oluşturulmuştur. Algoritmalar, sistemde bulunan rölelerin bulunduğu yere göre koruduğu hattı, komşu uzun, komşu kısa ve geri hatları belirleyerek sistem topolojisini oluşturmaktadır. Oluşturulan topoloji için, hesaplama metodolojisine göre rölenin kademe ayar değerlerini hesaplamaktadır.

Yapısal değişikliklerin röle ayar değerleri üzerindeki etkilerini incelemek için, iletim sisteminde bulunan bir hattın devreden çıkarılması ve iletim sistemine yeni bir rüzgar santrali eklenmesi senaryoları oluşturulmuştur. Oluşturulan her bir senaryo için hem "Hat Empedansı Metoduna" göre hemde "Görünür Empedans Metoduna" göre kademe değerleri hesaplanmıştır. Sistem topolojisi değiştiği zaman, incelenen rölenin ayar değerlerinin her iki metot içinde incelemesi yapılmıştır.

İletim sistemine ait yeni topoloji için, mevcut röle ayar değerlerinin kullanılması ve yeni ayar değerlerinin kullanılması durumlarına göre arıza analizleri yapılarak rölenin verdiği tepkiler incelenmiştir. Röle kademeleri yeni topolojiye göre ayar edilmediğinde, rölenin

arızayı yanlış kademe içerisinde gördüğü tespit edilmiştir. Algoritmalar ile hesaplanan kademe ayar değerleri girildiğinde, röle arızayı görmesi gereken kademe içerisinde görerek doğru tepki verdiği gösterilmiştir. Arıza, doğru zamanda temizlenerek efektif koruma sağlanmıştır. Buna bağlı olarak, birbirini izleyen olayların tetiklenmesi ve/veya iletim sisteminde bulanan cihazların zarar görmesinin önüne geçilmesi sağlanabilecektir.

Birden fazla komşu hattın olduğu durumlarda, rölenin ölçtüğü kısa devre akımıyla gerçekte oluşan kısa devre akımı arasında bir farklılık olmaktadır. Böyle durumlarda, röle ayar değerlerinin Hat Empedansı Metoduna göre ayarlandığında yanlış çalıştığı arıza analizi yapılarak gösterilmiştir. Benzer durum için Görünür Empedans Metodu kullanıldığında ise rölenin arızayı doğru olarak algılayıp açma sinyalini gönderdiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, şebeke topolojisinde değişiklik olduğunda röle ayar değerlerini yeniden hesaplayan algoritmalar DigSilent PowerFactory programında oluşturulmuştur. Oluşturulan algoritmalar Türkiye enerji iletim sistemine ait 28 baradan oluşan örnek bir bölgede uygulanmıştır. Bölge içerisinden seçilen bir röle için 3-faz arıza olması durumları incelenmiştir. Arıza senaryoları topoloji değişikliği öncesinde ve sonrasında her iki metot için ayrı ayrı hesaplanan röle kademe ayar değerleri için tekrarlanmıştır.

Sonuç olarak, mesafe koruma rölelerinin yanlış açmasının önüne geçebilmek için röle ayar değerlerinin doğru hesaplanması ve değişen sistem koşulları için güncellenmesi gerekmektedir. Elde edilen sonuçlar, güç sisteminin güvenli ve sürekli çalışabilmesi için topoloji değişikliklerinin dikkate alınması gerektiğini ve önerilen algoritmalar ile bunun başarıldığını göstermektedir.

İletim sisteminde kullanılan rölelere uzaktan erişimin olmaması, röle ayar değerlerinde yapılacak olan değişiklikler için ilgili personelin TM'ye gitmesini gerektirmektedir. Personelin TM'ye gitmesinin hem ekonomik hemde çalışan mesai süresi açısından işverene bir yükü olmaktadır. Topolojik değişikliklere bağlı olarak röle ayar değerlerinde bazen büyük farklar olurken bazen de küçük farklar olabilmektedir. İleriki dönemlerde sistem güvenliği ve ekonomik işletme için, topolojik değişikliklere bağlı

olarak röle ayar değerlerinde ne kadarlık bir farkın oluşması durumunda ayar değerinin değişmesi gerektiğiyle ilgili bir çalışma yapılması planlanmaktadır.

Uzun ve çok yüklü hatlarda, yük empedansı mesafe koruma rölesinin aşırı menzil kademelerine girebilmektedir. Başka bir deyişle, röle aşırı yüklenme durumlarını arıza olarak algılayabilmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek için bazı rölelerde yük aşımı karakteristiği bulunmaktadır. Fakat yük aşımı karakteristiği olmayan rölelerde maksimum yüklenme koşullarında rölenin ayar değerlerinin açma yapmayacak şekilde hesaplanması gerekmektedir. Bu bağlamda, geleceğe dönük olarak mesafe rölelerinin maksimum yüklenme durumlarında çalışmayacak şekilde ayar edilerek yanlış açmaların önüne geçilmesini sağlayan algoritmaların geliştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Chen, Z., (2005). "Issues of Connecting Wind Farms into Power Systems", IEEE Transmission and Distribution Conference & Exhibition, 2005, Dalian.

[2] Tasdighi, M. ve Kezunovic, M., (2015). "Impact Analysis of Network Topology Change on Transmission Distance Relay Settings", IEEE Power & Energy Society General Meeting, 26-30 Haziran 2015, Texas.

[3] Escobedo, R., Moreno-Centeno, E. ve Hedman, K. W., (2014). "Topology Control for Load Shed Recovery", IEEE Transactıons on Power Systems, 29(2):908-916.

[4] Bagriyanik, M., Ozdemir, A. ve Kaypmaz, A., (2009). "Assessment of protection Relay Coordination in Turkish National Power Transmission System to Prevent Cascading Events", APAP2009, 18-21 Ekim 2009, Jeju.

[5] Chen, Q., Kang, C. ve Xia, Q., (2010), "Modeling Flexible Operation Mechanism of O2 Capture Power Plant and Its Effects on Power-System Operation", IEEE Transactıons On Energy Conversıon, 25(3):853-861.

[6] Kelly, J. A., (2012). "Power System Operation And Control Design for Combined Geothermal and Wind Diesel Power Generation on Nevis, West Indies", Geothermal Traınıng Programme, 2012, Reykjavik.

[7] Hedman, K. W., Oren, S. S. ve O'Neill, R. P., (2011). "Optimal Transmission Switching: Economic Efficiency and Market Implications", Journal of Regulatory Economics, 40(2):111-140.

[8] Fernandes, C., Farias P. ve Latore J., (2012). "Impact of Vehicle-to-grid on Power System Operation Costs-The Spanish Case Study", ELSEVIER Applied Energy, 96:194-202.

[9] Wan, H., Li, K. K. ve Wong, K. P., (2010). "An Adaptive Multiagent Approach to Protection Relay Coordination With Distributed Generators in Industrial Power Distribution System", IEEE Transactıons On Industry Applıcatıons, 46(5):2118-2124.

[10] Ozdemir, A., Bagriyanik, M., Ilisu, I., Gul, O. ve Kaypmaz, A., (2011). "Impacts of protection system misoperation on the reliability of Turkish National Power

Transmission System", The International Advanced Power System Automation and Protection, 11:619-623.

[11] Noghabi, A. S., Sadeh, J. ve Mashhadi, H., (2009). "Considering Different Network Topologies in Optimal Overcurrent Relay Coordination Using a Hybrid GA", IEEE Transactıons on Power Delivery, 24(4):1857-1863.

[12] Kezunovic, M., Popovic, T. ve Deghanian, P., (2014). "Reliable Implementation of Robust Adaptive Topology Control", International Conference on System Sciences (HICSS), 6-9 Aralık 2014, Hawai.

[13] Soman, S. A., Nuguyen, T., Pai, M. ve Vaidyan, R., (2004). "Analysis of angle stability problems: a transmission protection systems perspective", IEEE Transactions Power Delivery, 19(3):1024-1033.

[14] Martuscello, L., Krizauskas, E., Holbach, J. ve Lu, Y., (2009). "Tests of Distance Relay Performance on Stable and Unstable Power Swings Reported Using Simulated Data of The August 14th 2003 System Disturbance", 62nd Annual Conference for Protective Relay Engineers, 14:236-255.

[15] Jin, M. ve Tarlochan, S., (2008). "Adaptive load encroachment prevention scheme for distance protection", Electric Power Systems Research, 78:1693–1700.

[16] Abu Bakar, H., Yatim, F., Yosuf, S. ve Othman, M., (2009). "Analysis of Overload Conditions in Distance Relay Under Severe System Contingencies", Electrical Power and Energy Systems, 32:345-350.

[17] Coury, D.V. ve Jorge, D.C., (1998). " Artificial Neural Network Approach to Distance Protection of Transmission Lines", IEEE, 13(1):102-108.

[18] Xiaru, W., Qingquan, Q. ve Tao, W.S., (1998). "Applying Neural Networks in Adaptive Distance Protection", IEEE, 13(1):108-114.

[19] Azari, M., Ojaghi, M. ve Mazlumi, K., (2015). "An Enhanced adaptive Algorithm to Mitigate Mis-coordination Problem of the Third Zone of Distance Relays", ELSEVIER Journal of Applied Research and Technology, 3:87-96.

[20] Sarwade, A. N., (2012). "A New adaptive Technique for Enhancement of Zone-2 Settings of Distance Relay", Energy and Power Engineering, 4:1-7.

[21] Universty of Idaho, Introduction to practical power system protection,

www.ece.uidaho.edu/ee/classes/ECE526S05/text/Ch1.PDF, 04 Nisan 2016.

[22] Mason, C. R., The Art & Science of Protective relaying,

www.gegridsolutions.com/multilin/notes/artsci/artsci_pdf, 25 Nisan 2016.

[23] Blackburn, J. L., (2006). Protective Relaying: Principles and Applications, Second Edition, CRC Press, Toledo.

[24] Doğancı, A. (2014). Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Adaptif Koruma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[25] Tatar, A. (2007). İletim Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları İle Mesafe Koruması Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

[26] IEEE 242, (2001). Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems, Revision of IEEE Std 242-1986, New York.

[27] Horowitz, S. H. ve Phadke, A. G., (2014). Power System Relaying, Fourth edition, Wiley Ltd, Hetfordshire.

[28] Ziegler, G., (2011). Numerical Distance Protection-Principles and Applications, Fourth Edition, Publicis Publications, Zweigniederlassung.

[29] Leelaruji, R. ve Vanfretti, L., (2011). Power System Protective Relaying:basic concepts, industrial-grade devices, and communication mechanisms'', Internal Report, Binghampton.

[30] IEEE Std C37.2-2001, (2001). Standart Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms and Contact Designation, New York.

[31] Roberts, J. ve Guzman, A., (2005). Power System Protection for Engineers, Transmission Line Distance Protection - Part I, SEL Publications, Washington.

[32] Alstom Grid, (2011). Network automation and protection guide, Edition May.

[33] Gyeltshen, T., (2010). Protection Coordination Study in Bhutan Transmission Network, Thesis for the Degree of Master of Science, Chalmers Universty, Goteborg.

[34] Transmission Corporation Of Andhra Pradesh Lımıted, Technical Reference Book,

https://tr.scribd.com/document/237856961/192020810-TRANSCO Technical - Reference-Book, 2 Aralık 2016.

[35] PSRC Line Protection Subcommittee Working Group D4, (2010). Application of Overreaching Distance Relays, 64th Annual Georgia Tech Protecting Relaying Conference, Gürcistan.

[36] Pangolino, V., Basic Princibles of Distance Protection Devices, Distance Protection,
https://pangonilo.com/?sdmon=files/Basic_Principles_of_Distance_Protection.pdf, 20 Ağustos 2016.

[37] IEEE Power System Relaying and Control Committee, Application of Overreaching Distance Relays,

http://www.pessrc.org/Reports/D4_Application_of_Overreaching_Distance%20_Relays.pdf, 28 Mart 2016.

[38] Dunlop, R. D., Gutman, R. ve Marchenko, P. P., (1979). "Analytical development of loadability characteristics for EHV and UHV transmission lines." IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, 98(2):606-617.

[39] North American Electric Reliability Corporation, Protection System Misoperations Task Force-Misoperations Report,

http://www.nerc.com/docs/pc/psmtf/PSMTF_Report.pdf, 1 Nisan 2016.

[40] Khorashadi Z. H. ve Li, Z., (2011). “Adaptive load blinder for distance protection”,Electrical Power and Energy Systems, 33:861–867.

[41] Power system Relaying and Control Committee, Power Swing And Out-Of-Step Consıderations On Transmission Lines,

http://www.pes-psrc.org/Reports/Power%swingandconsiditarions%20F.pdf,

25 Eylül 2016.

[42] Tziouvaras, D. ve Hou, D., (2003). "Out-of-step protection fundamentals and advancements," Schweitzer Engineering Laboratories, Pullman, Washington.

[43] AREVA T&D Automation and Information Systems, MiCOMho P443 Technical Guide: P443/EN T,

http://www.areva-td.com/protectionrelays, 30 Eylül 2016.

[44] Berdy, J. ve Winick, K., Application Guide for the Use of Distance Relays,

http://www.store.gedigitalenergy.com/faq/documents/489/ger-3199.pdf,

03 Ağustos 2016.

[45] Alexander, G. E., Andricak, J. G. ve Tyska, W., Relaying Short Lines,

http://www.store.gedigitalenergy.com/faq/documents/alps/ger-3735.pdf,

03 Ağustos 2016.

[46] Thompson, J. ve Heidfeld, L., (2015). “Transmission Line Setting Calculations – Beyond the Cookbook”, Schweitzer Engineering Laboratories, Washington.

[47] TEIAŞ Project Group for the Connection of Turkey to the Electrical System of UCTE, (2007). Defence Plan of Turkish Power System, Yayın No: 4.0, Ankara.

[48] Calero, F., Guzman, A. ve Benmouyal, G., (2009). “Adaptive Phase and Ground Quadrilateral Distance Elements”, SEL Publications, Washington.

EK-A

MEVCUT TOPOLOJİ HAT EMPEDANSI METODU İÇİN RÖLE KADEME DEĞERLERİ

TM Adı	HAT Adı	KADEME 1			KADEME 2			KADEME 3			GERİ KADEME		
		Z1	X1	R1	Z1	X1	R1	Z1	X1	R1	Z1	X1	R1
Bara4	Bara4-Bara20	1.625	1.554	0.475	2.405	2.3	0.7	2.897	2.772	0.841	1.502	1.434	0.447
Bara5	Bara3 -Bara5	1.81	1.728	0.539	2.836	2.708	0.844	3.543	3.383	1.055	2.697	2.574	0.807
Bara5	Bara5 -Bara6	2.293	2.188	0.686	3.056	2.916	0.916	3.81	3.636	1.138	2.129	2.033	0.634
Bara6	Bara6-Bara5	2.293	2.188	0.686	3.762	3.59	1.124	4.827	4.607	1.441	1.113	1.062	0.331
Bara6	Bara6-Bara8	0.946	0.903	0.281	1.446	1.381	0.431	1.78	1.7	0.53	2.697	2.574	0.807
Bara6	Bara6-Bara18	0.611	0.582	0.184	1.211	1.157	0.358	1.703	1.628	0.499	2.697	2.574	0.807
Bara7	Bara7-Bara8	0.568	0.542	0.169	1.224	1.168	0.365	1.78	1.7	0.53	1.752	1.673	0.521
Bara7	Bara7-Bara9	1.124	1.073	0.335	2.198	2.121	0.567	3.073	2.979	0.74	1.752	1.673	0.521
Bara7	Bara7-Bara13	1.489	1.422	0.443	2.498	2.384	0.744	4.311	4.116	1.283	1.682	1.67	0.199
Bara7	Bara19-Bara7	1.906	1.893	0.226	3.438	3.414	0.407	4.634	4.601	0.549	2.336	2.23	0.695
Bara8	Bara6-Bara8	1.261	1.204	0.375	1.962	1.873	0.586	5.08	4.848	1.518	0.89	0.85	0.265
Bara8	Bara7-Bara8	0.757	0.722	0.226	1.772	1.692	0.528	3.226	3.08	0.961	1.484	1.416	0.442
Bara9	Bara7-Bara9	1.124	1.073	0.335	1.656	1.581	0.493	3.075	2.935	0.915	1.75	1.716	0.346
Bara9	Bara9-Bara10	1.488	1.459	0.294	3.074	2.991	0.702	4.398	4.266	1.058	1.323	1.263	0.394
Bara10	Bara9-Bara10	1.488	1.459	0.294	2.412	2.347	0.543	3.073	2.979	0.74	2.648	2.55	0.712
Bara10	Bara10-Bara11	2.251	2.168	0.605	3.144	3.024	0.86	3.641	3.498	1.007	1.75	1.716	0.346
Bara13	Bara7-Bara13	1.489	1.422	0.443	2.086	1.991	0.621	3.434	3.343	0.721	2.559	2.443	0.762
Bara13	Bara13-Bara14	1.267	1.21	0.378	1.726	1.657	0.473	4.596	4.388	1.37	2.559	2.443	0.762
Bara13	Bara13-Bara15	2.175	2.077	0.647	3.071	2.933	0.909	6.923	6.61	2.061	1.752	1.673	0.521
Bara14	Bara12-Bara14	2.64	2.52	0.786	3.281	3.132	0.976	5.071	4.844	1.503	1.491	1.423	0.445
Bara14	Bara13-Bara14	1.267	1.21	0.378	2.367	2.259	0.705	4.05	3.866	1.206	3.106	2.965	0.925
Bara14	Bara14-Bara14	0.533	0.53	0.063	0.941	0.935	0.111	1.255	1.246	0.149	4.141	3.953	1.234
Bara15	Bara13-Bara15	2.175	2.077	0.647	3.304	3.154	0.984	4.311	4.116	1.283	4.364	4.167	1.299
Bara15	Bara15-Bara16	1.291	1.232	0.385	1.831	1.758	0.501	4.217	4.128	0.782	5.819	5.555	1.732
Bara15	Bara15-Bara17	3.71	3.542	1.104	4.699	4.485	1.401	6.651	6.35	1.98	2.559	2.443	0.762
Bara15	Bara15-Bara21	0.87	0.834	0.25	1.646	1.576	0.477	2.269	2.171	0.659	4.364	4.167	1.299

Bara16	Bara15-Bara16	1.291	1.232	0.385	2.202	2.104	0.65	7.338	7.005	2.185	2.698	2.678	0.328
Bara16	Bara16-Bara22	0.531	0.525	0.08	1.868	1.805	0.463	3.111	2.992	0.831	2.698	2.678	0.328
Bara16	Bara16-Bara23	2.293	2.276	0.279	3.28	3.256	0.398	3.862	3.834	0.469	1.519	1.45	0.453
Bara17	Bara12-Bara17												
Bara17	Bara15-Bara17	3.71	3.542	1.104	4.876	4.657	1.446	6.923	6.61	2.061	2.287	2.183	0.681
Bara18	Bara6-Bara18	0.814	0.776	0.245	1.7	1.621	0.509	4.554	4.345	1.365	1.313	1.258	0.377
Bara18	Bara18-Bara20	1.116	1.069	0.32	2.588	2.477	0.749	3.863	3.696	1.122	0.958	0.913	0.289
Bara19	Bara19-Bara7	2.383	2.366	0.282	3.36	3.315	0.498	5.723	5.571	1.201	2.989	2.968	0.354
Bara19	Bara19-Bara26	15.245	15.138	1.804	20.498	20.256	2.885	46.344	44.931	10.578	16.819	16.701	1.994
Bara14	Bara14-Bara14	4.001	3.973	0.473	12.161	11.789	2.78	35.763	34.32	9.81	4.707	4.674	0.557
Bara20	Bara4-Bara20	10.836	10.363	3.166	17.756	16.973	5.215	22.764	21.754	6.705	6.565	6.289	1.884
Bara20	Bara18-Bara20	5.58	5.345	1.601	8.959	8.572	2.605	11.354	10.855	3.327	12.748	12.192	3.724
Bara21	Bara15-Bara21	5.803	5.557	1.669	10.624	10.163	3.098	35.923	34.316	10.624	8.299	7.934	2.431
Bara22	Bara16-Bara22	0.796	0.787	0.121	2.076	2.014	0.482	4.984	4.943	0.635	3.73	3.562	1.105
Bara22	Bara22-Bara28	3.17	3.028	0.939	5.015	4.79	1.485	6.541	6.246	1.941	0.937	0.926	0.142
Bara23	Bara16-Bara23	2.293	2.276	0.279	3.01	2.987	0.376	4.217	4.128	0.782	1.164	1.156	0.14
Bara23	Bara23-Bara25	0.99	0.982	0.119	1.28	1.27	0.155	4.011	3.983	0.477	2.698	2.678	0.328
Bara24	Bara24-Bara27												
Bara24	Bara24-Bara27	0.012	0.012	0.01	0.021	0.021	0.01	0.028	0.028	0.01	3.417	3.262	1.017
Bara24	Bara24-Bara26	2.905	2.773	0.865	9.396	9.199	1.725	22.357	21.344	6.654	1.158	1.148	0.152
Bara24	Bara24-Bara25	0.984	0.975	0.129	4.068	4.037	0.502	15.392	15.282	1.836	3.417	3.262	1.017
Bara25	Bara2-Bara25												
Bara25	Bara23-Bara25	7.421	7.367	0.893	18.848	18.71	2.282	28.966	28.752	3.514	21.352	21.202	2.526
Bara25	Bara24-Bara25	0.984	0.975	0.129	4.068	4.037	0.502	15.392	15.282	1.836	3.417	3.262	1.017
Bara25	Bara25-Bara28	10.925	10.436	3.232	19.881	18.987	5.894	31.501	30.089	9.326	21.352	21.202	2.526
Bara26	Bara1-Bara26												
Bara26	Bara24-Bara26	0.436	0.416	0.13	0.514	0.49	0.153	0.686	0.662	0.175	2.841	2.712	0.846
Bara26	Bara19-Bara26	3.049	3.028	0.361	5.269	5.232	0.624	6.951	6.902	0.823	5.682	5.424	1.691
Bara27	Bara24-Bara27												
Bara27	Bara24-Bara27												
Bara28	Bara22-Bara28	2.113	2.019	0.626	2.799	2.684	0.784	3.111	2.992	0.831	1.874	1.789	0.558
Bara28	Bara25-Bara28	1.457	1.391	0.431	1.83	1.752	0.522	4.561	4.464	0.844	2.486	2.375	0.736

EK-B

İLETİM HATTI DEVRE DIŞI KALMA DURUMU HAT EMPEDANSI METODU İÇİN RÖLE KADEME DEĞERLERİ

TM Adı	HAT Adı	KADEME 1			KADEME 2			KADEME 3			GERİ KADEME		
		Z1	X1	R1	Z2	X2	R2	Z3	X3	R3	Z4	X4	R4
Bara4	Bara4-Bara20	1.625	1.554	0.475	2.405	2.3	0.7	2.897	2.772	0.841	1.502	1.434	0.447
Bara5	Bara3 -Bara5	1.81	1.728	0.539	2.836	2.708	0.844	3.543	3.383	1.055	2.697	2.574	0.807
Bara5	Bara5 -Bara6	2.293	2.188	0.686	3.056	2.916	0.916	3.81	3.636	1.138	2.129	2.033	0.634
Bara6	Bara6-Bara5	2.293	2.188	0.686	3.762	3.59	1.124	4.827	4.607	1.441	1.113	1.062	0.331
Bara6	Bara6-Bara8	0.946	0.903	0.281	1.446	1.381	0.431	1.78	1.7	0.53	2.697	2.574	0.807
Bara6	Bara6-Bara18	0.611	0.582	0.184	1.211	1.157	0.358	1.703	1.628	0.499	2.697	2.574	0.807
Bara7	Bara7-Bara8	0.568	0.542	0.169	1.224	1.168	0.365	1.78	1.7	0.53	1.752	1.673	0.521
Bara7	Bara7-Bara9	1.124	1.073	0.335	2.198	2.121	0.567	3.073	2.979	0.74	1.752	1.673	0.521
Bara7	Bara7-Bara13	1.489	1.422	0.443	2.498	2.384	0.744	4.311	4.116	1.283	1.682	1.67	0.199
Bara7	Bara19-Bara7	1.906	1.893	0.226	3.438	3.414	0.407	4.634	4.601	0.549	2.336	2.23	0.695
Bara8	Bara6-Bara8	1.261	1.204	0.375	1.962	1.873	0.586	5.08	4.848	1.518	0.89	0.85	0.265
Bara8	Bara7-Bara8	0.757	0.722	0.226	1.772	1.692	0.528	3.226	3.08	0.961	1.484	1.416	0.442
Bara9	Bara7-Bara9	1.124	1.073	0.335	1.656	1.581	0.493	3.075	2.935	0.915	1.75	1.716	0.346
Bara9	Bara9-Bara10	1.488	1.459	0.294	3.074	2.991	0.702	4.398	4.266	1.058	1.323	1.263	0.394
Bara10	Bara9-Bara10	1.488	1.459	0.294	2.412	2.347	0.543	3.073	2.979	0.74	2.648	2.55	0.712
Bara10	Bara10-Bara11	2.251	2.168	0.605	3.144	3.024	0.86	3.641	3.498	1.007	1.75	1.716	0.346
Bara13	Bara7-Bara13	1.489	1.422	0.443	2.086	1.991	0.621	3.434	3.343	0.721	2.559	2.443	0.762
Bara13	Bara13-Bara14	1.267	1.21	0.378	1.726	1.657	0.473	4.596	4.388	1.37	2.559	2.443	0.762
Bara13	Bara13-Bara15	2.175	2.077	0.647	3.129	2.987	0.932	6.923	6.61	2.061	1.752	1.673	0.521
Bara14	Bara12-Bara14	2.64	2.52	0.786	3.281	3.132	0.976	5.071	4.844	1.503	1.491	1.423	0.445
Bara14	Bara13-Bara14	1.267	1.21	0.378	2.367	2.259	0.705	4.05	3.866	1.206	3.106	2.965	0.925
Bara14	Bara14-Bara14	0.533	0.53	0.063	0.941	0.935	0.111	1.255	1.246	0.149	4.141	3.953	1.234
Bara15	Bara13-Bara15	2.175	2.077	0.647	3.304	3.154	0.984	4.311	4.116	1.283	4.364	4.167	1.299
Bara15	Bara15-Bara16	1.291	1.232	0.385	1.831	1.758	0.501	4.217	4.128	0.782	5.819	5.555	1.732

Bara15	Bara15-Bara17	3.71	3.542	1.104	4.699	4.485	1.401	6.651	6.35	1.98	2.559	2.443	0.762
Bara15	Bara15-Bara21	Servis Harici											
Bara16	Bara15-Bara16	1.291	1.232	0.385	3.225	3.078	0.961	7.338	7.005	2.185	2.698	2.678	0.328
Bara16	Bara16-Bara22	0.531	0.525	0.08	1.868	1.805	0.463	3.111	2.992	0.831	2.698	2.678	0.328
Bara16	Bara16-Bara23	2.293	2.276	0.279	3.28	3.256	0.398	3.862	3.834	0.469	1.519	1.45	0.453
Bara17	Bara12-Bara17												
Bara17	Bara15-Bara17	3.71	3.542	1.104	4.934	4.71	1.469	6.923	6.61	2.061	2.287	2.183	0.681
Bara18	Bara6-Bara18	0.814	0.776	0.245	1.7	1.621	0.509	4.554	4.345	1.365	1.313	1.258	0.377
Bara18	Bara18-Bara20	1.116	1.069	0.32	2.588	2.477	0.749	3.863	3.696	1.122	0.958	0.913	0.289
Bara19	Bara19-Bara7	2.383	2.366	0.282	3.36	3.315	0.498	5.723	5.571	1.201	2.989	2.968	0.354
Bara19	Bara19-Bara26	15.245	15.138	1.804	20.498	20.256	2.885	46.344	44.931	10.578	16.819	16.701	1.994
Bara14	Bara14-Bara14	4.001	3.973	0.473	12.161	11.789	2.78	35.763	34.32	9.81	4.707	4.674	0.557
Bara20	Bara4-Bara20	10.836	10.363	3.166	17.756	16.973	5.215	22.764	21.754	6.705	6.565	6.289	1.884
Bara20	Bara18-Bara20	5.58	5.345	1.601	8.959	8.572	2.605	11.354	10.855	3.327	12.748	12.192	3.724
Bara21	Bara15-Bara21	Servis Harici											
Bara22	Bara16-Bara22	0.796	0.787	0.121	2.076	2.014	0.482	4.984	4.943	0.635	3.73	3.562	1.105
Bara22	Bara22-Bara28	3.17	3.028	0.939	5.015	4.79	1.485	6.541	6.246	1.941	0.937	0.926	0.142
Bara23	Bara16-Bara23	2.293	2.276	0.279	3.01	2.987	0.376	4.217	4.128	0.782	1.164	1.156	0.14
Bara23	Bara23-Bara25	0.99	0.982	0.119	1.28	1.27	0.155	4.011	3.983	0.477	2.698	2.678	0.328
Bara24	Bara24-Bara27												
Bara24	Bara24-Bara27	0.012	0.012	0.01	0.021	0.021	0.01	0.028	0.028	0.01	3.417	3.262	1.017
Bara24	Bara24-Bara26	2.905	2.773	0.865	9.396	9.199	1.725	22.357	21.344	6.654	1.158	1.148	0.152
Bara24	Bara24-Bara25	0.984	0.975	0.129	4.068	4.037	0.502	15.392	15.282	1.836	3.417	3.262	1.017
Bara25	Bara2-Bara25												
Bara25	Bara23-Bara25	7.421	7.367	0.893	18.848	18.71	2.282	28.966	28.752	3.514	21.352	21.202	2.526
Bara25	Bara24-Bara25	0.984	0.975	0.129	4.068	4.037	0.502	15.392	15.282	1.836	3.417	3.262	1.017
Bara25	Bara25-Bara28	10.925	10.436	3.232	19.881	18.987	5.894	31.501	30.089	9.326	21.352	21.202	2.526
Bara26	Bara1-Bara26												
Bara26	Bara24-Bara26	0.436	0.416	0.13	0.514	0.49	0.153	0.686	0.662	0.175	2.841	2.712	0.846
Bara26	Bara19-Bara26	3.049	3.028	0.361	5.269	5.232	0.624	6.951	6.902	0.823	5.682	5.424	1.691
Bara27	Bara24-Bara27												
Bara27	Bara24-Bara27												
Bara28	Bara22-Bara28	2.113	2.019	0.626	2.799	2.684	0.784	3.111	2.992	0.831	1.874	1.789	0.558
Bara28	Bara25-Bara28	1.457	1.391	0.431	1.83	1.752	0.522	4.561	4.464	0.844	2.486	2.375	0.736

EK-C

YENİ ÜRETİM MERKEZİ EKLENMESİ DURUMU HAT EMPEDANSI METODU İÇİN RÖLE KADEME DEĞERLERİ

TM ADI	HAT ADI	KADEME 1			KADEME 2			KADEME 3			GERİ KADEME		
		Z1	X1	R1	Z2	X2	R2	Z3	X3	R3	Z4	X4	R4
Bara4	Bara4-Bara20	1.625	1.554	0.475	2.405	2.3	0.7	2.897	2.772	0.841	1.502	1.434	0.447
Bara5	Bara3 -Bara5	1.81	1.728	0.539	2.836	2.708	0.844	3.543	3.383	1.055	2.697	2.574	0.807
Bara5	Bara5 -Bara6	2.293	2.188	0.686	3.056	2.916	0.916	3.81	3.636	1.138	2.129	2.033	0.634
Bara6	Bara6-Bara5	2.293	2.188	0.686	3.762	3.59	1.124	4.827	4.607	1.441	1.113	1.062	0.331
Bara6	Bara6-Bara8	0.946	0.903	0.281	1.446	1.381	0.431	1.78	1.7	0.53	2.697	2.574	0.807
Bara6	Bara6-Bara18	0.611	0.582	0.184	1.211	1.157	0.358	1.703	1.628	0.499	2.697	2.574	0.807
Bara7	Bara7-Bara8	0.568	0.542	0.169	1.224	1.168	0.365	1.78	1.7	0.53	1.752	1.673	0.521
Bara7	Bara7-Bara9	1.124	1.073	0.335	2.198	2.121	0.567	3.073	2.979	0.74	1.752	1.673	0.521
Bara7	Bara7-Bara13	1.489	1.422	0.443	2.498	2.384	0.744	4.311	4.116	1.283	1.682	1.67	0.199
Bara7	Bara19-Bara7	1.906	1.893	0.226	3.438	3.414	0.407	4.634	4.601	0.549	2.336	2.23	0.695
Bara8	Bara6-Bara8	1.261	1.204	0.375	1.962	1.873	0.586	5.08	4.848	1.518	0.89	0.85	0.265
Bara8	Bara7-Bara8	0.757	0.722	0.226	1.772	1.692	0.528	3.226	3.08	0.961	1.484	1.416	0.442
Bara9	Bara7-Bara9	1.124	1.073	0.335	1.656	1.581	0.493	3.075	2.935	0.915	1.75	1.716	0.346
Bara9	Bara9-Bara10	1.488	1.459	0.294	3.074	2.991	0.702	4.398	4.266	1.058	1.323	1.263	0.394
Bara10	Bara9-Bara10	1.488	1.459	0.294	2.412	2.347	0.543	3.073	2.979	0.74	2.648	2.55	0.712
Bara10	Bara10-Bara11	2.251	2.168	0.605	3.144	3.024	0.86	3.641	3.498	1.007	1.75	1.716	0.346
Bara13	Bara7-Bara13	1.489	1.422	0.443	2.086	1.991	0.621	3.434	3.343	0.721	2.559	2.443	0.762
Bara13	Bara13-Bara14	1.267	1.21	0.378	1.726	1.657	0.473	4.596	4.388	1.37	2.559	2.443	0.762
Bara13	Bara13-Bara15	2.175	2.077	0.647	2.77	2.644	0.824	6.923	6.61	2.061	1.752	1.673	0.521
Bara14	Bara12-Bara14	2.64	2.52	0.786	3.281	3.132	0.976	5.071	4.844	1.503	1.491	1.423	0.445
Bara14	Bara13-Bara14	1.267	1.21	0.378	2.367	2.259	0.705	4.05	3.866	1.206	3.106	2.965	0.925
Bara14	Bara14-Bara14	0.533	0.53	0.063	0.941	0.935	0.111	1.255	1.246	0.149	4.141	3.953	1.234
Bara15	Bara13-Bara15	2.175	2.077	0.647	3.304	3.154	0.984	4.311	4.116	1.283	4.364	4.167	1.299
Bara15	Bara15-Bara16	1.291	1.232	0.385	1.831	1.758	0.501	4.217	4.128	0.782	5.819	5.555	1.732
Bara15	Bara15-Bara17	3.71	3.542	1.104	4.699	4.485	1.401	6.651	6.35	1.98	2.559	2.443	0.762
Bara15	Bara15-Bara21	0.87	0.834	0.25	1.646	1.576	0.477	2.269	2.171	0.659	4.364	4.167	1.299

Bara15	Bara15-BaraRES	0.478	0.456	0.142	0.843	0.805	0.251	1.124	1.073	0.335	5.819	5.555	1.732
Bara16	Bara15-Bara16	1.291	1.232	0.385	1.8	1.718	0.537	7.338	7.005	2.185	2.698	2.678	0.328
Bara16	Bara16-Bara22	0.531	0.525	0.08	1.868	1.805	0.463	3.111	2.992	0.831	2.698	2.678	0.328
Bara16	Bara16-Bara23	2.293	2.276	0.279	3.28	3.256	0.398	3.862	3.834	0.469	1.519	1.45	0.453
Bara17	Bara12-Bara17	2.117	2.021	0.63	2.724	2.601	0.809	6.631	6.33	1.975	5.819	5.555	1.732
Bara17	Bara15-Bara17	3.71	3.542	1.104	4.575	4.368	1.362	6.923	6.61	2.061	2.287	2.183	0.681
Bara18	Bara6-Bara18	0.814	0.776	0.245	1.7	1.621	0.509	4.554	4.345	1.365	1.313	1.258	0.377
Bara18	Bara18-Bara20	1.116	1.069	0.32	2.588	2.477	0.749	3.863	3.696	1.122	0.958	0.913	0.289
Bara19	Bara19-Bara7	2.383	2.366	0.282	3.36	3.315	0.498	5.723	5.571	1.201	2.989	2.968	0.354
Bara19	Bara19-Bara26	15.245	15.138	1.804	20.498	20.256	2.885	46.344	44.931	10.578	16.819	16.701	1.994
Bara14	Bara14-Bara14	4.001	3.973	0.473	12.161	11.789	2.78	35.763	34.32	9.81	4.707	4.674	0.557
Bara20	Bara4-Bara20	10.836	10.363	3.166	17.756	16.973	5.215	22.764	21.754	6.705	6.565	6.289	1.884
Bara20	Bara18-Bara20	5.58	5.345	1.601	8.959	8.572	2.605	11.354	10.855	3.327	12.748	12.192	3.724
Bara21	Bara15-Bara21	5.803	5.557	1.669	8.232	7.88	2.382	35.923	34.316	10.624	8.299	7.934	2.431
Bara21	Bara21-Bara15	7.054	6.744	2.067	12.777	12.209	3.767	17.416	16.871	4.234	6.827	6.538	1.964
Bara22	Bara16-Bara22	0.796	0.787	0.121	2.076	2.014	0.482	4.984	4.943	0.635	3.73	3.562	1.105
Bara22	Bara22-Bara28	3.17	3.028	0.939	5.015	4.79	1.485	6.541	6.246	1.941	0.937	0.926	0.142
Bara23	Bara16-Bara23	2.293	2.276	0.279	3.01	2.987	0.376	4.217	4.128	0.782	1.164	1.156	0.14
Bara23	Bara23-Bara25	0.99	0.982	0.119	1.28	1.27	0.155	4.011	3.983	0.477	2.698	2.678	0.328
Bara24	Bara24-Bara27												
Bara24	Bara24-Bara27	0.012	0.012	0.01	0.021	0.021	0.01	0.028	0.028	0.01	3.417	3.262	1.017
Bara24	Bara24-Bara26	2.905	2.773	0.865	9.396	9.199	1.725	22.357	21.344	6.654	1.158	1.148	0.152
Bara24	Bara24-Bara25	0.984	0.975	0.129	4.068	4.037	0.502	15.392	15.282	1.836	3.417	3.262	1.017
Bara25	Bara2-Bara25												
Bara25	Bara23-Bara25	7.421	7.367	0.893	18.848	18.71	2.282	28.966	28.752	3.514	21.352	21.202	2.526
Bara25	Bara24-Bara25	1.476	1.463	0.194	1.747	1.732	0.229	6.862	6.615	1.753	21.352	21.202	2.526
Bara25	Bara25-Bara28	10.925	10.436	3.232	19.881	18.987	5.894	31.501	30.089	9.326	21.352	21.202	2.526
Bara26	Bara1-Bara26												
Bara26	Bara24-Bara26	0.436	0.416	0.13	0.514	0.49	0.153	0.686	0.662	0.175	2.841	2.712	0.846
Bara26	Bara19-Bara26	3.049	3.028	0.361	5.269	5.232	0.624	6.951	6.902	0.823	5.682	5.424	1.691
Bara27	Bara24-Bara27												
Bara27	Bara24-Bara27	0.01	0.01	0.01	0.119	0.118	0.015	0.686	0.655	0.204	0.01	0.01	0.01
Bara28	Bara22-Bara28	2.113	2.019	0.626	2.799	2.684	0.784	3.111	2.992	0.831	1.874	1.789	0.558
Bara28	Bara25-Bara28	1.457	1.391	0.431	1.83	1.752	0.522	4.561	4.464	0.844	2.486	2.375	0.736
BaraRES	BaraRES-Bara15	0.478	0.456	0.142	1.245	1.191	0.364	6.381	6.092	1.899	0.562	0.537	0.167

EK-D

MEVCUT TOPOLOJİ GÖRÜNÜR EMPEDANS METODU İÇİN RÖLE KADEME DEĞERLERİ

TM Adı	HAT Adı	KADEME 1			KADEME 2			KADEME 3			GERİ KADEME		
		Z1	X1	R1	Z2	X2	R2	Z3	X3	R3	Z4	X4	R4
Bara4	Bara4-Bara20	1.632	1.558	0.487	2.596	2.472	0.794	3.295	3.124	1.048	1.501	1.433	0.448
Bara5	Bara3 -Bara5	1.809	1.726	0.54	2.835	2.705	0.846	3.541	3.38	1.056	2.695	2.573	0.804
Bara5	Bara5 -Bara6	2.304	2.199	0.687	3.767	3.59	1.144	4.931	4.687	1.532	2.128	2.031	0.635
Bara6	Bara6-Bara5	2.289	2.183	0.687	3.759	3.587	1.126	4.823	4.602	1.444	2.236	2.116	0.722
Bara6	Bara6-Bara8	0.945	0.902	0.282	1.445	1.379	0.431	1.779	1.698	0.531	4.129	3.928	1.272
Bara6	Bara6-Bara18	0.616	0.588	0.184	1.215	1.158	0.365	1.702	1.627	0.5	7.761	7.439	2.21
Bara7	Bara7-Bara8	0.568	0.542	0.169	1.223	1.167	0.365	1.779	1.698	0.531	4.376	4.095	1.542
Bara7	Bara7-Bara9	1.123	1.072	0.335	2.194	2.119	0.568	3.067	2.976	0.742	8.135	7.662	2.734
Bara7	Bara7-Bara13	1.488	1.421	0.444	3.239	3.099	0.943	7.144	6.791	2.217	3.83	3.799	0.491
Bara7	Bara19-Bara7	1.908	1.895	0.227	3.436	3.411	0.41	4.631	4.598	0.552	6.039	5.887	1.345
Bara8	Bara6-Bara8	1.26	1.203	0.376	2.216	2.116	0.656	6.988	6.653	2.139	0.89	0.849	0.266
Bara8	Bara7-Bara8	0.756	0.721	0.226	3.867	3.655	1.264	6.723	6.312	2.316	1.483	1.415	0.442
Bara9	Bara7-Bara9	1.123	1.072	0.335	2.847	2.704	0.892	9.456	8.933	3.102	1.749	1.714	0.347
Bara9	Bara9-Bara10	1.487	1.457	0.295	3.076	2.985	0.744	4.392	4.262	1.061	1.322	1.262	0.394
Bara10	Bara9-Bara10	1.487	1.457	0.295	2.408	2.345	0.544	3.067	2.976	0.742	2.646	2.525	0.789
Bara10	Bara10-Bara11	2.261	2.158	0.675	3.142	3.022	0.861	3.638	3.495	1.009	1.749	1.714	0.347
Bara13	Bara7-Bara13	1.488	1.421	0.444	2.513	2.385	0.791	5.564	5.469	1.021	5.393	5.137	1.641
Bara13	Bara13-Bara14	1.269	1.211	0.379	1.926	1.861	0.497	6.903	6.415	2.55	4.862	4.65	1.419
Bara13	Bara13-Bara15	2.174	2.075	0.649	4.216	4.036	1.218	52.695	52.053	8.199	3.411	3.224	1.113
Bara14	Bara12-Bara14	2.637	2.517	0.788	4.403	4.204	1.307	15.395	14.663	4.689	2.305	2.135	0.867
Bara14	Bara13-Bara14	1.266	1.208	0.379	3.296	3.16	0.94	6.352	6.083	1.827	5.42	4.994	2.105
Bara14	Bara14-Bara14	0.533	0.529	0.063	0.314	0.311	0.037	0.627	0.623	0.075	9.546	9.397	1.679
Bara15	Bara13-Bara15	2.174	2.075	0.649	4.054	3.862	1.234	5.967	5.664	1.876	50.167	47.515	16.094
Bara15	Bara15-Bara16	1.294	1.235	0.386	1.979	1.903	0.544	4.598	4.505	0.92	14.045	13.502	3.868
Bara15	Bara15-Bara17	3.707	3.538	1.106	5.98	5.698	1.813	8.84	8.443	2.621	11.363	10.809	3.502
Bara15	Bara15-Bara21	0.868	0.86	0.115	1.652	1.576	0.495	2.267	2.169	0.66	8.87	8.445	2.711
Bara16	Bara15-Bara16	1.291	1.232	0.385	3.166	3.055	0.831	15.562	14.866	4.602	3.092	3.068	0.389
Bara16	Bara16-Bara22	0.528	0.524	0.07	1.86	1.802	0.462	3.103	2.99	0.833	21.718	21.589	2.364
Bara16	Bara16-Bara23	2.321	2.304	0.276	3.287	3.263	0.401	3.859	3.831	0.471	3.119	3.042	0.692
Bara17	Bara15-Bara17	3.707	3.538	1.106	6.171	5.897	1.818	15.723	14.971	4.803	4.479	4.193	1.575
Bara18	Bara6-Bara18	0.812	0.774	0.246	2.447	2.346	0.696	11.304	10.831	3.236	1.312	1.252	0.391
Bara18	Bara18-Bara20	1.126	1.075	0.336	2.849	2.709	0.88	4.402	4.172	1.404	0.957	0.912	0.289

Bara19	Bara19-Bara7	2.38	2.363	0.284	4.411	4.359	0.675	10.339	10.14	2.016	2.987	2.966	0.356
Bara19	Bara19-Bara26	15.234	15.126	1.814	24.221	23.944	3.652	87.923	86.338	16.619	16.808	16.688	2.005
Bara14	Bara14-Bara14	3.998	3.97	0.476	26.264	25.986	3.807	76.295	75.153	13.15	4.704	-4.67	-0.56
Bara20	Bara4-Bara20	10.819	10.348	3.158	17.744	16.957	5.224	22.748	21.734	6.717	9.24	8.647	3.255
Bara20	Bara18-Bara20	5.567	5.334	1.591	8.923	8.533	2.61	11.345	10.845	3.333	15.457	14.579	5.136
Bara21	Bara15-Bara21	5.861	5.565	1.839	15.385	14.734	4.428	65.948	62.387	21.378	8.293	7.927	2.436
Bara22	Bara16-Bara22	0.797	0.787	0.124	3.163	3.007	0.981	33.491	33.42	-2.184	3.727	3.694	0.492
Bara22	Bara22-Bara28	3.167	3.032	0.914	6.865	6.559	2.028	11.632	11.061	3.6	0.936	0.925	0.143
Bara23	Bara16-Bara23	2.28	2.263	0.281	3.638	3.622	0.337	5.808	5.717	1.022	1.163	1.155	0.139
Bara23	Bara23-Bara25	1.003	0.996	0.119	1.649	1.637	0.199	13.085	12.99	1.57	2.696	2.676	0.33
Bara24	Bara24-Bara27												
Bara24	Bara24-Bara27	0.012	0.012	0.001	0.031	0.031	0.005	0	0	0	24.743	24.337	4.462
Bara24	Bara24-Bara26	2.903	2.771	0.866	12.447	12.304	1.882	35.064	32.805	12.381	1.702	1.671	0.327
Bara24	Bara24-Bara25	0.983	0.975	0.13	6.879	6.832	0.807	36.482	36.482	0.131	4.429	4.186	1.445
Bara25	Bara2-Bara25												
Bara25	Bara23-Bara25	7.395	7.34	0.898	18.545	18.402	2.295	28.944	28.727	3.533	89.413	88.769	10.717
Bara25	Bara24-Bara25	0.983	0.975	0.13	6.879	6.832	0.807	36.482	36.482	0.131	4.429	4.186	1.445
Bara25	Bara25-Bara28	10.941	10.441	3.271	23.728	22.685	6.958	51.296	49.04	15.044	58.465	56.629	14.538
Bara26	Bara1-Bara26												
Bara26	Bara24-Bara26	0.435	0.416	0.13	0.515	0.491	0.153	0.767	0.74	0.202	4.749	4.433	1.705
Bara26	Bara19-Bara26	3.047	3.025	0.363	5.262	5.225	0.627	6.946	6.896	0.828	14.009	13.706	2.895
Bara27	Bara24-Bara27												
Bara27	Bara24-Bara27												
Bara28	Bara22-Bara28	2.115	2.018	0.631	2.796	2.682	0.792	3.103	2.99	0.833	5.271	5.002	1.662
Bara28	Bara25-Bara28	1.455	1.39	0.431	2.029	1.943	0.587	9.506	9.186	2.446	5.128	4.904	1.498

EK-E

İLETİM HATTI DEVRE DIŞI KALMA DURUMU GÖRÜNÜR EMPEDANS METODU İÇİN RÖLE KADEME DEĞERLERİ

TM Adı	HAT Adı	KADEME 1			KADEME 2			KADEME 3			GERİ KADEME		
		Z1	X1	R1	Z1	X1	R1	Z1	X1	R1	Z1	X1	R1
Bara4	Bara4-Bara20	1.632	1.558	0.487	2.596	2.472	0.794	3.296	3.125	1.048	1.501	1.433	0.448
Bara5	Bara3 -Bara5	1.809	1.726	0.54	2.835	2.705	0.846	3.541	3.38	1.056	2.695	2.573	0.804
Bara5	Bara5 -Bara6	2.304	2.199	0.687	3.752	3.574	1.141	4.941	4.697	1.534	2.128	2.031	0.635
Bara6	Bara6-Bara5	2.289	2.183	0.687	3.759	3.587	1.126	4.823	4.602	1.444	2.246	2.126	0.725
Bara6	Bara6-Bara8	0.945	0.902	0.282	1.445	1.379	0.431	1.779	1.698	0.531	4.181	3.98	1.282
Bara6	Bara6-Bara18	0.616	0.588	0.184	1.215	1.158	0.365	1.702	1.627	0.5	7.584	7.262	2.186
Bara7	Bara7-Bara8	0.568	0.542	0.169	1.223	1.167	0.365	1.779	1.698	0.531	4.264	3.99	1.503
Bara7	Bara7-Bara9	1.123	1.072	0.335	2.194	2.119	0.568	3.067	2.976	0.742	7.966	7.505	2.673
Bara7	Bara7-Bara13	1.488	1.421	0.444	3.09	2.953	0.909	7.14	6.788	2.215	4.1	4.067	0.516
Bara7	Bara19-Bara7	1.908	1.895	0.227	3.436	3.411	0.41	4.631	4.598	0.552	6.284	6.129	1.389
Bara8	Bara6-Bara8	1.26	1.203	0.376	2.221	2.122	0.656	7.057	6.721	2.151	0.89	0.849	0.266
Bara8	Bara7-Bara8	0.756	0.721	0.226	3.745	3.536	1.232	6.573	6.174	2.257	1.483	1.415	0.442
Bara9	Bara7-Bara9	1.123	1.072	0.335	2.789	2.647	0.878	9.287	8.778	3.033	1.749	1.714	0.347
Bara9	Bara9-Bara10	1.487	1.457	0.295	3.076	2.985	0.744	4.392	4.262	1.061	1.322	1.262	0.394
Bara10	Bara9-Bara10	1.487	1.457	0.295	2.408	2.345	0.544	3.067	2.976	0.742	2.646	2.525	0.789
Bara10	Bara10-Bara11	2.261	2.158	0.675	3.142	3.022	0.861	3.638	3.495	1.009	1.749	1.714	0.347
Bara13	Bara7-Bara13	1.488	1.421	0.444	2.541	2.412	0.8	5.831	5.738	1.038	5.39	5.134	1.641
Bara13	Bara13-Bara14	1.269	1.211	0.379	1.941	1.876	0.497	7.419	6.875	2.789	4.865	4.653	1.419
Bara13	Bara13-Bara15	2.174	2.075	0.649	3.685	3.518	1.096	18.53	17.761	5.282	4.025	3.802	1.32
Bara14	Bara12-Bara14	2.637	2.517	0.788	4.455	4.258	1.311	15.899	15.178	4.735	2.318	2.148	0.873
Bara14	Bara13-Bara14	1.266	1.208	0.379	3.085	2.953	0.892	6.354	6.086	1.827	5.937	5.454	2.344
Bara14	Bara14-Bara14	0.533	0.529	0.063	0.314	0.311	0.037	0.627	0.623	0.075	8.567	8.41	1.636
Bara15	Bara13-Bara15	2.174	2.075	0.649	4.244	4.044	1.287	6.581	6.242	2.083	15.973	15.103	5.199
Bara15	Bara15-Bara16	1.294	1.235	0.386	2.049	1.97	0.566	5.054	4.955	0.995	8.158	7.832	2.285
Bara15	Bara15-Bara17	3.707	3.538	1.106	6.214	5.926	1.871	9.524	9.117	2.756	6.155	5.827	1.984
Bara15	Bara15-Bara21	Servis Harici											

Bara16	Bara15-Bara16	1.291	1.232	0.385	4.445	4.26	1.296	9.676	9.216	2.95	3.549	3.519	0.455
Bara16	Bara16-Bara22	0.528	0.524	0.07	1.86	1.802	0.462	3.103	2.99	0.833	11.575	11.505	1.265
Bara16	Bara16-Bara23	2.321	2.304	0.276	3.287	3.263	0.401	3.859	3.831	0.471	3.12	3.043	0.692
Bara17	Bara12-Bara17												
Bara17	Bara15-Bara17	3.707	3.538	1.106	5.549	5.294	1.664	10.515	9.989	3.285	5.163	4.848	1.776
Bara18	Bara6-Bara18	0.812	0.774	0.246	2.442	2.34	0.695	11.068	10.594	3.203	1.312	1.252	0.391
Bara18	Bara18-Bara20	1.126	1.075	0.336	2.852	2.713	0.881	4.409	4.179	1.407	0.957	0.912	0.289
Bara19	Bara19-Bara7	2.38	2.363	0.284	4.378	4.327	0.672	10.645	10.444	2.062	2.987	2.966	0.356
Bara19	Bara19-Bara26	15.234	15.126	1.814	24.424	24.144	3.686	86.541	84.977	16.382	16.808	16.688	2.005
Bara14	Bara14-Bara14	3.998	3.97	0.476	26.075	25.795	3.815	68.952	67.747	12.832	4.704	-4.67	-0.56
Bara20	Bara4-Bara20	10.819	10.348	3.158	17.744	16.957	5.224	22.748	21.734	6.717	9.242	8.65	3.255
Bara20	Bara18-Bara20	5.567	5.334	1.591	8.923	8.533	2.61	11.345	10.845	3.333	15.494	14.613	5.148
Bara21	Bara15-Bara21	Servis Harici											
Bara22	Bara16-Bara22	0.797	0.787	0.124	3.159	3.004	0.98	18.291	18.28	0.645	3.727	3.694	0.492
Bara22	Bara22-Bara28	3.167	3.032	0.914	7.361	7.042	2.144	12.317	11.729	3.762	0.936	0.925	0.143
Bara23	Bara16-Bara23	2.28	2.263	0.281	3.442	3.424	0.348	5.809	5.718	1.022	1.163	1.155	0.139
Bara23	Bara23-Bara25	1.003	0.996	0.119	1.721	1.708	0.212	15.124	15.005	1.896	2.696	2.676	0.33
Bara24	Bara24-Bara27												
Bara24	Bara24-Bara27	0.012	0.012	0.001	0.032	0.031	0.005	0	0	0	23.158	22.765	4.247
Bara24	Bara24-Bara26	2.903	2.771	0.866	12.627	12.488	1.874	35.498	33.191	12.587	1.717	1.685	0.331
Bara24	Bara24-Bara25	0.983	0.975	0.13	6.792	6.743	0.813	33.28	33.277	0.443	4.521	4.272	1.482
Bara25	Bara2-Bara25												
Bara25	Bara23-Bara25	7.395	7.34	0.898	18.545	18.402	2.295	28.944	28.727	3.533	104.709	103.878	13.167
Bara25	Bara24-Bara25	0.983	0.975	0.13	6.792	6.743	0.813	33.28	33.277	0.443	4.521	4.272	1.482
Bara25	Bara25-Bara28	10.941	10.441	3.271	23.271	22.235	6.869	52.561	50.278	15.322	59.361	57.492	14.777
Bara26	Bara1-Bara26												
Bara26	Bara24-Bara26	0.435	0.416	0.13	0.514	0.491	0.153	0.769	0.742	0.203	4.815	4.491	1.736
Bara26	Bara19-Bara26	3.047	3.025	0.363	5.262	5.225	0.627	6.946	6.896	0.828	13.733	13.434	2.848
Bara27	Bara24-Bara27												
Bara27	Bara24-Bara27												
Bara28	Bara22-Bara28	2.115	2.018	0.631	2.796	2.682	0.792	3.103	2.99	0.833	5.728	5.447	1.77
Bara28	Bara25-Bara28	1.455	1.39	0.431	2.032	1.945	0.589	9.625	9.301	2.478	5.296	5.069	1.535

EK-F

YENİ ÜRETİM MERKEZİ EKLENMESİ DURUMU GÖRÜNÜR EMPEDANS METODU İÇİN RÖLE KADEME DEĞERLERİ

TM ADI	HAT ADI	KADEME 1			KADEME 2			KADEME 3			GERİ KADEME		
		Z1	X1	R1	Z2	X2	R2	Z3	X3	R3	Z4	X4	R4
Bara4	Bara4-Bara20	1.632	1.558	0.487	2.596	2.472	0.794	3.295	3.124	1.048	1.501	1.433	0.448
Bara5	Bara3 -Bara5	1.809	1.726	0.54	2.835	2.705	0.846	3.541	3.38	1.056	2.695	2.573	0.804
Bara5	Bara5 -Bara6	2.304	2.199	0.687	3.77	3.592	1.145	4.929	4.685	1.532	2.128	2.031	0.635
Bara6	Bara6-Bara5	2.289	2.183	0.687	3.759	3.587	1.126	4.823	4.602	1.444	2.234	2.115	0.722
Bara6	Bara6-Bara8	0.945	0.902	0.282	1.445	1.379	0.431	1.779	1.698	0.531	4.122	3.921	1.27
Bara6	Bara6-Bara18	0.616	0.588	0.184	1.215	1.158	0.365	1.702	1.627	0.5	7.787	7.465	2.218
Bara7	Bara7-Bara8	0.568	0.542	0.169	1.223	1.167	0.365	1.779	1.698	0.531	4.393	4.111	1.549
Bara7	Bara7-Bara9	1.123	1.072	0.335	2.194	2.119	0.568	3.067	2.976	0.742	8.159	7.684	2.744
Bara7	Bara7-Bara13	1.488	1.421	0.444	3.262	3.12	0.951	7.144	6.791	2.217	3.795	3.764	0.484
Bara7	Bara19-Bara7	1.908	1.895	0.227	3.436	3.411	0.41	4.631	4.598	0.552	6.004	5.853	1.336
Bara8	Bara6-Bara8	1.26	1.203	0.376	2.215	2.116	0.655	6.978	6.643	2.135	0.89	0.849	0.266
Bara8	Bara7-Bara8	0.756	0.721	0.226	3.885	3.671	1.272	6.746	6.332	2.329	1.483	1.415	0.442
Bara9	Bara7-Bara9	1.123	1.072	0.335	2.856	2.712	0.895	9.48	8.953	3.116	1.749	1.714	0.347
Bara9	Bara9-Bara10	1.487	1.457	0.295	3.076	2.985	0.744	4.392	4.262	1.061	1.322	1.262	0.394
Bara10	Bara9-Bara10	1.487	1.457	0.295	2.408	2.345	0.544	3.067	2.976	0.742	2.646	2.525	0.789
Bara10	Bara10-Bara11	2.261	2.158	0.675	3.142	3.022	0.861	3.638	3.495	1.009	1.749	1.714	0.347
Bara13	Bara7-Bara13	1.488	1.421	0.444	2.509	2.382	0.789	5.528	5.435	1.013	5.393	5.138	1.64
Bara13	Bara13-Bara14	1.269	1.211	0.379	1.924	1.859	0.496	6.838	6.36	2.51	4.862	4.65	1.42
Bara13	Bara13-Bara15	2.174	2.075	0.649	3.567	3.4	1.081	71.264	70.52	10.23	3.343	3.163	1.08
Bara14	Bara12-Bara14	2.637	2.517	0.788	4.395	4.197	1.305	15.319	14.59	4.67	2.302	2.133	0.866
Bara14	Bara13-Bara14	1.266	1.208	0.379	3.329	3.19	0.952	6.352	6.083	1.827	5.354	4.94	2.065
Bara14	Bara14-Bara14	0.533	0.529	0.063	0.314	0.311	0.037	0.627	0.623	0.075	9.709	9.557	1.711
Bara15	Bara13-Bara15	2.174	2.075	0.649	4.032	3.842	1.224	5.899	5.604	1.843	68.74	64.801	22.934
Bara15	Bara15-Bara16	1.294	1.235	0.386	1.971	1.896	0.54	4.549	4.458	0.905	15.424	14.769	4.448
Bara15	Bara15-Bara17	3.707	3.538	1.106	5.95	5.671	1.801	8.737	8.348	2.579	12.614	11.939	4.071
Bara15	Bara15-Bara21	0.868	0.86	0.115	1.652	1.576	0.495	2.267	2.169	0.66	9.703	9.198	3.091

Bara15	Bara15-BaraRES	0.478	0.456	0.142	0.281	0.268	0.084	0.562	0.536	0.168	55.679	55.112	7.928
Bara16	Bara15-Bara16	1.291	1.232	0.386	2.522	2.416	0.724	16.942	16.116	5.224	3.043	3.02	0.373
Bara16	Bara16-Bara22	0.528	0.524	0.07	1.86	1.802	0.462	3.103	2.99	0.833	24.495	24.335	2.797
Bara16	Bara16-Bara23	2.321	2.304	0.276	3.287	3.263	0.401	3.859	3.831	0.471	3.119	3.042	0.692
Bara17	Bara12-Bara17	2.115	2.019	0.631	3.385	3.23	1.012	19.207	18.342	5.7	34.744	32.779	11.518
Bara17	Bara15-Bara17	3.707	3.538	1.106	5.462	5.203	1.66	16.973	16.101	5.372	4.376	4.099	1.531
Bara18	Bara6-Bara18	0.812	0.774	0.246	2.447	2.346	0.696	11.339	10.865	3.246	1.312	1.252	0.391
Bara18	Bara18-Bara20	1.126	1.075	0.336	2.848	2.709	0.88	4.401	4.171	1.404	0.957	0.912	0.289
Bara19	Bara19-Bara7	2.38	2.363	0.284	4.416	4.364	0.677	10.295	10.098	2.002	2.987	2.966	0.356
Bara19	Bara19-Bara26	15.234	15.126	1.814	24.193	23.917	3.642	88.12	86.526	16.685	16.808	16.688	2.005
Bara14	Bara14-Bara14	3.998	3.97	0.476	26.298	26.02	3.811	77.515	76.349	13.392	4.704	-4.67	-0.56
Bara20	Bara4-Bara20	10.819	10.348	3.158	17.744	16.957	5.224	22.748	21.734	6.717	9.239	8.647	3.255
Bara20	Bara18-Bara20	5.567	5.334	1.591	8.923	8.533	2.61	11.345	10.845	3.333	15.452	14.574	5.133
Bara21	Bara15-Bara21	5.861	5.565	1.839	11.275	10.781	3.3	71.501	67.33	24.064	8.293	7.927	2.436
Bara22	Bara16-Bara22	0.797	0.787	0.124	3.164	3.008	0.982	37.655	37.554	-2.751	3.727	3.694	0.492
Bara22	Bara22-Bara28	3.167	3.032	0.914	6.807	6.505	2.004	11.544	10.98	3.565	0.936	0.925	0.143
Bara23	Bara16-Bara23	2.28	2.263	0.281	3.672	3.656	0.34	5.808	5.717	1.022	1.163	1.155	0.139
Bara23	Bara23-Bara25	1.003	0.996	0.119	1.64	1.629	0.196	12.844	12.757	1.494	2.696	2.676	0.33
Bara24	Bara24-Bara27												
Bara24	Bara24-Bara27	0.012	0.012	0.001	0.031	0.031	0.005	0	0	0	24.988	24.574	4.53
Bara24	Bara24-Bara26	2.903	2.771	0.866	12.422	12.279	1.878	35.006	32.757	12.344	1.7	1.669	0.326
Bara24	Bara24-Bara25	0.983	0.975	0.13	6.893	6.846	0.808	36.999	36.999	0.159	4.416	4.175	1.439
Bara25	Bara2-Bara25												
Bara25	Bara23-Bara25	7.395	7.34	0.898	18.545	18.402	2.295	28.944	28.727	3.533	87.61	87.02	10.151
Bara25	Bara24-Bara25	1.475	1.462	0.195	1.749	1.734	0.23	8.332	7.978	2.401	53.788	53.788	0.009
Bara25	Bara25-Bara28	10.941	10.441	3.271	23.796	22.748	6.982	51.107	48.865	14.971	58.337	56.51	14.484
Bara26	Bara1-Bara26												
Bara26	Bara24-Bara26	0.435	0.416	0.13	0.515	0.491	0.153	0.766	0.739	0.202	4.741	4.426	1.7
Bara26	Bara19-Bara26	3.047	3.025	0.363	5.262	5.225	0.627	6.946	6.896	0.828	14.048	13.744	2.909
Bara27	Bara24-Bara27												
Bara27	Bara24-Bara27	0.002	0.002	0	0.003	-0.003	-0.001	5	4.918	0.904	0.003	-0.003	0
Bara28	Bara22-Bara28	2.115	2.018	0.631	2.796	2.682	0.792	3.103	2.99	0.833	5.212	4.948	1.639
Bara28	Bara25-Bara28	1.455	1.39	0.431	2.029	1.942	0.587	9.489	9.17	2.439	5.102	4.88	1.488
BaraRES	BaraRES-Bara15	0.478	0.456	0.142	7.906	7.857	0.882	56.236	55.405	9.634	0.562	-0.536	-0.168

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Özgür GÜRSANLI

Doğum Tarihi ve Yeri : 11.09.1986 / Kahramanmaraş-Afşin

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ozgur.gursanli@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2017
Lisans	Elektrik Mühendisliği	İstanbul Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Afşin Anadolu Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013-Halen	Tübitak MAM Enerji Enstitüsü	Araştırmacı
2013-2013	Siemens Enerji A.Ş	Elektrik Müh.
2011-2013	Gülermak-Doğuş	Elektrik Müh.

YAYINLARI

Makale

1. Arikan, O., Gursanli, O., Aydin, H., Yagmur, E. A., “An Algorithm for Transmission Distance Relay Setting Calculation under Network Topology Change”, International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering, Vol. 4, Issue 5, pp. 508-513, May 2016.

Bildiri

1. Arikan, O., Aydin, H., Gursanli, O., (2016). “Yüksek Gerilim Enerji İletim Hatlarını Koruma Uygulaması”, 2. Güç Sistemleri Konferansı (CİGRE), 15-16 Kasım 2016, İstanbul/TÜRKİYE.