T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAĞITIK ÜRETİM TESİSLERİ İÇEREN ŞEBEKELER İÇİN AKILLI VE ADAPTİF BİR KORUMA METODUNUN GELİŞTİRİLMESİ

YAVUZ ATEŞ

DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. MEHMET UZUNOĞLU

İSTANBUL, 2016

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAĞITIK ÜRETİM TESİSLERİ İÇEREN ŞEBEKELER İÇİN AKILLI VE ADAPTİF BİR KORUMA METODUNUN GELİŞTİRİLMESİ

Yavuz ATEŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 13.01.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Muğdeşem TANRIÖVEN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Hakan UNDİL

İstanbul Üniversitesi _____

Prof. Dr. Osman KILIÇ

Marmara Üniversitesi _____

Doç. Dr. Recep YUMURTACI

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

- Bu çalışma, TÜBİTAK Smartgrids ERANET (Yıldız Teknik Üniversitesi-TÜBİTAK, Danimarka Aalborg Üniversitesi ve Norveç Simula Araştırma Laboratuarı AB Ortaklığı) 111E142 numaralı projesi tarafından desteklenmiştir.

- Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün 2013-04-02-DOP01 numaralı Doktora Tez Projesi (DOP) ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Günümüzde enerji ihtiyacı dünya genelinde büyük bir oranda fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Gelişen teknoloji ve nüfus artışına paralel olarak enerjiye olan yoğun talep, fosil yakıtların çevresel olumsuzlukları ve ömürlerinin kısıtlı oluşu gibi faktörler ön plana çıkmaktadır. Bahsi geçen bu olumsuzsuz durumlar nedeniyle yenilenebilir olarak tanımlanan enerji kaynaklarına olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Son yıllarda elektrik enerjisi endüstrisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının daha yoğun kullanımına yönelik ve enerji verimliliğinin arttırılmasını hedefleyen çalışmalarda artış görülmektedir. Bununla birlikte elektrik mühendisliğinin temel konularından birisi olan elektrik enerji kalitesinin arttırılması için, elektrik şebeke sistemlerinde hatalı çalışmaların minimum düzeyde tutularak elektrik enerjisinin sürekliliğinin sağlanması önem kazanmaktadır. Bahsi geçen gelişmelerle birlikte yeni nesil şebekelerde koruma yapısının değişmesiyle akıllı ve adaptif çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla son yıllarda geliştirilen ve hızla yaygınlaşan dijital koruma rölelerinin haberleşme imkânları da kullanılarak, elektrik dağıtım şebekelerinde hatalı çalışmaların önüne geçmek için uygun çözümler üretilebilmektedir. Bu açıdan, bu tez çalışmasında dağıtık üretim tesisleri içeren bir dağıtım sisteminde akıllı ve adaptif koruma yapısı geliştirilerek röle koordinasyonu farklı şebeke ve arıza durumları dikkate alınarak sağlanmıştır.

Çalışmalarımın her aşamasında beni yönlendiren ve bana her adımda destek olan sayın danışman hocam Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU'na, değerli yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ozan ERDİNÇ'e, destekleri için Arş. Gör. Dr. Ali Rıfat BOYNUEĞRİ'ne ve beni bugünlere getiren, sevgiyle büyüten ve her zaman yanımda olan canım aileme teşekkürü bir borç bilirim. Son olarak, her zaman bana çalışmalarımda destek olan, motivasyonumun azaldığı anlarda bana teşvikleri ile yol gösteren eşim ve biricik kızım Elif Nihal'in annesi Sibel ATEŞ'e sonsuz minnettarlığımı belirtmek isterim.

Son olarak, 2013-04-02-DOP01 numaralı proje kapsamındaki desteklerinden dolayı Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne ve 111E142 numaralı Smartgrids ERANET projesi desteği nedeniyle TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Ocak, 2016

Yavuz ATEŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ....viii

KISALTMA LİSTESİ....ix

ŞEKİL LİSTESİ.... x

ÇİZELGE LİSTESİ....xii

ÖZET....xiii

ABSTRACT....xv

BÖLÜM 1

GİRİŞ.... 1

1.1 Literatür Özeti.... 1
1.1.1 Akıllı Şebekelerde Haberleşme Sistemleri.... 6
1.1.2 Akıllı Şebekelerde Adaptif Koruma ve Röle Koordinasyonu.... 9
1.2 Tezin Amacı.... 14
1.3 Orjinal Katkı.... 15

BÖLÜM 2

ELEKTRİK TESİSLERİNDE KORUMA SİSTEMİ VE TEMEL KAVRAMLAR.... 17

2.1 Korumanın Önemi.... 17
2.2 Koruma Sistemini Oluşturan Elemanlar.... 18
2.3 Koruma Sisteminden Beklenen Özellikler.... 19
2.3.1 Seçicilik.... 20
2.3.2 Hızlı Çalışma.... 21
2.3.3 Güvenilir Çalışma.... 21
2.3.4 Yedek Koruma.... 22
2.3.5 Ekonomik Olma.... 22
2.3.6 Kararlı Olma.... 23
2.4 Koruma Röleleri.... 23
2.4.1 Rölenin Tanımı ve Temel Kavramlar.... 23

2.4.2 Yapısına Göre Röleler 24
2.4.2.1 Elektromekanik Röleler 24
2.4.2.2 Statik Röleler 25
2.4.2.3 Nümerik (Sayısal) Röleler 26
2.4.2.4 Yapılarına Göre Rölelerin Karşılaştırılması 29
2.4.3 Devreye Bağlanışlarına Göre Röleler 29
2.4.3.1 Primer Röleler 29
2.4.3.2 Sekonder Röleler 30
2.5 Koruma Rölelerini Tanımlayan Kodlar 31
2.6 Aşırı Akım Rölesi 32
2.6.1 Koruma İlkesi 32
2.6.2 Aşırı Akım Rölelerinin Karakteristikleri 34
2.6.3 Bağımsız Karakteristik 34
2.6.4 Bağımlı Karakteristik 34
2.7 Koruma Sisteminde Seçicilik ve Koordinasyon 37
2.7.1 Seçicilik Koşulları 37
2.7.2 Akım Karakteristikli Seçicilik 38
2.7.3 Zaman Karakteristikli Seçicilik 39
2.7.4 Mantıksal Seçicilik 41
2.7.5 Yönlü Seçicilik 42

BÖLÜM 3

DAĞITIK ÜRETİM TESİSLERİ İÇEREN ELEKTRİK ŞEBEKE SİSTEMLERİ 44

3.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları 44
3.2 Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebekeye Entegrasyonu 49
3.3 Dağıtık Üretim Tesisleri İçeren Dağıtım Şebekesinde Koruma Analizleri . 51
3.4 Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Adaptif Koruma 52

BÖLÜM 4

DAĞITIM ŞEBEKESİ MODELLEMELERİ, RÖLE KOORDİNASYONU VE ARIZA ANALİZLERİ . 53

4.1 IEEE 4 Baralı Test Sistemi Üzerinde Röle Koordinasyonu Topolojileri 53
4.2 IEEE 4 Baralı Test Sistemi Üzerinde Röle Koordinasyonu Simulasyon Çalışmaları 56
4.2.1 Senaryo 1 - Tek Kaynaktan Beslenen Sistemde Seçicilik 56
4.2.2 Senaryo 2- Çift Kaynaktan Beslenen Sistemde Seçicilik 57
4.2.3 Senaryo 3- Çift Kaynaktan Beslenen Sistemde Yedek Röle için Selektivite 58
4.3 IEEE 13-Baralı Test Sistemi Üzerinde Çeşitli Baralara Dağıtık Üretim Tesisleri Entegrasyonu ile Arıza Senaryolarının oluşturulması ve Koruma Sistemine Etkilerinin İncelenmesi 59

BÖLÜM 5

DAĞITIK ÜRETİM TESİSİ İÇEREN ŞEBEKELER İÇİN GELİŞTİRİLEN ADAPTİF KORUMA ALGORİTMALARI 66

5.1 Dağıtık Üretim Tesisleri içeren, IEEE 4 Baralı Bir Test Sistemi Üzerinde Adaptif Koruma Algoritmasının Geliştirilmesi 66
5.1.1 Dağıtım Şebekesi Modeli Tanıtımı 68
5.1.2 Çalışma Sonuçları 72
5.2 Dağıtık Üretim Tesisleri içeren, IEEE 13 Baralı Bir Test Sistemi Üzerinde Adaptif Koruma Algoritmasının Geliştirilmesi 78
5.2.1 Geliştirilen IEEE 13 Baralı Test Sistemi Koruma Yapısı 79
5.2.2 Geliştirilen Adaptif Koruma Yapısı Akış Diyagramı 81
5.2.3 Çalışma Sonuçları 84

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER 97

KAYNAKLAR 102

EK A

IEEE 13 BARALI TEST SİSTEMİ ADAPTİF KORUMA SİSTEMİ ALGORİTMASI 108

ÖZGEÇMİŞ 121

SİMGE LİSTESİ

C	Kapasite
E	Enerji
I	Çalışma akımı
Ip	Arıza akımı
I_{RMS}	Akımın efektif değeri
J	Akım yoğunluğu
P	Aktif güç
R	Direnç
S	Görünür güç
Q	Reaktif güç
T	Sıcaklık
Tp	Röle açma zaman ayarı
Un	Nominal gerilim
V	Gerilim
kbps	Bir saniyede gerçekleşen veri hızı
m	Kütle
q	Elektron yükü
r	Özdirenç
t	Zaman
v	Rüzgâr hızı
η	Verim

KISALTMA LİSTESİ

BPL	Broadband over Power Lines
CO_2	Karbondioksit
DG	Dağtık Üretim Tesisi
EI	Extra Inverse
HES	Hidroelektrik Santral
IEC	International Electrotechnical Comission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
KZP	Koordinasyon Zaman Payı
LCD	Liquid Crystal Display
LCOE	Levelized Cost of Energy
NI	Normal Inverse
NIST	National Institute Of Standarts and Technology
OECD	Avrupa Ekonomik İşbirliği Teşkilatı
PC	Kişisel Bilgisayar
PV	Güneş Paneli
RES	Rüzgâr Enerjisi Santrali
TMS	Time Multiplier Setting of Relay
VI	Very Inverse
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YES	Yenilenebilir Enerji Sistemleri
YSA	Yapay Sinir Ağı

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Elektrik ve Bilgi Altyapısının Bir Araya Getirilmesi 6
Şekil 1.2 Akıllı şebeke koruması için örnek bir adaptif koruma yaklaşımı 13
Şekil 2.1 Kesici kumanda devresi 18
Şekil 2.2 Koruma bölgeleri 19
Şekil 2.3 Koruma sisteminde seçicilik prensibi 20
Şekil 2.4 Primer ve Sekonder Röle 30
Şekil 2.5 Tek fazlı aşırı akım rölesinin blok diyagramı [48] 32
Şekil 2.6 Bağımsız karakteristik 34
Şekil 2.7 Bağımlı Karakteristik 35
Şekil 2.8 Ani elemanlı ters zaman rölesi çalışma karakteristiği 35
Şekil 2.9 NI, VI ve EI karakteristiklerinin karşılaştırılması [49] 36
Şekil 2.10 Röle ayar karakteristiği [49] 37
Şekil 2.11 Akım karakteristikli seçicilik [50] 38
Şekil 2.12 Akım karakteristikli seçicilik eğrileri 39
Şekil 2.13 Zaman karakteristikli seçicilik [50] 40
Şekil 2.14 Koruma röleleri zaman karakteristikleri [50] 41
Şekil 2.15 Mantıksal seçicilik [50] 42
Şekil 2.16 Yönlü seçicilik [50] 42
Şekil 2.17 Yönlü seçicilikte koruma sisteminin çalışması [50] 43
Şekil 3.1 YES Teknolojileri 45
Şekil 3.2 2010-2014 Yıllarına ilişkin YES LCOE Değerleri [59] 46
Şekil 3.3 Enerji Kaynaklarının Üretimde Yıllara göre Değişen Katkıları 47
Şekil 3.4 2007-2013 Yılları arasındaki kurulu YES kapasite değerleri 48
Şekil 3.5 Ülke Bazında Kurulu YES Kapasite Değerleri 48
Şekil 3.6 YEK Entegrasyonunun Faydaları 49
Şekil 4.1 IEEE 4 Baralı Test Sistemi 54
Şekil 4.2 IEEE 4 Baralı Test Sistemi Röle Koordinasyonu 54
Şekil 4.3 IEEE 4 Baralı Test Sistemi Yönlü Röle Koordinasyonu 55
Şekil 4.4 Dağıtık üretim tesisi tabanlı dağıtım sisteminde adaptif koruma ve röle koordinasyonu 55
Şekil 4.5 Tek yönlü çalışma röle açma sinyalleri 57
Şekil 4.6 Çift yönlü çalışma röle açma sinyalleri 58
Şekil 4.7 Çift yönlü çalışma yedek röle açma sinyalleri 59
Şekil 4.8 Dağıtım şebekesi arıza bölgeleri 60

Şekil 4.9 Senaryo 1 çalışma topolojisi 61
Şekil 4.10 Senaryo 2 çalışma topolojisi 61
Şekil 4.11 Senaryo 3 çalışma topolojisi 62
Şekil 4.12 Senaryo 4 çalışma topolojisi 62
Şekil 5.1 IEEE 4 Baralı Test Sistemi 68
Şekil 5.2 Düzenlenen IEEE 4 Baralı Test Sistemi 69
Şekil 5.3 Adaptif sistem akış diyagramı 72
Şekil 5.4 Adaptif röle koordinasyonu sistemi 73
Şekil 5.5 Mod 2 Durumu İçin Röle 6 Koordinasyonu 77
Şekil 5.6 Mod 4 Durumu İçin Röle 4 Koordinasyonu 77
Şekil 5.7 Mod 6 Durumu İçin Röle 6 Koordinasyonu 78
Şekil 5.8 IEEE 13 Baralı test sistemi 80
Şekil 5.9 IEEE 13 Baralı Test Sistemi Aadaptif Koruma Yapısı 81
Şekil 5.10 IEEE 13 Baralı Test Sistemi Adaptif Koruma Yapısı Akış Diyagramı 82
Şekil 5.11 Adaptif koruma ve röle koordinasyonu yapısı-senaryo 1 86
Şekil 5.12 Adaptif koruma ve röle koordinasyonu yapısı-senaryo 2 89
Şekil 5.13 Adaptif koruma ve röle koordinasyonu yapısı-senaryo 3 91
Şekil 5.14 Adaptif koruma ve röle koordinasyonu yapısı-senaryo 4 93
Şekil 5.15 Adaptif koruma ve röle koordinasyonu yapısı-senaryo 5 95

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 Enerji sistem kontrol operasyonları için IEC 62351 bilgi güvenliği [32] 9
Çizelge 2.1 Koruma Kodları ve Açıklaması 31
Çizelge 4.1 Arıza akım değerleri 63
Çizelge 4.2 Yönlü aşırı akım röle açma süreleri 64
Çizelge 4.3 Tüm senaryolar için röle açma süreleri 65
Çizelge 5.1 Transformatör Verileri 68
Çizelge 5.2 Yük Verileri 68
Çizelge 5.3 Adaptif sistem yük dataları 69
Çizelge 5.4 Çalışma modları 70
Çizelge 5.5 Adaptif Koruma Sistemi Çalışma Sonuçları 76
Çizelge 5.6 Koruma sistemi “Senaryo 1” sonuçları 88
Çizelge 5.7 Koruma sistemi “Senaryo 2” sonuçları 90
Çizelge 5.8 Koruma sistemi “Senaryo 3” sonuçları 92
Çizelge 5.9 Koruma sistemi “Senaryo 4” sonuçları 94
Çizelge 5.10 Koruma sistemi “Senaryo 5” sonuçları 96

ÖZET

DAĞITIK ÜRETİM TESİSLERİ İÇEREN ŞEBEKELER İÇİN AKILLI VE ADAPTİF BİR KORUMA METODUNUN GELİŞTİRİLMESİ

Yavuz ATEŞ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Yenilenebilir enerji kaynaklarını da içeren dağıtık enerji sistemlerinden oluşan yeni nesil şebeke sistemleri, günümüzde akıllı şebekeler kapsamında yüksek verimlilik, güvenilirlik ve sürdürebilirlik hususlarında önemli gelişmeler sağlamıştır. Bunun yanı sıra düşük elektriksel kayıplar ve çevre kirliliği sunması sayesinde de geleneksel merkezi elektrik enerjisi yapısına alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Akıllı şebekeler kavramı dikkate alındığında çözülmesi gereken en önemli hususlardan birisi evirici arayüzlü dağıtık üreteçlerden oluşan bu tarz şebekelerin özellikle de ada modundayken değişken ve belirsiz hata karakteristikleri göstermeleri nedeniyle mevcut geleneksel koruma sistemlerinin yetersiz kalmasıdır. Bu husus için literatürde çeşitli çözüm önerileri mevcuttur. Ancak mevcut çalışmalar incelendiğinde henüz dağıtık üretim tesisleri (distributed generation-DG) içeren şebekeler için güvenilir, genel kabul görmüş ve standart bir koruma tekniğinin bulunmadığı gözlenmiştir.

Bu tez üç ortaklı (TÜBİTAK ve YTÜ-Türkiye, Aalborg Üniversitesi-Danimarka, SIMULA-Norveç) bir "SmartGrids ERA-NET" konsorsiyumu projesi (Avrupa Birliği Projesi) tarafından desteklenmekte olup tezin amacı yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan dağıtım şebekeleri için etkin ve adaptif bir koruma tekniği geliştirmektir. Bu açıdan tez kapsamında geliştirilen adaptif koruma stratejisi ile farklı yük ve dağıtık üretim tesislerini de içeren bir akıllı şebeke sistemindeki koruma ve röle koordinasyonu uygulaması, verimli ve etkin bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Birden çok kaynağın bağlı olduğu yeni nesil şebeke sistemlerinde güç akışının yönlü olması nedeniyle koruma

sistemi röle tercihi önemli bir husus haline gelmektedir. Bu amaçla tez çalışmasında, konvansiyonel şebekelerde de sıklıkla kullanılan yönlü aşırı akım rölesine ait işletim karakteristiklerindeki ayar değerleri, sistemdeki bütün koruma cihazlarının izlenmesi ve haberleşmeleri vasıtası ile değişken yük taleplerine hızlı bir şekilde cevap verecek şekilde adaptif olarak belirlenmiştir. Bu sayede sistem kararlılığı, sürekliliği ve güvenilirliğinin arttırılması hedeflenmiştir.

Yukarıda bahsi geçen kontrol yaklaşımının etkin bir biçimde oluşturulması için öncelikle benzetim ortamında yenilenebilir enerji bazlı dağıtık üretim tesislerini de içeren akıllı bir şebeke için örnek bir güç sistem modeli oluşturulmuştur. Burada sisteme ait bütün bileşenler için detaylı benzetim modelleri oluşturularak modeller üzerinde en iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan komple model üzerinde önerilen kontrol yapısının etkinliği değerlendirilerek kontrol algoritmasında gerekli değişiklikler yapılmış ve etkinliği farklı dağıtım şebekeleri referans alınarak benzetim (simulasyon) ortamında test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adaptif koruma, akıllı şebekeler, dağıtık üretim, yenilenebilir enerji kaynakları

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A SMART AND ADAPTIVE PROTECTION METHOD FOR GRIDS INCLUDING DISTRIBUTED GENERATION PLANTS

Yavuz ATES

Department of Electrical Engineering

PhD. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Mehmet UZUNOGLU

Nowadays, microgrids composed of distributed generators including renewable energy sources have appeared as alternative to conventional electrical energy structure in terms of higher efficiency, reliability, sustainability, lower electrical losses and environmental pollution. However, one of the most significant obstacles that prevents the widespread application of microgrids is the insufficiency of conventional protection systems due to their variable and indefinite fault characteristics especially in islanding mode of operation. In the literature, there exist several solution proposals for this issue. However, when investigated; it is observed that there is a lack of a reliable, widely accepted and standard protection technique in the literature.

This thesis is a SmartGrids ERA-NET Consortium project of three partners (TUBITAK and YTU-Turkey, Aalborg University-Denmark, SIMULA-Norway) with the purpose of development of an effective protection technique for microgrids composed of renewable energy sources.

In this concept, the protection and control issues in a smart grid system including different loads and several sources with distributed generation units have efficiently been realized in this thesis by employing smart controller. The set points of the widely utilized protection devices such as over-current relays in conventional power systems have adaptively and dynamically been determined considering the observation and communication of all protection devices in the system in order to provide fast responses to varying load demands. Thus, the system stability, durability and reliability could be enhanced.

In order to provide the above mentioned control approach efficiently, a power system model of smart grid including renewable energy based distributed generation plants have been realized in simulation environment. The detailed simulation models of each component of the system have been provided and the necessary revisions on developed models have been realized. The efficiency of the control approach has been analyzed utilizing the mentioned overall system model.

Keywords: Adaptive protection, distributed generation, renewable energy sources, smart grids

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde dünya genelinde ön plana çıkan en önemli konulardan biri enerjidir. İnsanoğlunun en önemli ihtiyaçlarından biri haline gelen enerji alanında gelecek açısından fosil yakıtların tükenmekte olması gibi önemli bir tehlike karşımıza çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu problem karşısında yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve talep hergeçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artışıyla birlikle şebekeye entegrasyon ve koruma sistemlerindeki değişime paralel olarak yeni fikirler ve çalışma alanları da ortaya çıkmıştır. Tüm bu aşamaları kapsayan detaylı bir literatür çalışması aşağıda özetlenmiştir.

Dünyanın günümüzdeki enerji ihtiyacının büyük bir bölümü kömür, doğal gaz ve petrol gibi geleneksel enerji kaynakları kullanılarak karşılanmaktadır [1,2]. Bunun yanı sıra dünyadaki enerji ihtiyacı üstel olarak artış göstererek geleneksel yakıta olan ihtiyacı giderek arttırmaktadır [3]. Öte yandan geleneksel yakıtların rezervleri dünya üzerinde sınırlıdır ve artan enerji ihtiyacına bağlı olarak hızlı bir şekilde tükenmektedir. Bu durum da gelecekteki üretim/tüketim dengesinin sağlanmasını tehlikeye düşürmektedir [4,5]. Bahsi geçen kaynakların birim maliyetleri, günlük politik olaylar, vb. nedenlere bağlı olarak büyük oranda bir değişkenliğe sahiptir. Ayrıca, yakıt ithal eden ülkeler ile yakıt ihraç eden ülkeler arasındaki politik dengeler ya da dışa bağımlılık dikkate alındığında, geleneksel kaynaklar ile elektrik enerjisi üretiminin gelecekteki durumu üzerine yapılan araştırma ve çalışmaların önemli oranda arttığı gözlemlenmektedir [6]. Bütün bunların yanı sıra geleneksel yakıtların enerji üretiminde kullanılması, sera gazı salınımının

önemli oranda artmasına ve buna bağlı olarak küresel ısınma gibi bütün dünyayı etkileyebilecek istenmeyen sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır [5,7,8]. Emisyon salınımı azaltılmaz ise, küresel ısınma nedeni ile birçok ülkenin arazi ve iklim koşullarının değişmesi gibi durumlarla karşılaşılması mümkün hale gelebilecektir [5]. Bu açıdan geleneksel enerji kaynaklarına olan bağımlılığı düşürerek küresel sera gazı salınımını azaltmak için Kyoto Sözleşmesi kapsamında bir çalışma hazırlanmıştır. Bu durum hem gelişmiş, hem de gelişmekte olan ülkeler için geçerlidir [9]. Ayrıca son olarak 30 Kasım-11 Aralık 2015 tarihleri arasında Paris'te 190'dan fazla ülke temsilcisinin katıldığı iklim zirvesi düzenlenmiştir. Bu toplantıda ana gündem maddesi küresel sera gazı emisyonlarının azaltılması ve böylece iklim değişikliği tehdidini önlemek olmuştur. Zirve sonrası tüm katılımcıların onayladığı yeni bir küresel anlaşma imzalanarak yürürlüğe girmiştir.

Günümüzde karşı karşıya olduğumuz yukarıda bahsi geçen sorunlara çözümler getirebilmek açısından uzun dönemli sürdürülebilir gelişme sağlayabilecek aksiyomların hayata geçirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Sürdürülebilir bir enerji sistemi, yerel kaynakların etkin bir şekilde kullanıldığı, maliyet bakımından kabul edilebilir uygunlukta, güvenilir ve çevre dostu bir enerji sistemi olarak tanımlanabilir [10]. Sürdürülebilir bir enerji temini sağlanması açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması, en verimli ve etkin çözümlerden biri konumunda bulunmaktadır [5,8]. Güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyokütle, dalga, jeotermal, vb. gibi her bir yenilenebilir enerji sisteminin farklı uygulamalarda bahsi geçen kaynağın kullanımını ön plana çıkartabilecek kendine özgü avantajları bulunmaktadır. Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasının, ithal edilen enerji kaynaklarına olan bağımlılığı azaltması, iletim ve dağıtım kayıplarını düşürmesi vb. birçok avantajı mevcuttur. Bunun yanı sıra yenilenebilir enerji kaynaklarından neredeyse hiçbiri işletim esnasında gaz ya da sıvı halde atık oluşturmamakta ve bu durum geleneksel enerji kaynaklarına kıyasla önemli bir avantaj oluşturmaktadır [10,11].

Yukarıda bahsi geçen yenilenebilir enerji sistemleri yerel güç üretimine olanak sağlaması gibi önemli bir avantajı sayesinde gelecek açısından ümit verici olarak değerlendirilmektedir. Meteorolojik ve iklimsel koşullara bağımlılıktan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kesin olarak tahmin edilemeyen karakteristikleri ise

bir dezavantaj olarak bulunmaktadır. Bu husus yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen gücün yük talebinin değişimi ile uyum sağlayamaması olasılığını ortaya çıkartmaktadır [7,12-14].

Bu bağlamda, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin kullanımı ve elektrik üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin verimliliğinin artırılmasını hedefleyen çalışmalar gerek literatürde, gerekse de uygulamalarda oldukça artmıştır. Özellikle yenilenebilir enerji üretiminin önem kazanması ile birlikte, gerçek zamanlı fiyatlamanın yapıldığı serbest piyasa sisteminde akıllı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır [15]. Böylelikle talep de gerçek zamanlı olarak kısmen dengelenebilecek ve öngörülebilen yenilenebilir enerji üretiminin şebeke üzerinde neden olduğu olumsuz etkiler de en aza indirilebilecektir.

Literatür araştırmasıyla yukarıda özetlenen konular dikkate alındığında "akıllı şebekeler (smart grids)" kavramı diğer çözüm önerileri arasında ön plana çıkmaktadır. Yeni nesil elektrik enerjisi şebekesi olarak ta tanımlanabilen akıllı şebeke kavramı, sürdürülebilir, ekonomik ve güvenilir olması açısından ön plana çıkmaktadır. Bunun yanında elektrik enerjisi temini açısından üreticiler, tüketiciler, vb. kendisine bağlı olan tüm kullanıcıların davranışlarını akıllı bir şekilde yönlendirebilmesi nedeniyle de günümüzde oldukça önem kazanmaktadır [16-18]. Bahsi geçen yeni nesil şebekeler sayesinde zamanla değişen miktarlarda üretim yapan rüzgar türbinleri ve güneş panelleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılabilmesi sağlanabilmektedir. Böylece kayıpların azaltılmasından dolayı sistemin toplam verimi de en üst seviyeye yükseltilebilmektedir. Özellikle çevresel etkiler göz önüne alındığında, akıllı şebekelerin gelecekte önemli bir konuma sahip olacakları öngörülmektedir.

Güç şebekesi açısından düşünüldüğünde sistemdeki tüm işletme noktalarının adaptif, maliyet açısından uygun, çevre ile dost, esnek, güvenilir olması akıllı yapıyı oluşturmaktadır. Akıllı şebeke, enerji kontrolünü optimize eden ve alternatif enerji üretimini destekleyen enerji üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin dijital bir birleşimi olarak da kabul edilebilir [19]. Ayrıca kullanıcıların da şebeke yönetiminde daha aktif rol almalarına olanak sağlayan akıllı şebekelerin faydaları sadece işletme maliyetlerini düşürmekle sınırlı değildir. Akıllı bir iletim sistemi sadece problemli bölgeleri hızlı bir

şekilde izole ederek geniş çaplı enerji kesintilerinin önüne geçmekle kalmayıp, sistem çökmeleri sonrasında tekrar toparlanma sürecini düzenleyip dengeleyebilmekte ve kendi kendini iyileştirebilmektedir.

Dünya genelinde "3 tane 20 prensibi" olarak vurgulanan ilke ile birlite dikkatler akıllı elektrik şebekelerine çevrilmiştir. Bahsi geçen hedef kapsamında Dünya genelinde iklim değişikliği üzerinde olumsuz etkileri bulunan karbondioksit gazı (CO_2) salınımının 2020 yılına kadar yüzde 20 oranında azaltılması amaçlanmakta ve aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin toplam enerji üretimi içerisindeki oranının en az yüzde 20 seviyesine çıkarılması hedeflenmektedir [20]. Avrupa Birliği'nin iklim değişikliğiyle mücadele planının temelini bu hedef oluşturmaktadır. Türkiye'de de özellikle İstanbul gibi yüksek nüfusa sahip olan bir metropolde benzer hedeflere ulaşılabilmesi için akıllı şebekelerin mutlaka dikkate alınması gerekmektedir.

Literatürde akıllı şebekeler kavramı genellikle; yapıları, bileşenleri ve çeşitli faydaları açısından detaylı bir şekilde incelenmektedir. Çalışmalarda, akıllı şebekelerin gelişimiyle birlikte tüketicilere ait elektrik enerjisi tüketim profilleri verilerinin elde edilebileceği hususu sıklıkla vurgulanmaktadır. Böylece bu verilerden faydalanılarak enerji akışının verimli bir şekilde gerçekleştirilebileceği belirtilmektedir. Akıllı şebekeler kavramı oldukça geniş bir konu havuzunu kapsamaktadır. Bu konulara verilebilecek önemli örneklerden biri de"akıllı evler (smart homes)"dir. Bu evlerin yerel şebekedeki diğer tüketicilerle ve evlerde bulunan elektrikli cihazlarla haberleşmesi sayesinde elektrik sistemi daha verimli bir şekilde işletilebilir [21]. Bunun en önemli nedeni tüketim değerlerinin anlık olarak izlendiğinden üretim-tüketim dengesinin başarılı bir şekilde sağlanabilmesidir.

Enerjiye olan talebin azaltılması veya enerji tüketiminin pik olmayan bir zaman periyoduna doğru kaydırılması sonucu elde edilen maddi kazanç tüketiciler için en önemli hususlardan bir tanesidir. Bu konuda yapılan çalışmalardan biri olan "Enerji Verimliliği Hareket Planı"nda, Avrupa Birliği genelindeki evsel yüklerin enerji tasarrufu potansiyelinin yaklaşık % 27 olduğu tahmin edilmektedir [22]. Ayrıca akıllı şebeke

teknolojisi ile enerji verimliliğinin arttırılmasının yanı sıra enerji kalitesi de yükseltilebilecektir.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın G-8 ülkelerinin eylem planına destek olarak yayımladığı "Enerji Teknoloji Perspektifleri 2008" dergisinde yer alan ve "Mavi Senaryo" adı verilen yaklaşıma göre, enerji üretimi ve tüketiminin çift yönlü olarak kontrol edilmesi, 2050 yılına kadar sera gazı salınımının istenilen seviyelere indirilmesi açısından en ucuz çözüm olarak belirtilmektedir. Bu çalışmada yer alan bir 2050 yılı senaryosuna göre akıllı şebekeler yıllık 0,9 Gigaton ile 2,2 Gigaton arasında bir CO2 salınımı azaltımını sağlama potansiyeline sahiptir [22]. Bu örnekten görülebileceği üzere akıllı şebekeler ve akıllı evler karbon salınımının azaltılmasında önemli bir rol oynayabilirler.

Tüketicilerin elektrik talebinin yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak karşılanmasına yönelik çalışmalar hızla artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi hem gün boyunca değişkenlik göstermekte hem de süreklilik arz etmemektedir. Bu anlamda literatürde genellikle rüzgar ve güneş enerjisinin birlikte kullanılmasının daha güvenilir bir yapı sağladığına yönelik çalışmalar çoğunluktadır. Aynı zamanda literatürde enerji sürekliliğini sağlamak amacı ile dizel jeneratörlerinin, yakıt hücrelerinin, batarya ve ultra-kapasitör kullanımı ile ilgili çalışmalar da bulunmaktadır. Batarya grubu yerine son yıllarda giderek yaygınlaşan elektrikli araçların da enerjinin depolanması amacıyla kullanılabileceği belirtilmektedir. Ayrıca akıllı şebeke sistemleri sayesinde tüketicilere ait enerji akışının şebekeden bağımsız çalışması ve şebekeye bağlanması durumları ayrı ayrı incelenebilmektedir.

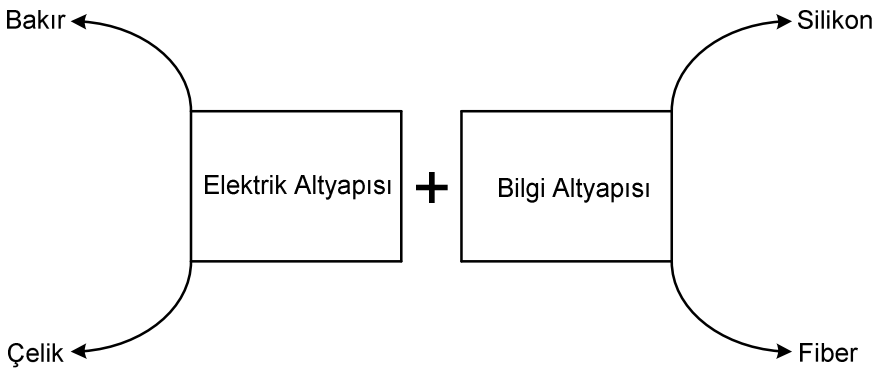
Yenilenebilir enerji kaynaklarının karakteristiklerine de uygun bir şekilde rüzgar hızı, güneş ışınımı ve bir eve ait elektriksel talep, gün boyunca dinamik olarak değişebilmektedir. Özellikle rüzgar hızı ve güneş ışınımı, bulunulan konuma göre de farklılıklar göstermektedir. Bu veriler sonucunda yeni nesil şebekelerde, tüketicilere ait yük talebi ile sıcaklık, güneş ışınımı, rüzgar hızı vb. gibi hava koşullarının sürekli olarak izlenebilmesi önem kazanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin maksimum düzeyde kullanımını bu şekilde sağlanabilmektedir. Özetlenen bu bilgilere ilave olarak, son yıllarda Dünya genelinde yaygınlaşan yasalar ve teşviklerle birlikte şebekeye enerji satışı da mümkün hale gelmiştir. Böylece üretilen ihtiyaç fazlası

enerji şebekeye geri satılarak önemli oranlarda tasarruf imkanları da elde edilebilmektedir. Kullanılan çift yönlü akıllı sayaçlar sayesinde kullanıcılar ne kadar enerji tasarrufu yaptıklarını da anlık olarak görebilmektedirler. Bunların dışında akıllı şebekelerin sağlayacağı faydalardan biri dağıtım sistemindeki arızaların gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi ve sistemde oluşacak arıza konumlarının hızlı bir şekilde tespit edilebilmesinin sağlanmasıdır. Ayrıca arıza durumlarında verilecek akıllı kararlarla tüketicilerin elektrik kesintilerinden en az şekilde etkilenebilmesinin sağlanması da diğer faydalarından birisidir. Akıllı şebekelerde koruma ve röle koordinasyonunun sağlanabilmesi aynı zamanda sistemdeki tüm rölelerin birbirleri ile iletişim halinde olmasıyla sağlanacaktır. Bu durum da akıllı şebekelerde haberleşmenin önemini ortaya koymaktadır.

1.1.1 Akıllı Şebekelerde Haberleşme Sistemleri

Akıllı şebekeler, elektrik şebekesini ve haberleşme teknolojilerini bir arada kullanarak Şekil 1.1'de gösterildiği gibi geniş bir otomatik enerji dağıtım ağı oluşturmaktadır. Geleneksel şebekeler sadece üretilen enerjiyi kullanıcılara iletmektedir. Akıllı şebekeler ise enerjiyi son kullanıcıya ulaştırmanın yanı sıra kullandığı haberleşme ve bilgi altyapısı ile birlikte ileri düzeyde çift yönlü bir enerji dağıtım ağını oluşturur [23].

Akıllı şebekelerde, iletişimi sağlamak için kablolu veya kablosuz olarak farklı haberleşme teknolojileri kullanılmaktadır. Bu haberleşme teknolojilerinin uygulandıkları yapılara, bulundukları koşullara ve maliyetlerine bağlı olarak birbirlerine göre avantajları veya dezavantajları bulunmaktadır [24].



Şekil 1.1 Elektrik ve Bilgi Altyapısının Bir Araya Getirilmesi

Akıllı şebekelerde temel olarak iki tip bilgi altyapısına gereksinim vardır. İlk gereksinim sensörler, akıllı cihaz ve donanımlardan akıllı ölçüm cihazlarına, ikincisi ise akıllı ölçerlerden veri merkezlerine olan haberleşme altyapısıdır. İlk veri akışı BPL (Broadband over Power Lines- elektrik hatları üzerinden geniş hat) üzerinden veya ZigBee, Z-wave gibi kablosuz haberleşme teknolojileri kullanılarak sağlanabilir. Akıllı sayaçlar ve veri merkezi arasındaki bilgi akışı için ise kablosuz haberleşme, hücresel ağlar, internet veya uydu kullanılarak gerçeklenebilir.

ZigBee, 2.4 GHz bandında çalışan kablosuz bir teknolojidir. Akıllı şebekeler için ZigBee'yi avantajlı kılan özelliklerden bir tanesi kolay ve düşük maliyetle entegre edilebilmesidir. Aynı zamanda kullandığı 2.4 GHz frekans bandı ücretsiz lisansa sahiptir [26]. ZigBee kullanımının avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. Kullanılan banda girişimler olabilir. Mikrodalga, ISM bandı ve Bluetooth ile aynı frekans bandını kullanır. Bunu önlemek için girişim algılama şemaları entegre edilmelidir [26,27].

Hücresel ağlar da akıllı şebekelerde kullanılabilir. Akıllı sayaçlar ve diğer düğümler arasındaki iletişim, hücresel ağ üzerinden gerçeklenebilir. Zaten günümüzde hazır kurulmuş bir hücresel ağ sistemi olduğu için yeniden bir altyapı çalışmasına gerek duyulmadan ve ekstradan bir maliyeti olmadan sistem kullanılabilir. Akıllı sayaçlardan sisteme gönderilen veri boyutları genelde fazla olduğundan yüksek veri aktarım oranları gerekmektedir. Bu da hücresel ağlar ile gerçekleştirilebilir. Akıllı şebekelerde bir diğer önemli özellik ise güvenliktir. Hücresel ağlar güvenilir veri transferi için güvenlik kontrollerine sahiptir. Gönderilen veri güvenilir bir şekilde karşı tarafa iletilebilir. Ayrıca şu anki sistemde kırsal kesimde veya diğer alanlarda hücresel ağlar geniş bir kapsama alanı sağlamaktadırlar. Akıllı şebekede haberleşme sisteminin geniş bir alanı kapsaması önemli bir etkendir. Ayrıca indirici merkezlerdeki standart haberleşme ağ ve sistemleri için geliştirilen IEC 61850 standardı da literatürde sıklıkla yer almaktadır. Bu yeni standardın sadece indirici merkezlerde değil, bütün elektrik sistemindeki tek haberleşme standardı olabileceği ve yeni bilgi modelleri eklenerek standardın kapsamının genişletilebileceği öngörülmektedir. Ayrıca IEC 61850 serisi gerçek zamanlı anlık bilgi de sunmaktadır. Bu yönüyle akıllı şebekelerde ihtiyaç duyulan kontrol ve koruma işlevlerinin yanı sıra ölçüm ve görüntüleme işlevlerine de

uygulanabilmektedir [28]. Bu şekildeki bir yapı, koruma rölesine yön bilgisinin iletilmesi ve röle gruplarının toplu olarak kontrolü gibi yaklaşımlarla daha da zenginleştirilebilir.

Hücresel ağların dezavantajı ise servis kalitesinin sürekliliğinin garanti edilememesidir. Akıllı şebekelerde veri iletimi kritik derecede önem arz etmektedir. Fakat bazı durumlarda hücresel ağ kesintiye uğramaktadır ve bu durumda akıllı şebekedeki veri iletimi de kesintiye uğrayacaktır. Hücresel ağlar, Wimax gibi teknolojilerinin yanı sıra BPL teknolojisi de sık sık gündeme gelmektedir. BPL sistemi son zamanlarda yeniden bir ivme kazanmıştır.

Radyo, kablosuz ağ ve modemlerin teknolojik ilkeleri birleştirilerek enerji hatları üzerinden 500 kbps ve 3mbps veri gönderimi gerçekleştirilmiştir. Bölgelere internet erişimi için servis sağlayıcıları bu bölgelere yeni bir kablo veya DSL altyapısını sağlamak için o bölgeye gerekli altyapıyı kurmaları gerekmektedir, fakat geniş bant güç hatları üzerinden verilebilirse, yeni bir altyapı inşa etmeye gerek kalmayacaktır. Herhangi bir yerde elektrik hatları varsa o bölgede geniş bant teknolojisi sağlanabilecektir [29,30]. Elektrik enerjisi, öncelikle güç tesisine ulaşır ardından trafoya iletilir ve sonrasında yüksek gerilim iletim hatlarına dağıtılır. Geniş bant iletimini gerçekleştirirken bu yüksek gerilim hatları ilk engeldir. Yüksek gerilim hatlarında gerilim dünyada genelde 154 kV-765 kV arasında değişir. Bu gerilim seviyesi data iletimi için uyumlu değildir ve çok gürültülüdür. Elektrik ve veri iletimi için kullanılan RF değerleri belirli frekanslarda titreşirler. Datanın noktadan noktaya iletilebilmesi için radyo spektrumunun diğer kaynaklardan müdahalesi olmaksızın iletilmesi gerekir. BPL, bu sorunu yüksek gerilim hatlarından kaçınarak atlatır. Sistem veriyi daha iyi yönetilebilir değer olan 7.200 Volt orta-gerilim hatları üzerinden gönderir [29].

Güvenlik, akıllı şebeke haberleşmesinde son derece önemlidir. Bilginin güvenli bir şekilde saklanması ve iletimi, özellikle ücretlendirme ve şebeke kontrolünde önemlidir. Gelebilecek saldırıları önlemek için güvenlik mekanizmaları geliştirilmeli ve güvenlik ile ilgili standardizasyon çalışmaları yapılmalıdır. International Electrotehnical Commision (IEC) Smart GridStandardization, IEEE Power & Energy Society (PES),National Institute Of Standarts and Technology (NIST) ve National Standart of People's Republic Of China gibi kurumlar akıllı şebekelerde güvenlik standartları üzerine çalışmaktadırlar. IEC

çalışma grubu 2008 yılında kurulmuştur. IEC smart grid standardizasyonu; güvenlik, haberleşme, dağıtım yönetimi, dağıtık enerji kaynakları, ileri ölçüm mimarisi, akıllı evler, yük yönetimi gibi birçok konuyu içermektedir. Güvenlik için oluşturulan standartlar, IEC 62351 standardı altında toplanmıştır. Bu standart, enerji sistem yönetimini ve veri iletimini kapsar. Veri ve haberleşme güvenliği alt başlıkları ve içeriği aşağıdaki tabloda gösterilmiştir [31].

Çizelge 1.1 Enerji sistem kontrol operasyonları için IEC 62351 bilgi güvenliği [32]

Standartlar	**Başlıklar**
IEC 62351– 1	Haberleşme ağı ve sistem güvenliği
IEC 62351– 2	Terimler Sözlüğü
IEC 62351– 3	TCP/IP profilleri
IEC 62351– 4	MMS profilleri
IEC 62351– 5	IEC 60870 – 5 ve türevleri
IEC 62351– 6	IEC 61850 güvenliği
IEC 62351– 7	Ağ ve sistem yönetimi veri obje modeli
IEC 62351– 8	Rol bazlı erişim kontrolleri

1.1.2 Akıllı Şebekelerde Adaptif Koruma ve Röle Koordinasyonu

Günümüzde enerji ihtiyacı dünya genelinde büyük bir oranda fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Gelişen teknoloji ve artan enerji talebi sonucu fosil yakıtların tükeneceği de bir gerçektir. Bununla birlikte fosil yakıtlar tükenmeden, atmosfere saldıkları karbon emisyonları nedeniyle dünyanın sağlıksız hava koşullarına sahip hale gelmesi de kaçınılmazdır. Fosil yakıtların bu olumsuzluklarından dolayı yenilenebilir ve sürdürülebilir olarak tanımlanan enerji kaynaklarına olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Son yıllarda elektrik enerjisi endüstrisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının daha yoğun kullanımına yönelik ve enerji verimliliğinin arttırılmasını hedefleyen çalışmalarda artış görülmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut şebekeye bağlanması ile ilgili birçok ülkenin kendine ait şebeke yönetmelikleri veya kodları bulunmaktadır. Bu yönetmeliklerin ortak yanları olduğu gibi her ülkenin kendine özgü bir şebeke yapısı, gerilim seviyesi ve kontrol sistemi mevcut olduğundan farklı yönleri de bulunmaktadır. Bu düzenlemeler, mevcut sistemin olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması ve daha verimli işletimin gerçeklenmesi adına önemlidir. Örneğin, bir yandan geleneksel elektrik enerjisi üretim sistemlerinde frekans belirli sınırlar içinde tutulurken, diğer yandan bu frekansı ciddi biçimde etkileyecek alternatif enerji kaynaklarının da kontrol edilebiliyor olması gerekir. Aynı şekilde özellikle yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimi tesislerinde, gerilim açısından da geleneksel generatörlerdeki uyartım kontrolü gibi hızlı tepki vererek düzeltici önlemlerin gerçekleştirebiliyor olması gereklidir. Eğer bu alternatif üretim tesisleri belirli bir bölgede yoğunlaşıyor ise sisteme bağlanma öncesi çalışmalarının daha detaylı incelenmesi gerekmektedir.

Literatürde yenilenebilir enerji tabanlı dağıtık üretim tesislerinin geleneksel sistemler ile entegrasyonunda akıllı şebeke konusu ortaya konulmuştur. Akıllı şebeke kavramı, sistemdeki tüm noktaların adaptif, maliyet açısından uygun, çevre ile dost, eş zamanlı çalışan, esnek, güvenilir ve her sistemle kolayca bağlanabilen bir yapıya sahip olması olarak tanımlanabilir [33].

Bahsi geçen yeni nesil akıllı güç sistemlerinde güç akışının değişen işletim koşullarına adapte olacak şekilde dinamik bir şekilde kontrol edilmediği durumlarda, büyük ölçekteki değişken bir gücün mevcut iletim ve dağıtım sisteminden alınıp yük bölgelerine ulaştırılması esnasında bazı problemler ile karşılaşılabilecektir. Yön değiştiren güç akışlarına adapte olabilen, farklı koruma selektiviteleri uygulayabilen ve oluşabilecek büyük çaplı enerji kesintilerini hissedip farklı anahtarlama davranışları sergileyebilen iletim sisteminin akıllı bir yapıda olması gerekir. Böylece, arızalar daha iyi sınırlanarak daha etkin kontrol ve korumanın gerçekleştirilmesi sağlanarak, sistem düzenleyicileri üzerindeki yük azaltılmış olacaktır. Bu açıdan, geleneksel koruma cihazlarının ötesinde akıllı şebekelere uyumlu yeni nesil koruma sistemleri geliştirilmesi ve bu yapıların güç sistemlerindeki değişken çalışma koşullarına uygun olarak adaptif bir şekilde kontrol edilmesi oldukça önemli bir husustur. Bahsi geçen adaptif koruma açısından birçok kontrol yaklaşımı kullanışlı çözümler sağlayacak potansiyele sahiptir.

Ancak özellikle sisteme ait bir matematiksel model geliştirilmesine ihtiyaç duymadan geçmişten gelen bilgi ve tecrübenin aktarılması ile oluşturulan bulanık mantık kontrolör yaklaşımı, yapay sinir ağları, genetik algoritma gibi kontrol ve optimizasyon yöntemlerinin yeni nesil güç sistemlerinin adaptif bir şekilde korunmasında kullanım açısından önemli bir potansiyele sahip olduğu öngörülmektedir [34-37].

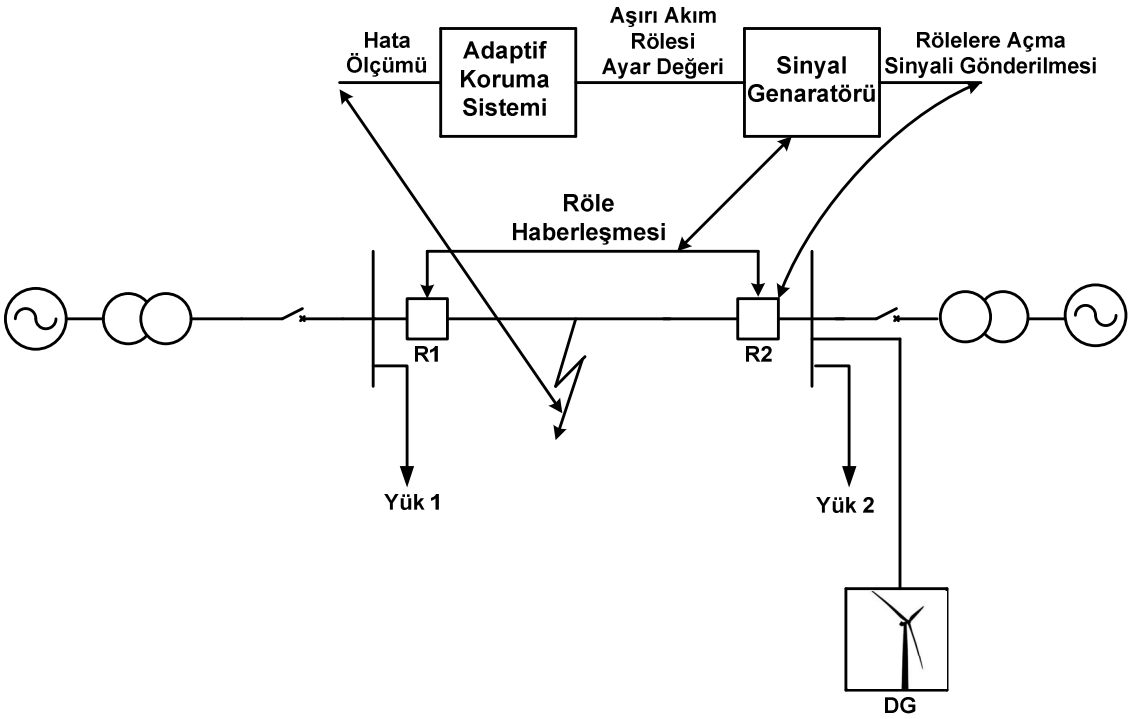
Akıllı şebeke sistemleri kapsamında geliştirilmesi hedeflenen mevcut geleneksel sistemlerde aşırı akım, mesafe vb. birçok koruma rölesi kullanılmaktadır. Özellikle aşırı akım röleleri güç sistem korumasında önemli bir kullanım alanına sahiptir. Aşırı akım rölelerinin ters zaman karakteristikleri, arıza akımı ayarlanan akım değerinden ne kadar büyük ise çalışmadaki zaman gecikmesinin o kadar kısa olması temeline dayanmaktadır. Aşırı akım rölesinin görevi, herhangi bir arızada mümkün olan en kısa zamanda devreye girerek sistemde sadece arızalı bölgenin devre dışı kalmasını ve sistemin geri kalanının bu arızadan etkilenmeden çalışmaya devam edecek şekilde seçiciliğini sağlamaktır [38-40]. İletim hatlarının korunması hususunda geliştirilen neredeyse bütün geleneksel yöntemler korunacak sisteme ait bir model üzerinden gerçekleştirilen hesaplamaları temel almaktadır. Bu durum sistem modelinin karmaşıklığından, modele ait bütün parametrelerin tam olarak bilinememesinden, işlenmesi gereken verinin büyüklüğünden ve sistemdeki farklı işletim durumlarına karşı sabit çalışma kuralları içerdiğinden dolayı korumada zorluklara yol açmaktadır (örneğin geleneksel yöntemler, değişken işletim koşullarına adapte olma ve sinyallerin belirsiz olduğunda doğru karar verme yeteneğine sahip değildirler).

Yapılan son çalışmalarda rölelerin yük değişimlerine karşı oldukça hassas oldukları ortaya konulmuştur. Böyle bir durumda aşırı akım rölesinin ayar açma akım değeri, yükün değişimine ve sistemdeki diğer rölelerden alınan arıza bilgisine göre dinamik olarak ayarlanabilir ve hızlı cevap verebilir olmalıdır [41]. Şekil 1.2'de akıllı şebeke korumasında uygulanabilecek örnek bir adaptif koruma yapısı gösterilmektedir.

Adapatif koruma ve röle koordinasyonu yaklaşımı, arıza noktasından ölçülen gerilim, akım, frekans, vb. değerlerini dikkate almakta ve buna bağlı olarak rölenin ayar akım değerini ve rölenin cevap zamanı gecikmesini belirlemektedir. Bu yapıda rölenin açma-kapama sinyalinin oluşturulması için röle ayar değeri, dinamik bir şekilde

belirlenecektir. Burada diğer mevcut rölelerin haberleşme vasıtasıyla durumlarının izlenmesi hususu da dikkate alınacaktır [42]. Bu kapsamda çalışmalarda yoğunlukla indirici merkezlerdeki standart haberleşme ağ ve sistemleri için geliştirilen IEC 61850 standardı dikkate alınmaktadır. Bu yeni standardın sadece indirici merkezlerde değil, bütün elektrik sistemindeki tek haberleşme standardı olabileceği ve yeni bilgi modelleri eklenerek standardın kapsamının genişletilebileceği görülmektedir. Ayrıca IEC 61850 serisi gerçek zamanlı anlık bilgi de sunmaktadır. Bu yönüyle akıllı şebekelerde ihtiyaç duyulan kontrol ve koruma işlevlerinin yanı sıra ölçüm ve görüntüleme işlevlerine de uygulanabilmektedir [43]. Bu şekildeki bir yapı, röleye yön bilgisinin de iletilmesi ve röle gruplarının toplu olarak kontrolü gibi yaklaşımlarla daha da zenginleştirilebilir.

Literatürde sıklıkla akıllı şebekelerde koruma ve röle koordinasyonunun verimli, hızlı ve güvenilir bir şekilde sağlanması vurgulanmaktadır. Özellikle dağıtık üretim tesislerinin güç sistemine bağlanması ile birlikte daha da karmaşık bir hal alan akıllı şebeke koruma sisteminin, tasarlanan kontrolör vasıtasıyla adaptif bir şekilde arızalara hızlı bir şekilde cevap vererek şebekede sürekliliğin ve kararlılığın sağlanması öngörülmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalarda genellikle çift taraftan besleme yapabilen bir ring şebeke ve sistemin farklı noktalarına bağlı olan dağıtık üretim tesisleri bulunmaktadır. Değişken yük gruplarının sisteme bağlı olması durumu için en uygun kaynaklardan güç akışının sağlanması ve sistem korumasının tüm çalışma koşulları (ada modu, tek ana şebekenin çalıştığı mod, vs.) dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir. Yapılan araştırmalar ve sürdürülen çalışmalar neticesinde bu şekildeki yapılarda istenilen şebeke koruması ve röle koordinasyonu adaptif olarak sağlanmalıdır.



Şekil 1.2 Akıllı şebeke koruması için örnek bir adaptif koruma yaklaşımı

Bütün bu araştırmalar ve karşılaştırmalar neticesinde, hedeflenen tez çalışmasında, geliştirilen adaptif koruma algoritması ile röleler arası haberleşme sağlanarak hem röleler arası koordinasyon hem de istenilen adaptif çalışma koşulu sağlanmış olacaktır. Kaynakların giriş ve çıkışlarına yerleştirilen röleler, arıza durumlarında kesicilere açma sinyali göndermesi için değişken sistem koşullarına adapte edilecektir. Rölelerin ayar parametreleri, akıllı şebeke sistemindeki toplam yük ve enerji akışı dikkate alınarak ayarlanacaktır. Sistemde oluşabilecek aşırı akım ve kısa devre akımlarına karşı gerekli zaman gecikmeleri de hesaplanarak röle koordinasyonu sağlanacaktır. Röleler arası haberleşme ve koordineli çalışma koşulları için tasarlanacak kontrolörün sistem koşullarına uygun bir şekilde kuralları oluşturulacaktır. Tasarlanacak adaptif koruma sisteminin hızlı, güvenilir ve sürekli olması dikkate alınacak en önemli husustur. Örneğin ada modunda dağıtık üretim tesislerinin yüklerin ihtiyaç duyduğu güç talebini karşılaması ve oluşabilecek herhangi bir arıza esnasında akıllı şebeke koruma sisteminin hemen devreye girerek gerekli röle ya da rölelerin kesicilere açma sinyali göndermesi sağlanacaktır. Diğer bir senaryoda, çift taraflı besleme yapan ring şebekeden birinin devre dışı kalması durumunda ise adaptif koruma sağlanarak yük talebinin dağıtık üretim tesisleri ve devrede olan diğer ana şebeke arasında uygun şekilde paylaşımı

sağlanacaktır. Böylece optimum çalışma koşulu sağlanarak koruma ve koordinasyon sisteminin her türlü çalışma durumuna karşı adaptasyonu gerçekleştirilmiş olacaktır. Yenilenebilir enerji katkısı da düşünülerek, yön değiştirebilecek güç akışları ve adalaşma konumları için koruma koordinasyonun alt yapısı hazırlanarak, iletişim protokolleri de gelecekteki şebeke yapısına uygun seçilecektir. Ayrıca oluşturulacak yapı, uzaktan enerji izleme ve ölçme yapısına uygun bir şekilde tasarlanarak, modern ve hızlı olmasına dikkat edilecektir. Aktif ve reaktif güç kontrolü yapabilen sistemler için şebekenin uygun noktaları ve farklı senaryoların da incelenmesi dikkate alınacaktır.

1.2 Tezin Amacı

Son yıllarda hızla artan yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik dağıtım sitemlerine orta gerilim ve alçak gerilim seviyesinde bağlanmaktadır. Tek yönlü enerji akışına göre tasarlanmış ve işletilen elektrik dağıtım şebekelerine bağlanan dağıtık üretim kaynakları, yeni problemler ortaya çıkartmaktadır. Ortaya çıkan bu problemlerin aşılması, yenilenebilir kaynaklarının yaygınlaşması bakımından da önem arz etmektedir.

Günümüzde haberleşme teknolojileri geliştirilerek birçok elektronik cihazda uygulanabilir hale gelmiştir. Bu yenilik, koruma rölelerinde de uygulanmış ve farklı haberleşme protokollerine sahip sayısal koruma rölelerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu sayede koruma röleleri daha esnek, akıllı ve üstün özelliklere sahip olmuşlardır. Sayısal koruma röleleri, sahip oldukları haberleşme imkânları sayesinde, klasik koruma sistemlerinin yetersiz kalıp hatalı çalışma yaptığı durumlar için çözümler sunabilmektedir. Koruma yaptıkları bölgedeki ekipmanların pozisyonlarından ve sistemin durumundan haberdar olarak çalışabilen koruma röleleri, mevcut koruma parametrelerini sistemin durumuna göre değiştirebilirler. Böylece koruma sistemlerini dinamik hale getirip, adaptif bir koruma sistemi olmasını sağlarlar.

Adaptif koruma sistemleri özellikle birden fazla beslenme senaryosuna sahip olan dağıtım sistemlerinde hatalı çalışmaların önüne geçmek için çözüm sunmaktadırlar. Bunun yanı sıra, mevsimsel yük değişiminin fazla olduğu, yeniden yapılandırmalara açık olan ve ihtiyaç halinde generatörlerin devreye girip çıktığı sistemlerde de adaptif koruma sistemleri kullanılabilir. Adaptif koruma sistemlerindeki koruma röleleri farklı

senaryolar için farklı ayar gruplarını kullanabilirler. Bu sayede koruma sistemi, elektrik dağıtım sisteminin durumuna en uygun koruma parametreleri ile çalışma sağlayarak güvenirliliği de arttırmış olur.

Belirtilen konularla ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Ancak yapılan çalışmalar incelendiğinde konunun bütünsel olarak ele alındığı kapsamlı bir çalışmanın olmadığı görülmektedir. Bu bağlamda yapılan tez, Akıllı Şebeke Sistemleri için adaptif koruma yapısı ve röle koordinasyonunun geliştirilmesini bütünsel olarak ele alan bir çalışmadır. Doktora çalışması öncelikle geliştirilen adaptif koruma algoritmasının literatürde pek çok çalışmada referans alınan ve nispeten daha basit bir şebeke modeli olan IEEE 4 Baralı dağıtım şebekesi test sistemi üzerinde çalıştırılmasını, ikinci aşamada ise daha geniş ve karmaşık bir şebeke modeli olan IEEE 13 Baralı dağıtım şebekesi test sistemi üzerinde gerçekleştirilmesini kapsamaktadır. Geliştirilen algoritmanın etkinliği, öncelikle 4 baralı test sitemi üzerinde çeşitli çalışma senaryoları dikkate alınarak çalıştırılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. İkinci aşamada algoritma geliştirilerek daha geniş bir şebeke modeli olan 13 baralı test sisteminde uygulanmış ve sonuçlar analiz edilerek değerlendirilmiştir. Yapılan tez; dağıtık üretim tesisi tabanlı şebekelerde adaptif koruma sistemi beklentilerini dikkate alan kapsamlı bir yapıda olması ile de literatüre katkı yapmaktadır.

1.3 Orjinal Katkı

Yenilenebilir Enerji kaynaklarının yaygınlaşması ve Akıllı Şebeke Teknolojisindeki gelişmeler beraberinde teknik, ekonomik ve sosyal yönden çok farklı alanlarda ortaya çıkan sorunlara çözüm önerileri de getirmiştir. Günümüzde özellikle yeni nesil elektrik şebekelerinde koruma sistemleri ile ilgili bilimsel çalışmalar hızla artmaktadır. Yapılan tez çalışmasında özellikle teknik problemlere çözüm önerileri sunulmuş olsa da, beraberinde geniş çalışma ve mühendislik alanlarını etkileyecek düzeyde bir bakış açısı sağlanmıştır.

Bu bağlamda tezin özgün değeri ve beklenen çıktılar şu şekilde sıralanabilir:

- Tez çalışması, gelecekte önemi daha da artacak olan akıllı şebeke sistemlerinde yenilenebilir enerji bazlı dağıtık üretim tesislerinin entegrasyonu sonrası ortaya

çıkan frekans, koruma ve röle koordinasyonu gibi problemlerinin giderilmesi için altyapı oluşturulacaktır.

- Sistemdeki değişken koşullara hızlıca adapte olabilecek yapıya sahip bir kontrol yaklaşımı geliştirilerek gelecekteki güç sistemlerinin verim, performans ve etkinliğinin arttırılmasına katkı sağlanacaktır.
- Gelecekte akıllı şebekelerde kullanılacak adaptif yapılı koruma cihazlarının endüstriyel olarak geliştirilebilmesine altyapı sağlanacak ve katkıda bulunulacaktır.
- Yeni bir teknoloji olan akıllı şebekelerde adaptif koruma hususunda tez çalışmasının da desteklendiği AB Projesi ile ülkemizde ilk kez bu kapsamda detaylı bir araştırma projesi gerçekleştirilmiştir.
- Tez; teorik çalışmalarıyla bilgi birikimine ve literatüre, benzetim ve farklı senaryo çalışmaları ile akıllı şebeke teknolojilerinin gelişimine ve genel itibariyle eğitime önemli bir katkı sağlayacaktır. Bir diğer altı çizilmesi gereken nokta da bu çalışmanın, akıllı şebeke teknolojilerinin geliştirilmesine katkı sağlama potansiyeline sahip olmasıdır. Bu tez sonucunda yenilenebilir kaynakların yaygınlaşmasının önündeki engellerden birisi olabilecek koruma probleminin etkin bir biçimde çözülmesiyle, yenilenebilir kaynakların kullanımının yaygınlaşması beklenmektedir.
- Bu alanda eksikliği hissedilen uzmanların yetişmesine katkı sağlanacaktır.

BÖLÜM 2

ELEKTRİK TESİSLERİNDE KORUMA SİSTEMİ VE TEMEL KAVRAMLAR

2.1 Korumanın Önemi

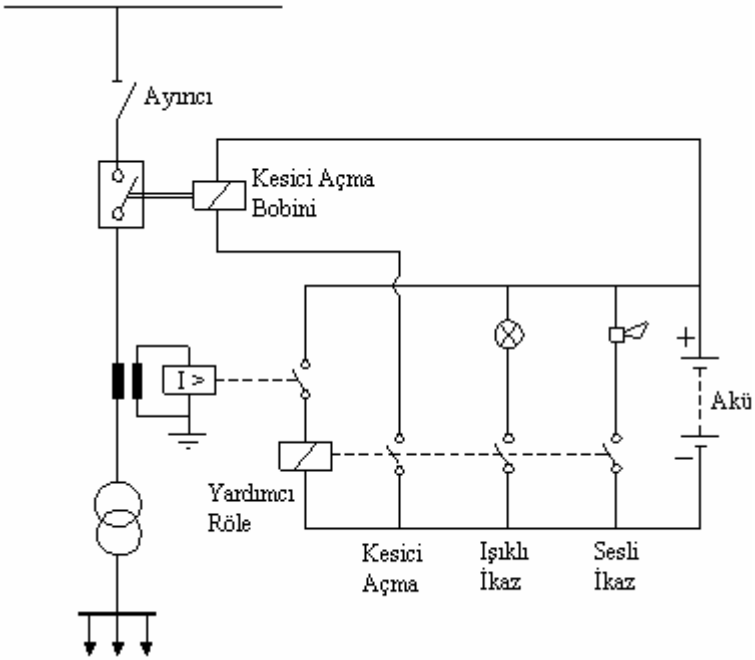
Elektrik güç sistemleri, generatör, transformatör, iletim ve dağıtım hatları, şalt tesisleri vb. kısımlardan meydana gelir. Güç sistemlerindeki bu elemanlar nominal akım ve nominal gerilimde sürekli olarak çalışacak şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Ancak aşırı akım, kısa devre, düşük gerilim, aşırı gerilim gibi güç sistem elemanlarının akım veya geriliminin olağanüstü değerler aldığı arıza durumlarında bu elemanların devre dışı edilmesi, korunması gerekmektedir. Aksi halde arızanın devam etmesine izin verilirse güç sistem elemanlarında kalıcı hasarlar oluşmasına, hatta bu elemanların kullanılmaz hale gelmesine neden olabilir. Bu nedenle koruma düzenlerinin uygun tasarlanmış olması ve her zaman çalışır durumda olması son derece önemlidir [44].

Bir orta gerilim ya da yüksek gerilim tesisinde başlıca açma–kapama elemanı kesicidir. Kesici tek başına herhangi bir koruma fonksiyonu gerçekleştiremez. Bir arıza anında arızanın varlığını saptayacak ve kesiciye açma komutu verecek elemanlar koruma röleleridir [44].

Korumanın ve koruma rölelerinin amacı, arızalı kısmın mümkün olduğu kadar kısa süre içinde sistemden ayrılmasını temin etmek için uygun kesicilere kumanda etmektir. Arızanın meydana getireceği tahribatın küçük olması için ilgili rölelerin çok süratli çalışmaları gerekmektedir [45].

2.2 Koruma Sistemini Oluşturan Elemanlar

- Kesiciler: Arızalı bölgenin akımını kesip, bu bölgeyi şebekenin geri kalan kısmından ayırmak için kullanılır.
- Ölçü transformatörleri: Koruma röleleri, ölçü aletleri ve kontrol cihazlarını elektriksel olarak yüksek gerilimden izole etmek, düşük gerilim ve düşük akım ile çalışmalarını sağlamak için kullanılırlar. Böylece personelin can güvenliğinin korunmasına katkı sağlarlar.
- Koruma röleleri: Arızayı tespit edip kesiciye açma kumandası vermek için kullanılır.
- Yardımcı elemanlar: Kesicilerin kumanda, sinyal ve alarm devrelerini besleyen bataryalar, yardımcı röleler, sesli ve ışıklı alarm cihazları yardımcı eleman olarak koruma sistemlerinde görev alır.

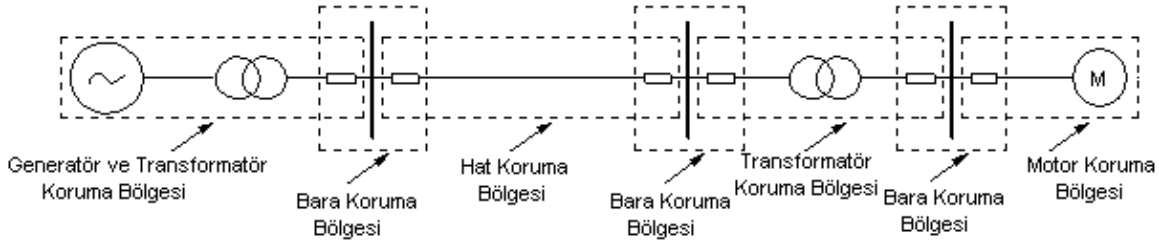


Şekil 2.1 Kesici kumanda devresi

Koruma rölesi kontağı Şekil 2.1'de görüldüğü gibi genellikle doğrudan kesici açma bobinine bağlanmaz. Bu bobinin çalışma akımın yüksek olması sebebiyle koruma rölesi kontağı oluşacak arklardan dolayı zamanla zarar görür. Bunun yerine koruma rölesi bir yardımcı röleye kumanda eder. Yardımcı röle, kontağı daha büyük akıma dayanabilecek şekilde seçilmiştir. Koruma rölesi devreye girdiği zaman yardımcı röle bobini enerjilenir.

Yardımcı rölenin kontakları konum değiştirerek kesiciye kumanda eder, ışıklı ve sesli ikaz verilmesini sağlar. Böylece koruma rölesinin kontak sayısı dolaylı olarak arttırılmış olur.

Güç sisteminde Şekil 2.2'te görüldüğü gibi her eleman için bir koruma bölgesi oluşturulur. Bazen generatör-transformatör için tek bölge olabilir. Bir bölgede arıza olduğunda öncelikle o bölgenin kesicileri açtırılır. Koruma bölgeleri kesicilerin olduğu yerde kesiştirilir. Böylece bir kesici ile iki bölge kontrol edilir [44].



Şekil 2.2 Koruma bölgeleri

2.3 Koruma Sisteminden Beklenen Özellikler

Koruma sistemlerinin görevi, işletme elemanları ile elektrik tesis ve şebekelerinde ortaya çıkan arızaları ve bunların çeşitlerini, gözlenen elektriksel büyüklükler yardımıyla çabuk ve güvenilir olarak tespit etmek ve gerektiğinde arızalı işletme elemanını (hat, transformatör, genaratör, motor vb.) devre dışı bırakarak, enerjinin mümkün olabildiğince sürekli olmasını sağlamaktır [44]. Bu görevi yerine getirmesi beklenen koruma sistemi;

1. Seçicilik,

2. Hızlı çalışma,

3. Güvenilir çalışma,

4. Yedek koruma,

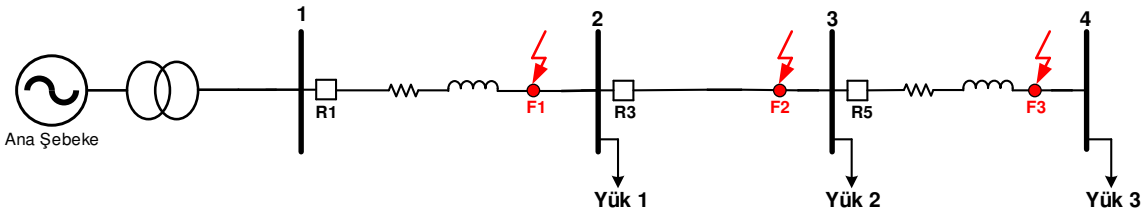
5. Ekonomik olma,

6. Kararlı olma,

özelliklerine sahip olmalıdır.

2.3.1 Seçicilik

Seçici koruma, şebekenin herhangi bir bölümünde meydana gelen arızanın, başka bir bölüme yayılmasını önlemek için sadece arızalı bölümü devreden çıkartarak, güç sistemindeki arızasız kısımların enerjisiz kalmayıp işletmeye devam edebilmesini sağlamaktır. Elektrik güç sistemlerinde, elemanlar anma güçleri seviyesinde yüklendikleri için, seçici olmayan bir koruma sisteminin yaptığı açmalar, kolaylıkla aşırı yüklenmelere ve şebekelerin çökmesine neden olmaktadır.



Şekil 2.3 Koruma sisteminde seçicilik prensibi

Örneğin Şekil 2,3'deki sistemde, F1, F2 ve F3 arızalarının meydana gelebileceği bir hat düşünülecek olursa; F3 arızası meydana geldiğinde seçicilik prensibine göre öncelikle R5 rölesi kesiciye açma sinyali meydana getirmesi gerekir. R5 rölesinin herhangi bir nedenden dolayı çalışmaması durumunda ise onun yedeği durumunda olan R3 rölesinin biraz gecikme ile devreyi arızadan temizlemesi beklenir. Son olarak R3 rölesinde de olası bir arıza meydana gelmesi durumunda bu kez diğer yedek röle olan R1 hesaplanan zaman gecikmesiyle çalışarak seçiciliğin sağlanmış olması gerekmektedir. Benzer çalışma mantığı diğer arızalardan (F2,F3) herhangi biri meydana geldiğinde de geçerlidir. Örneğin olası bir F2 arızasında öncelikle R3 rölesi çalışmalı, eğer bir sorun nedeniyle çalışmazsa onun yedeği olan R1 rölesi çalışır. F1 arızası meydana geldiğinde ise bu devre örneğine göre sadece R1 rölesi açma sinyali üreterek yükleri olumsuz bir durumundan korur ve seçicilik sağlamış olur. Bu kısım Bölüm 2.7'de daha kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır.

2.3.2 Hızlı Çalışma

Koruma sisteminin bir arıza durumda minimum zaman içinde ve arıza nedeniyle donanıma gelecek zarar da minimum olacak şekilde mümkün olduğu kadar çabuk olarak arızalı elemanı sistemden ayırma yeteneğine "koruma sisteminin hızlı çalışması" denir. Arızanın hızlı olarak temizlenmesi, arızanın büyümesini engelleyip onarım için yapılacak maddi masrafların azalmasını sağlamaktadır. Bunun yanında arızanın kısa süre içinde ortadan kalkması, iletim şebekelerindeki dinamik kararlılığın devamını sağlar.

Koruma röleleri, istenen hızda çalıştırılabilir. Burada dikkat edilecek husus, rölenin hızının ne geçici arızalarda istenmeyen açma yapacak kadar hızlı, ne de arıza esnasında zarar göreceği kadar yavaş olmasıdır. Ayrıca işletmede seçiciliğin sağlanması için, bazı durumlarda kesicilerin açma süreleri bilinçli olarak geciktirilir. Bu gecikme, hızlı çalışmanın amacına aykırı bir durum olsa da pratikte seçiciliğin sağlanması için gereklidir.

2.3.3 Güvenilir Çalışma

Bir koruma sisteminin güvenilirliği, genel olarak hatasız olarak çalışması, yanlış açmalara neden olmaması ve arıza anında çalışacağından emin olunabilmesi olarak tanımlanabilir. Sayısal olarak ise, gözleme süresince koruma sisteminin yaptığı toplam yanlış açma sayısının toplam arıza sayısına oranı, bize koruma sisteminin güvenilirliği hakkında bilgi verebilir. Bu birimsiz oran azaldıkça koruma sisteminin güvenilirliği artar.

Koruma düzenlerinde hatalı çalışma durumları üç faklı grupta toplanabilir:

- **Açma yapmama**: Arıza olmasına rağmen rölenin açma kumandası vermemesidir. Bunun sebebi rölenin arızalı olması veya rölenin yanlış ayarlanmasıdır. Ayrıca arıza olması durumunda koruma rölesi kesiciye açma kumandası vermesine rağmen mekanik arıza, açma bobininin arızalı olması vb. sebeplerle kesicinin açma yapmaması da söz konusudur.

- **Arıza halinde yanlış açma**: Rölenin yanlış ölçme yapıp, seçici olmayan bir açma işlemi yapmasıdır.

- **Gereksiz açma:** Sistemde herhangi bir arıza olmadığı halde rölenin açma kumandası vermesidir. Buna en güzel örnek, iyi ayarlanmamış bir rölenin, asenkron motorun kalkış anındaki çektiği yol alma akımını arıza akımı olarak algılayıp açma kumandası vermesidir [46].

Koruma sisteminin güvenilirliği arttırmak için aynı koruma işlemini yapan fakat çalışma metotları farklı olan iki veya daha fazla koruma düzeni kullanılabilir. Ekonomik açıdan bu yola, korunan elemanın önemi gözetilerek başvurulur. Örneğin iletim sistemlerinde kullanılan güç transformatörleri güvenilirliği arttırmak amacıyla aşırı akım rölesi, diferansiyel röle, bucholtz rölesi vb. birden fazla röle ile korunur.

2.3.4 Yedek Koruma

Koruma sisteminin güvenilirliğini arttırmak için en ekonomik yol, ana koruma görevinin dışında yedek koruma özelliğine de sahip olan koruma düzenleri kullanmaktır. Örneğin; hat korumasında bu husus aşırı akım ve mesafe rölelerinin zaman kademeleriyle gerçekleştirilir. Buna göre arıza yerine en yakın istasyondaki rölelerin açma yapmamaları halinde, bu istasyonların bir gerisinde bulunan istasyonlardaki röleler, kademelendirme planına uygun olarak bir gecikme ile açma işlemini yaparlar. Başka bir deyişle arıza yerine daha uzak olan röleler, arıza yerine daha yakın röleler için, yedek koruma vazifesi yaparlar [44].

2.3.5 Ekonomik Olma

Ekonomik olma, minimum maliyet ile maksimum koruma etkisine sahip olmaktır. Çok güvenilir olan, ancak bununla beraber çok da maliyetli olan bir koruma düzeni oluşturmak ideal bir mühendislik çözümü olmayacaktır. Bunun yanında maliyeti son derece düşük, güvenilirliği az bir koruma sisteminin, yanlış çalışmasından ötürü meydana getirdiği zararların, bu sistemi ekonomik olmaktan çıkaracağı da göz önüne

alınmalıdır. Kısacası koruma sistemleri tasarlanırken ekonomiklikle güvenirlik arasında bir optimizasyon yapılmalıdır.

2.3.6 Kararlı Olma

Koruma sisteminin kendi koruma bölgesi dışındaki arızalarda, kumanda vermeden sistemde kalması gerekir. Böylece öngörüldüğü şekilde ve kararlı bir biçimde sistem koruması sağlanarak olası arıza durumları problemsiz ya da en az sorunla ortadan kaldırılmış olur [47].

2.4 Koruma Röleleri

2.4.1 Rölenin Tanımı ve Temel Kavramlar

Koruma röleleri, giriş uçlarındaki elektriksel büyüklüklere bağlı olarak çıkış uçlarındaki bir elektrik devresine kontakları ile kumanda eden koruma elemanlarıdır. Bir arıza durumunda rölelerin çalışma işlemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Hatanın tesbiti ve faaliyete geçme,

2. Hata çeşidinin belirlenmesi,

3. Gecikme (öngörülmüşse),

4. Açma kumandası verme,

5. Sükûnet konumuna geri dönmesidir.

Bu sıraya göre hata ortaya çıktığı anda rölenin çalışmaya başlaması gerekir. Bu sırada hatayı belirleyen kriter ve ölçü büyüklükleri tesbit edilir. Bu büyüklüklerle hatalı iletkenin bulunması da mümkündür. Eğer açma işlemi için bir gecikme öngörülmüşse bu sürenin geçmesi beklenir. Daha sonrada açma kumandası verilerek güç anahtarının açması sağlanır. Açma işlemi sonunda korunan elektrik devresi enerjisiz kaldığı için röle girişindeki elektriksel büyüklükler eşik değerin altında kalacağı için koruma röleleri sükûnet konumuna geri döner.

Kontrol edilmek istenen elektriksel büyüklüklerin, koruma rölelerine doğrudan veya bir gerilim ya da akım ölçü transformatörü üzerinden uygulanmasına göre röleler primer ve sekonder röleler olmak üzere ikiye ayrılır. Primer röleler, elektriksel büyüklüklerin

röle girişlerine doğrudan doğruya uygulandığı rölelerdir. Fakat alçak gerilim sistemleri dışında tercih edilmemektedir. Elektriksel büyüklüklerin ölçü transformatörleri üzerinden uygulandığı rölelere sekonder röleler denir.

2.4.2 Yapısına Göre Röleler

Röleler yapılarına göre 3 kategoride ayrılmaktadır. Bunlar aşağıda özetlendiği gibi elektromekanik, statik ve sayısal rölelerdir.

2.4.2.1 Elektromekanik Röleler

Koruma röleleri genel olarak yapılarına, gerçekleştirdikleri fonksiyonlarına ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılır. Röleler yapılış şekillerine göre elektromekanik, yarı iletken (statik) ve sayısal (nümerik) olmak üzere üç gruba ayrılır. Ölçülen büyüklüğün rölenin demir çekirdeği üzerine etki ettiği F kuvvetini bir mekanik kuvvetle (örneğin yay kuvveti) karşılaştıran elektromekanik röleler sağlam ve ucuzdurlar ancak bu rölelerin, konusunda uzmanlaşmış personel tarafından düzenli olarak bakım ve kontrollerinin yapılması gerekir. Ayrıca elektromekanik rölelerin tasarımı, elde edilen karakteristiklere, ayarlara ve yük kapasitelerine göre sınırlıdır. Buna karşın statik rölelerde, lojik kapıların yanısıra, analog devrelerde vardır ve bu röleler yardımıyla istenen çıkış karakteristiği elde edilebilir. Ayrıca statik röleler; elektromekanik (konvensiyonel) rölelerden daha küçük, hızlı ve güvenli yapılabilir. Statik röleler mekaniki darbelere karşı dayanıklı ve çok az bakım gerektirecek şekilde imal etmek mümkündür. Ayrıca bu röleler yüksek duyarlıkları sebebiyle daha küçük güçteki akım transformatörlerinin kullanılmasına ve daha gelişmiş karakteristiklerin elde edilmesine imkân sağlar. Tam statik röleler elektromekanik rölelerin aksine, herhangi bir kontağın herhangi bir fiziksel hareketi olmaksızın elektronik elemanların yalıtım durumundan iletim durumuna geçmesiyle ya da bunun tersiyle devrede bir anahtarlama etkisi meydana getirirler. Anahtarlama etkisinin meydana gelmesinde, bir kontağın açılması veya kapanması gibi fiziksel bir hareket olmadığı için statik rölelerin ölçü transformatörlerinden gelen herhangi bir hata bilgisine karşı cevap süresi elektromekanik rölelere göre çok kısadır.

Nümerik röleler ise kullanılan mikroişlemci teknolojisi sayesinde sayısal ölçme tekniklerini kullanarak diğer iki tip röleden hem daha güvenli ve emniyetli hem de kullanımı daha kolaydır. Sayısal ölçüm teknikleri daha büyük ölçüm doğruluğunu sağlar ve hatalara karşı kararlı bir şekilde korumayı gerçekleştirir. Elektromekanik koruma teknolojisinde kullanılan birçok ek (yardımcı) fonksiyonlar, dijital koruma teknolojisinde tek bir teçhizatta meydana getirilmiştir. Böylelikle donanım yapısı elektromekanik röleden çok daha küçüktür. Elektromekanik rölenin personel tarafından sık sık kontrol edilmesi gerekirken nümerik koruma rölesinin kendi kontrolü sayesinde bakım masrafları da oldukça düşürülmektedir. Herhangi bir hata bilgisine karşı cevap süresi elektromekanik röleye göre çok daha kısadır.

Elektromekanik röleler; elektromagnetik röleler, magnetik indüksiyon röleleri, termik röle ve magnetik amplifikatörlü röleler olmak üzere dört kısımda incelenebilir.

Elektromagnetik röleler

1. Dalgıç armatürlü röleler
2. Menteşe armatürlü röleler
3. Polarize röleler
4. Terazi kollu röleler

Magnetik indüksiyon röleler

1. Disk tipi indüksiyon röleleri
2. Silindir tipi indüksiyon röleleri

olarak kendi içinde gruplara ayrılmıştır.

2.4.2.2 Statik Röleler

Koruma sistemlerinde elektromekanik rölelerden sonra kullanılmaya başlanan diğer röle tipi, statik olanlardır. Statik röleler yarı iletken elektronik malzemelerden oluştuğundan bu tip rölelere elektronik röleler adı da verilmektedir. Statik rölelerin avantajları aşağıdaki gibidir:

1- Statik rölelerin çalışması için gereken güç, yardımcı bir kaynaktan sağlanır. Bu nedenle bu tip röleler akım ve gerilim transformatörlerini daha az yüklerler.

2- Çalışma hızları elektromekanik rölelere göre daha yüksek olup ömürleri de daha uzundur.

3- Statik rölelerde hareketli parçalar bulunmadığı için mekanik eylemsizlik yoktur ve hızlı açma-kapama yapan kontaklardan dolayı meydana gelen parazitler oluşmamaktadır. Ayrıca mekanik rölelerdeki gibi hareketli parçaların sürtünmesi ve teması sebebiyle aşınma olmaz bu nedenle daha az bakıma ihtiyaçları vardır.

4- Rölenin geri dönüş (reset) hızı elektromekanik tipe göre çok kısadır.

5- Rölenin ölçme kısmına gelen korunacak olan akım ve gerilim değerleri çok küçük olsa bile amplifikatör devreleri yardımıyla bunlar kolaylıkla kuvvetlendirilebilir, bu nedenle daha yüksek duyarlılık elde edilebilir.

6- Statik rölelerde temel karakteristiklere sahip birçok devre birleştirilerek istenen ideal karakteristiğe çok yakın bir karakteristik elde etmek mümkündür.

7- Yarı iletken elemanlardan oluşan ölçme devrelerinin enerji ihtiyacının düşük olması nedeniyle röle boyutları daha küçüktür.

2.4.2.3 Nümerik (Sayısal) Röleler

Elektromekanik ve statik rölelerden sonra son yıllarda elektrik tesislerinde kullanılmaya başlanan diğer bir röle tipi ise, mikroişlemcilerle donatılan nümerik (sayısal) rölelerdir. Gerek elektromekanik gerekse statik röleler analog çalışan koruma röleleridir, yani analog olarak ölçülen büyüklükler, ayar büyüklükleri ile yine analog olarak karşılaştırılmaktadır. Mikroişlemci tekniğinde ise sayısal ölçme tekniğinden yararlanılır. Ölçü büyüklüklerinden alınan ani değerler analog-dijital çeviriciler ile dönüştürülmekte, hafızaya yerleştirilmiş bir programa göre işlem görmekte ve bu işlem sonunda varılan açma veya açma yapmama kararına göre dijital - analog çeviriciler üzerinden kumanda verilmektedir. Sayısal ölçme tekniğinin kullanımıyla diğer tip rölelere nazaran güvenlik, emniyet ve kullanıcıya kullanım kolaylığı sağlayan fonksiyonların artırılması avantajlardan bazılarıdır. Elektromekanik koruma röleleri tek tek koruma modüllerinin birleşmesiyle meydana getirilirken, mikroişlemci tabanlı sayısal rölelerde ise tek bir donanım içinde birden fazla koruma fonksiyonları yerine getirilebilir. Sayısal rölelerin bir başka avantajı da yapısında bulunan haberleşme terminalleri vasıtasıyla diğer

sayısal rölelerle haberleşme yeteneğinin olmasıdır. Bu terminaller vasıtasıyla sayısal rölelere dışarıdan bir PC yardımıyla müdahale edilebilir ve koruma rölesinin çok uzakta olan bir merkezle haberleşmesi sağlanabilir. Bu durum kullanıcılara kolaylık sağlamaktadır. Dikkat çeken diğer bir husus mikroişlemcili teknoloji sayesinde sayısal rölelerin kullanıcılara olduğu kadar üreticilere de büyük kolaylık sağlamasıdır. Mikroişlemci yazılımlarında yapılan küçük bir değişiklik sonucu cihazların işlevleri kolayca arttırılabilir. Sayısal röleler ile analog röleler arasındaki farklar aşağıda sayısal ve analog mesafe röleleri örneği üzerinde ayrıntılı olarak verilmiştir:

1- Sayısal mesafe rölesi tek bir donanım içerisinde birden fazla koruma fonksiyonunu yerine getirebilir. Oysaki elektromekanik mesafe rölesi bu fonksiyonları gerçekleştirebilmek için ek ekipmanlara ihtiyaç duyar. Bunun sonucu olarak da sayısal mesafe rölesinin bir pano içerisinde kapladığı alan mekanik mesafe rölesine göre daha azdır.

2- Sayısal mesafe rölesi yapısında bulunan seri haberleşme terminalleri vasıtasıyla diğer sayısal sistemlerle haberleşebilir. Bu terminaller sayesinde röleye bir PC yardımıyla dışarıdan müdahale edilebilir ve rölenin kendisinden çok uzakta olan bir merkezle haberleşmesi sağlanabilir. Böylece sayısal mesafe röleleri otomasyona yönelik olarak rahatlıkla kullanılabilir.

3- Sayısal mesafe rölesinin yapısında bulunan mikroişlemcinin yazılımını değiştirmek suretiyle röleye ek fonksiyonlar kazandırılabilirken elektromekanik mesafe rölesinde böyle bir olanak söz konusu değildir.

4- Herhangi bir arıza durumunda sayısal mesafe rölesinin minimum açtırma zamanı, mekanik rölelere göre daha kısadır. Bunun sonucu olarak sayısal mesafe rölelerinde seçicilik fazla, arızaların temizlik süresinin de daha kısa olduğu söylenebilir.

5- Elektromekanik mesafe rölesi yapısında çok fazla eleman bulundurması nedeniyle sayısal mesafe rölesine göre hem akım devresinde hem de gerilim devresinde daha fazla güç harcar.

6- Sayısal mesafe rölesinin ayar hesabı yapılırken reaktans, faz-toprak direnci ve faz-faz direnç değerleri ayrı ayrı hesaplanır. Elektromekanik mesafe rölesinde ise yalnızca reaktans değerleri belirlenir. Sayısal mesafe rölesinde hesaplanan

değerlerin çokluğu rölenin ölçüm duyarlılığını arttırır.

7- Sayısal mesafe rölelerinde, harmoniklerin etkisini önlemek amacıyla filtreler yer almaktadır.

8- Sayısal mesafe röleleri, herhangi bir arıza durumunda, arıza öncesi ve arıza anında akımı, gerilimleri kaydeden; sürekli hesap yapan ve geçici olmayan bir hafızaya sahiptir.

9- Sayısal mesafe rölesinin mekanik mesafe rölesine göre en önemli avantajlarından biri de rölenin devamlı kendi kendini kontrolüdür. Rölenin sürekli olarak kendi yazılımını ve donanımını kontrolü, bakım maliyetlerini azaltarak önemli bir avantaj sağlar. Röle arızalı olduğunda kontağı vasıtasıyla dışarıya ihbar verir.

10- Sayısal mesafe rölesinde mikroişlemci teknolojisinden yararlanılarak güvenilirlik ve ölçüm doğruluğu arttırılmıştır.

11- Sayısal mesafe rölelerinin elektrik dayanımı elektromekanik mesafe rölelerine göre daha fazladır.

12- Sayısal mesafe rölesi, zaman ayarları açısından da mekanik mesafe rölesine göre daha geniş bir toleransa sahiptir.

13- Sayısal mesafe rölesinde menü-tabanlı çalışmanın sonucu olarak basit ve güvenilir kullanım söz konusudur. Sayısal mesafe rölesinin sahip olduğu LCD ekran sayesinde arıza olayı ile ilgili mesajlar, arıza değerleri rahatlıkla izlenebilir. Bu değerler PC ile beraber kullanılan bir yazıcı vasıtasıyla kolaylıkla kâğıda aktarılabilir.

14- Sayısal mesafe rölelerinde empedans, aşırı akım, düşük empedans v.b. başlatma seçeneklerinin bulunması nedeniyle istenen çalışma karakteristikleri rahatlıkla elde edilebilir. Ayrıca sayısal mesafe rölesi, aşırı akım rölesi gibi de görev yapar. Mekanik mesafe rölesinde ise bu görev için ek olarak aşırı akım röleleri bulunmaktadır. Mekanik mesafe röleleri içinde bulunan ek teçhizatların çokluğu nedeniyle sayısal rölelere göre hem daha fazla yer kaplar. Herbir ilave koruma fonksiyonu için yeni bir teçhizat gerektiğinden ek maliyetler ortaya çıkar.

2.4.2.4 Yapılarına Göre Rölelerin Karşılaştırılması

Gelişen teknoloji ile rölelerde analog teknoloji tercih edilmemeye başlanmıştır. Bunun nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Analog rölelerde kalibrasyona ihtiyaç duyulurken, dijital rölelerde buna ihtiyaç yoktur.
2. Analog rölelerde seçicilik ayarı yapmak zor iken, dijital rölelerde seçicilik kolaylıkla uygulanabilmektedir.
3. Dijital rölelerde tek bir donanım içerisinde birden fazla koruma fonksiyonunu barındırabilirken, analog rölelerde bu fonksiyonu gerçekleştirmek için ek donanıma ihtiyaç vardır. Bu da analog rölelerin panolarda kapladığı alanı arttırmaktadır.
4. Dijital rölelerin arızayı temizle süresi analog rölelere göre daha kısadır.
5. Dijital rölelerde bulunan haberleşme portlarıyla haberleşme imkânı vardır. Bu portlar sayesinde, bilgisayarlar üzerinden röleye dışarıdan müdahale edilebilir. Ayrıca, bu haberleşmeyle koruma ve ölçüm bilgileri bir üst kademeye aktarılabilir.
6. Dijital rölelerde bulunan LCD ekran sayesinde arıza ile ilgili detaylı bilgi elde edilip, kayıt altına alınabilir. Bu da gelecekte oluşabilecek muhtemel arızalara karşı nasıl önlem alınması gerektiği konusunda fikir sahibi olmamızı sağlar.
7. Dijital rölelerin elektrik dayanımları, analog rölelere karşı daha fazladır ve harmoniklerden etkilenmemeleri için filtrelere sahiptirler.

2.4.3 Devreye Bağlanışlarına Göre Röleler

2.4.3.1 Primer Röleler

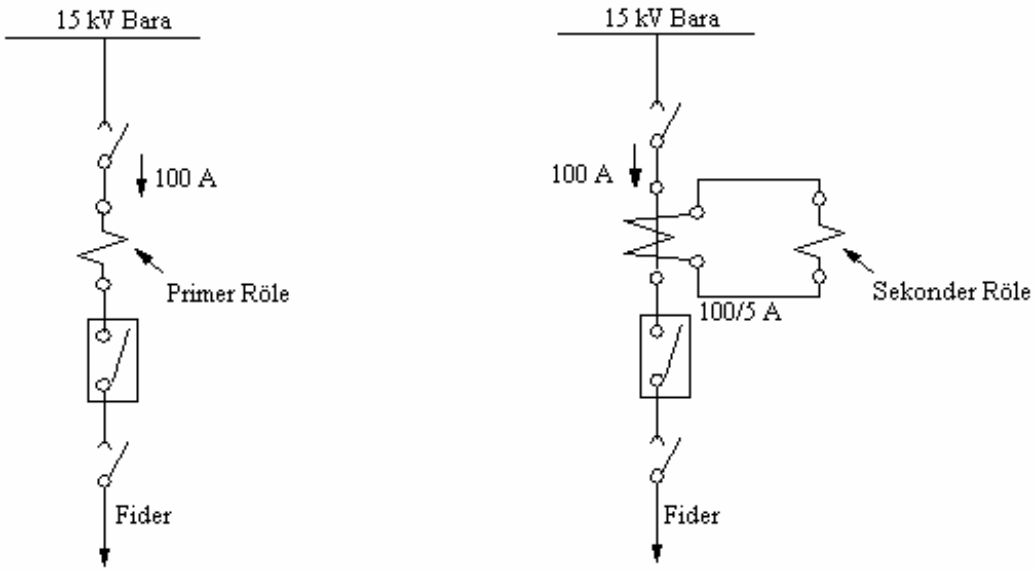
Devreye doğrudan bağlanan röleye primer röle denir. Primer röleler ucuz ve basit olmaları sebebiyle alçak gerilim tesislerinde çok kullanılmalarına rağmen orta gerilimde sınırlı şekilde ve sadece aşırı akım rölesi olarak kullanılmaktadır. Yüksek gerilimde primer röle kullanılmaz. Primer rölede bakım, ayar vb. çalışma yapılacağı zaman mutlaka devrenin kesilmesi gerekmektedir. Bu durum primer röle kullanılması açısından sakınca oluşturmaktadır.

2.4.3.2 Sekonder Röleler

Devreye bir ölçü transformatörü üzerinden bağlanan rölelerdir. Sekonder röleler ölçü transformatörünün sekonderine bağlanırlar. Ölçü transformatörü akımı veya gerilimi düşürmek ve koruma rölesini yüksek gerilim sisteminden elektriksel olarak ayırmak için kullanılır. Alçak gerilimde de akım değeri yüksek ise koruma röleleri ve ölçü aletleri devreye akım transformatörü üzerinden bağlanırlar. Sekonder rölelerin kullanılması durumunda kesiciyi açmadan (gerilimi kesmeden) rölede ayar ve bakım yapılabilir. Sekonder rölelerin kullanılmasının üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

1. Yüksek gerilim koruma düzeneklerinden ayrılmıştır. Dolayısıyla röleler ana akım devresinin manyetik tesiri ile termik ve dinamik zorlanmalardan korunmuş olur.
2. Ana akım devresini kesmeden rölenin ayarlarının değiştirilmesi veya bağlantılarının yapılması ve muayene edilmesi mümkündür.
3. Sekonder ölçü büyüklükleri küçük değerli olduğundan bu röleler primer rölelere göre daha ucuzdur.
4. Bu rölelere daha hassas elemanlar bağlanarak ölçü doğruluğu artırılabilir.

Şekil 2.4'te primer ve sekonder rölenin devreye bağlanma şekli gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Primer ve Sekonder Röle

2.5 Koruma Rölelerini Tanımlayan Kodlar

Koruma sistemlerinde kullanılan simge ve terimler oldukça önemli olmakla birlikte belli standartlara göre sıralanmaktadır. Koruma sistemlerinde numaralandırılmış bir şekilde verilen kodlara ANSI kodu, simgesel olarak karşılıklarına ise IEC 60617 kodu tanımı yapılmaktadır. Tüm koruma terimlerine ait kod isimleri Çizelge 2.1'de verilmektedir.

Çizelge 2.1 Koruma Kodları ve Açıklaması

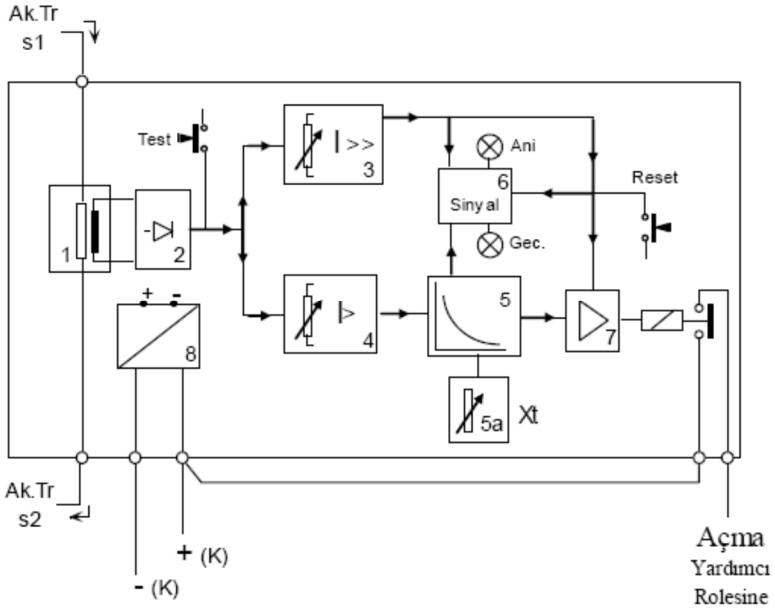
ANSI Kodu	Açıklama	IEC 60617
14	Kilitli Rotor	
21	Mesafe Koruma	Z<
21FL	Arıza Yer Tespiti	
21N	Mesafe Toprak Koruma	
24	Aşırı Akı Koruma	U/f>
25	Senkronlama - Senkronlama Denetim	SYNC
27	Düşük Gerilim Koruma	U<
27/34	Stator Toprak Arızası 3. Harmonik	
32	Yönlü Güç	P→
32F	İleri Yönde Güç	
32R	Ters Yönde Güç	
37	Düşük Akım / Güç İzleme	I<
40	Alan Kaybı	X<
46	Negatif Bileşen (faz dengesi) akım koruma	I_2>
47	Faz Dengesi Gerilim Koruma	U_2>
48	Motor Kalkış Zamanı İzleme	Is^2t,n<
49	Isıl Aşırı Yük Koruma	$^{3}\theta$
49R	Rotor Isıl Koruma	
49S	Stator Isıl Koruma	
50	Ani Aşırı Akım	
50BF	Kesici Arıza Koruma	
50N	Ani Aşırı Akım Toprak Kaçağı	I_0>
50Ns	Ani Aşırı Akım Duyarlı Toprak Kaçağı	
51	Zamanlı Aşırı Akım	I>
51GN	Sıfır hız ve düşük hız	
51N	Zamanlı Aşırı Akım Toprak Kaçağı	I_0>
51V	Gerilim Denetimli Aşırı Akım Koruma	
52	Kesici (Disjonktör)	
59	Aşırı Gerilim Koruma	U>
59GN	Stator Toprak Kaçağı Koruma	
59N	3V0 Toprak Kaçağı Koruma	
64	%100 Stator Toprak Arızası Koruma (20Hz)	
64R	Rotor Toprak Kaçağı	
67	Yönlü Aşırı Akım Koruma	I>→
67G	Stator Toprak Kaçağı Yönlü Aşırı Akım	
67N	Yönlü Aşırı Akım Toprak Kaçağı	
67Ns	Yönlü Aşırı Akım Duyarlı Toprak Kaçağı	
68	Güç Dalgalanması Tespiti	I_2>
74TC	Açma Devresi Denetimi	
78	Başlatmayı Engelleme	
79	Otomatik Tekrar Kapama	0→1
81	Frekans Koruma	f
81R	Frekans Değişim Oranı Koruma	
85	Taşıyıcı Arayüz / Uzaktan Kumanda	
86	Kilitleme	

ANSI Kodu	Açıklama	IEC 60617
87BB	Bara Diferansiyel (Fark) Koruma	ΔI>
87G	Generatör Diferansiyel (Fark) Koruma	
87L	Hat Diferansiyel (Fark) Koruma	
87M	Motor Diferansiyel (Fark) Koruma	
87N	Kısıtlı Toprak Kaçağı Koruma	
87T	Transformatör Diferansiyel (Fark) Koruma	
94	Açma	

2.6 Aşırı Akım Rölesi

2.6.1 Koruma İlkesi

Akım transformatörlerinin çevirme oranlarına bağlı olarak sekonderden geçen akımın aşırı akım rölesine uygulanması aşırı akım korumasının prensibini oluşturur. Röleden geçen bu sekonder akımın değeri rölenin ayar değerini aştığında kapanan kontağı üzerinden bir yardımcı röle enerjilendirilir. Sonrasında yardımcı rölenin kapanan kontağı kesicinin açma bobinini enerjiler ve kesici tetiklenmiş olur. Bu şekilde koruma sistemi amacına uygun şekilde sağlanmış olur. Korumanın hangi süre gecikme ile veya gecikmesiz olarak gerçekleşeceği aşırı akım rölesinde yapılan ayarlarla ilgilidir [48]. Tüm aşırı akım rölelerin yapısı üretici firma ve tiplerine göre küçük farklar gösterse de çalışma ilkeleri benzerdir. Akım-zaman karakteristikleri sabit ve ters zamanlı olarak farklı tipteki üretimlerin çalışma prensipleri yönünden tek fark, açma zamanı ayar bölümüdür. Şekil 2.5'te tek fazlı bir aşırı akım rölesinin blok şeması görülmektedir.



Şekil 2.5 Tek fazlı aşırı akım rölesinin blok diyagramı [48]

Şekil 2.5'teki elemanlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Özel (Yardımcı) Akım Transformatörü: Akım transformatörü primer devre akım transformatörlerinin sekonderinden aldığı akım bilgilerini, bu akımla orantılı alternatif akıma dönüştürür. Ayrıca ana devre akım transformatörleri ile röle, elektronik devreler arasında izolasyon sağlayama görevi de yapmaktadır.

2. Doğrultucu: Kendisine gelen akım bilgisini doğrultarak ve filtre ederek akım ayar ve karşılaştırma devrelerine aktarır.

3. Ani Açma Akım Ayarı ve Karşılaştırma Devresi (I>>): Ani açma için bu bölümde yapılmış olan akım ayar değerini, gelen akım bilgisi ile karşılaştırır ve gelen akım bilgisi değerinin ayar değerini aşması halinde komut sinyalini 7 nolu açtırma devresine gönderir. Ayrıca 6 nolu sinyal devresi de uyarılır.

4. Gecikmeli Açma Akım Ayar ve Karşılaştırma Devresi (I>): Gecikmeli açma için bu bölümde yapılmış olan akım ayar değerini, gelen akım bilgisi ile karşılaştırır ve gelen akım bilgisinin ayarlanmış akım değerini aşması halinde bu akım bilgisini 5 nolu açma zamanı ayar bölümüne aktarır.

5. Zaman Ayar ve Değerlendirme Devresi (t (s)) : Akım ayar değerinin kendisine uygulanması halinde bu bölümde yapılan açma gecikme süresi sonunda bir komut sinyalini 7 nolu açtırma devresine gönderir.

6. Sinyal Devresi: Ani veya gecikmeli açma devreleri tarafından bu devrenin uyarılması halinde uyarıldığı devre ile ilgili sinyal lambasını yakar. Reset butonuna basılıncaya kadar arıza son bulsa bile lamba yanmaya devam eder.
7. Açtırma Devresi: 3 ve 5 nolu devrelerden bu devreye aktarılan açma komut sinyali bu devreyi enerjiler. Enerjilenen bu devre açtırma bobinin çektirir. Bobine bağlı kontağın bir ucunda bekletilen DA yardımcı röleyi enerjiler ve kesicinin açılmasını sağlanır.
8. Yardımcı Besleme Devreleri: Röle için gerekli beslemenin temin edildiği devredir. Röleler genellikle 24, 48, 110 V doğru gerilimlerde üretilirler.

Test butonu gerektiğinde rölenin denetlenmesi amacıyla kullanılan bir butondur. Ancak, bu butonun kullanılması sonucu kesici açtırılmış olacağından, bu testin uygun

zamanlarda, örneğin merkezi bakım sırasında kullanılması gerekir. “Reset” butonu ise hata akımı algılanması sonucu yanan sinyal lambalarını söndürmek için kullanılan butondur.

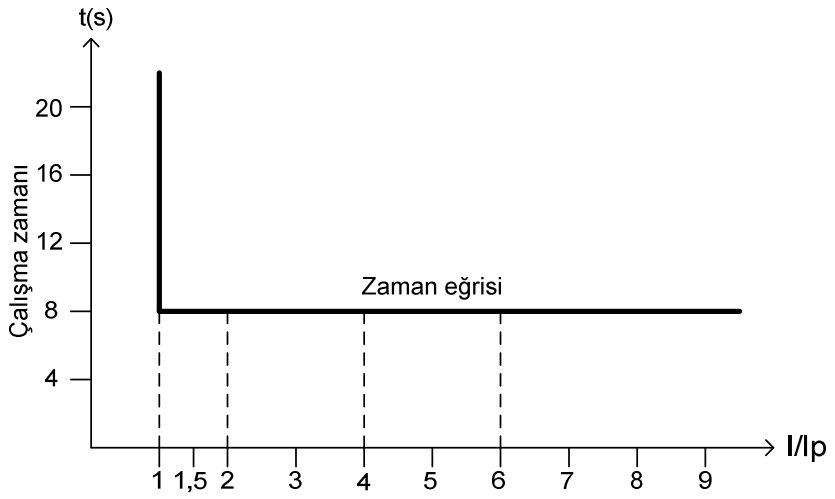
2.6.2 Aşırı Akım Rölelerinin Karakteristikleri

Aşırı akım röleleri aşağıda verilen iki temel karakteristikten en az birine sahiptir.

1. Bağımsız Karakteristik (Sabit Zamanlı)
2. Bağımlı Karakteristik (Ters Zamanlı)

2.6.3 Bağımsız Karakteristik

Açma zamanı sabit olup akım değerinden ve arıza noktasının uzaklığından bağımsızdır. Şekil 2.6’te gösterilen bu karakteristik kısa devre arızalarına karşı korumada kullanılır.



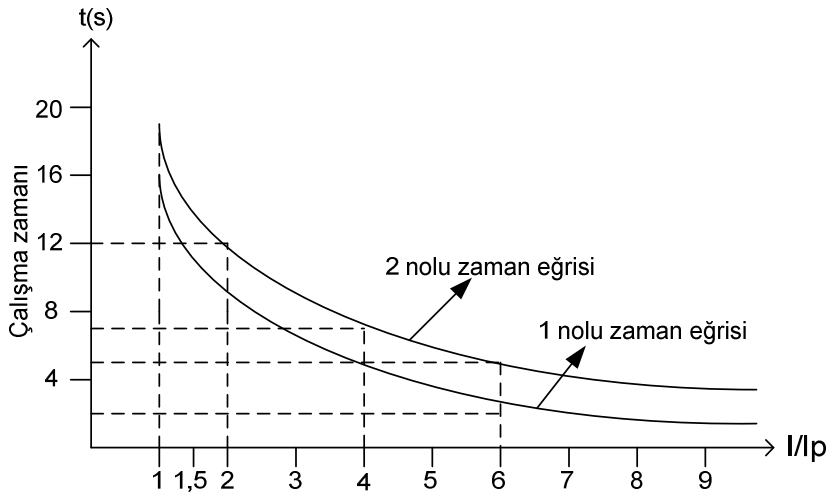
Şekil 2.6 Bağımsız karakteristik

Ip : Rölenin ayarlandığı çalışma akımı

I : Röleden geçen arıza (kısa devre) akımı

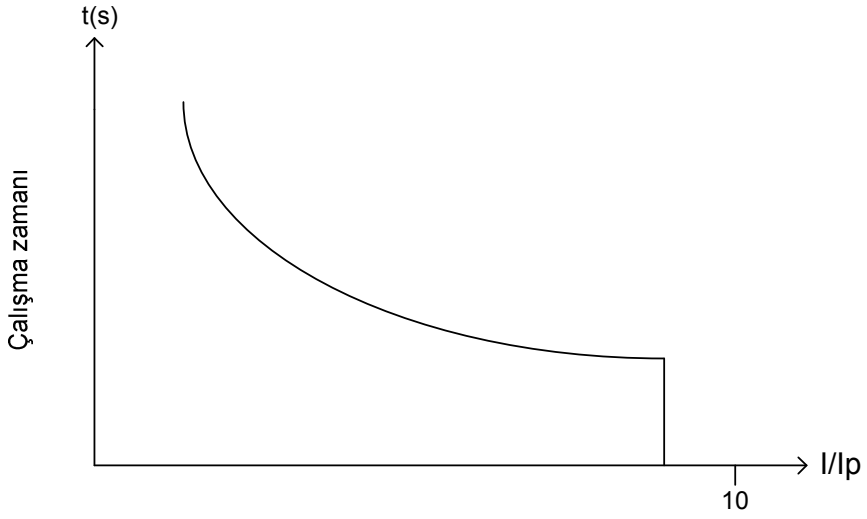
2.6.4 Bağımlı Karakteristik

Bu tip karakteristiklerde açma zaman gecikmesi sabit olmayıp akım değerinin (I/Ip) ve zaman çarpanının (Tp) bir fonksiyonudur. Avantajı, akım değeri büyüdükçe açma zamanının kısalmasıdır. Şekil 2.7’da bağımlı karakteristiğin grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Bağımlı Karakteristik

Bazı işletme şartlarında Şekil 2.8'deki gibi çalıştırıcı büyüklüğün belirli bir değerine kadar ters zamanlı bir karakteristik belirli değerden sonra ani çalışması istenir.



Şekil 2.8 Ani elemanlı ters zaman rölesi çalışma karakteristiği

Günümüzde kullanılan mikroişlemcili röleler çok sayıda bağımlı karakteristik tipi arasından ihtiyaca göre seçim yapma imkânı sunmaktadır. Bu fonksiyonun normal ters (NI), çok ters (VI), ekstra ters (EI) karakteristikleri için geçerli matematiksel tanımlar; sırasıyla aşağıda örnek olarak verilmiştir.

$$\boldsymbol{NI}: \quad t_{NI} = [0.14/(\left(\frac{I}{I_P}\right)^{0.02} - 1)] * T_P \tag{2.1}$$

$$\boldsymbol{VI}: \quad t_{VI} = [\frac{13.5}{\frac{I}{I_P}} - 1)] * T_P \tag{2.2}$$

$$\boldsymbol{EI}: \quad t_{EI} = [80/(\left(\frac{I}{I_P}\right)^2 - 1)] * T_P \tag{2.3}$$

Burada,

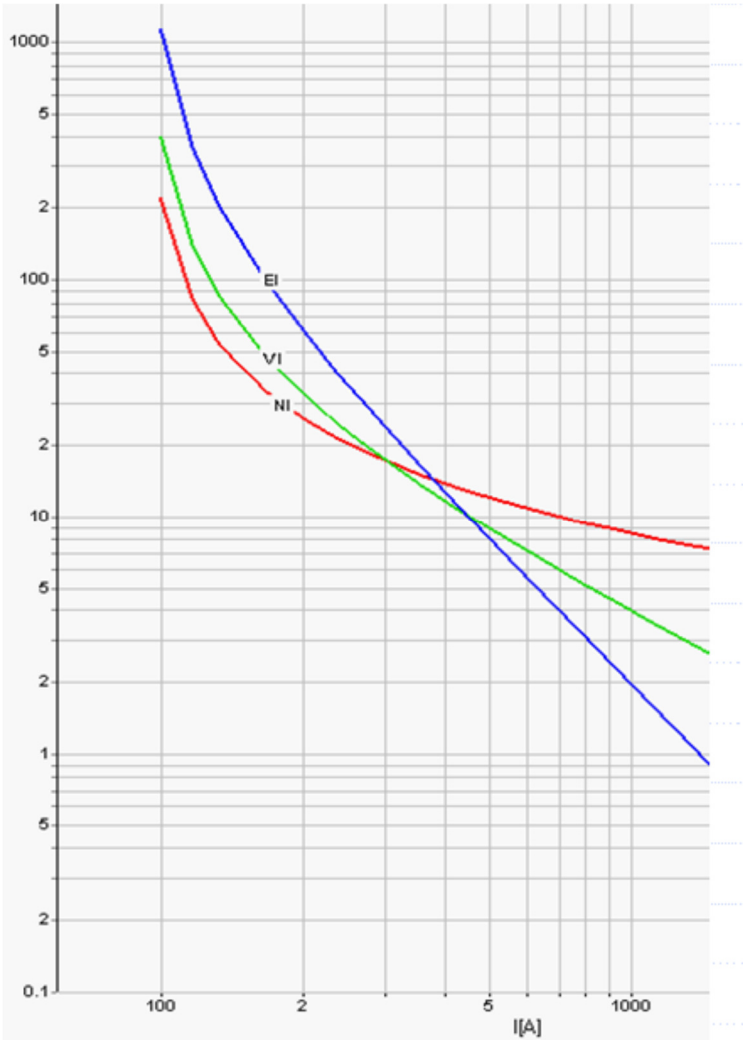
Ip: Akım Ayar Değeri

Tp: Zaman Çarpanı Ayar Değeri

I: Arıza akımı

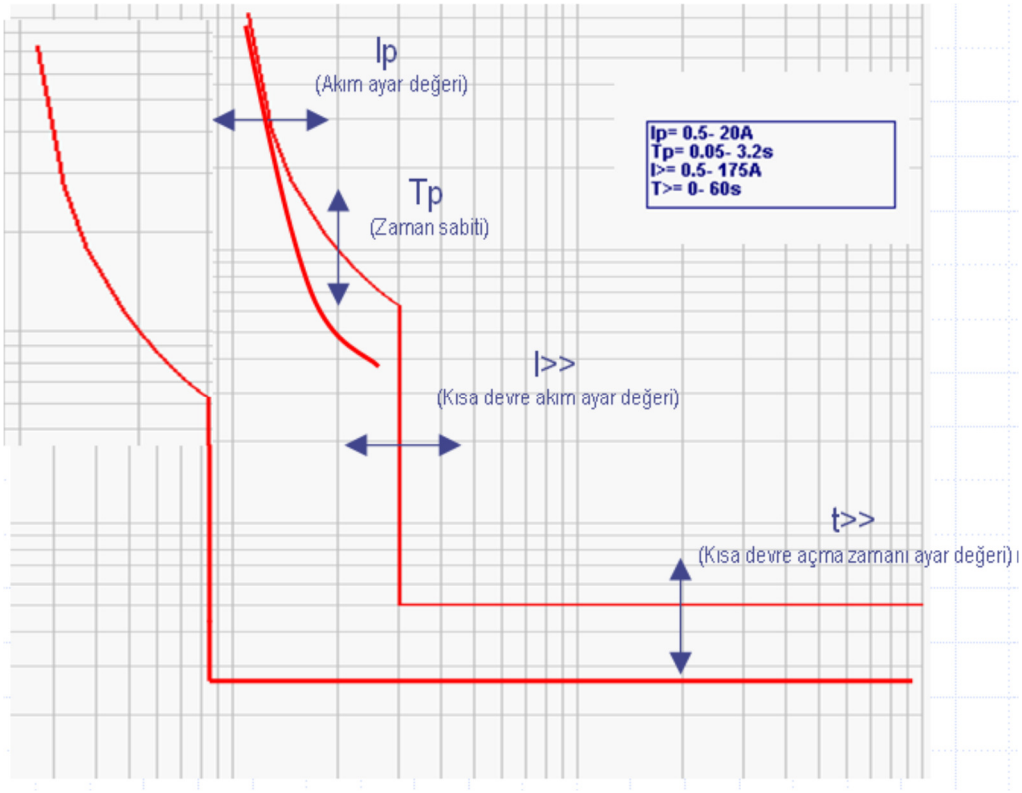
t: Açma zamanı

olarak gösterilmektedir. Şekil 2.9'de NI, VI ve EI karakteristikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.9 NI, VI ve EI karakteristiklerinin karşılaştırılması [49]

Şekil 2.10'de röle ayarlarının koruma karakteristiğine etkisiyle ilgili olarak grafik verilmiştir. Bu grafik sayesinde birçok tesiste birçok röleye ait var olan karakteristiklerde ayarlamalar yapılmaktadır. Bu değerler azaltılıp arttırılabilmektedir. Grafiğin sağ üst köşesinde Ip, Tp, I ve T parametreleriyle ilgili ayar aralıkları genel olarak bir fikir vermek için gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Röle ayar karakteristiği [49]

2.7 Koruma Sisteminde Seçicilik ve Koordinasyon

2.7.1 Seçicilik Koşulları

Seçicilik koşulları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

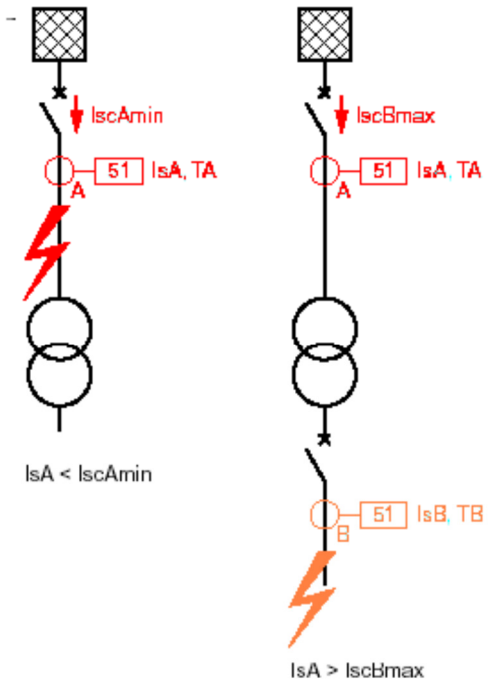
1. Her arıza durumu için arıza noktasına en yakın koruma elemanının en önce açacağı bir akım-zaman koordinasyonunun sağlanması gerekir. Arızanın diğer tüketicileri etkilememesi için, arızayı en dar alan içinde temizlemek gerekmektedir.
2. Koruma parametreleri ortaya çıkması muhtemel maksimum arıza akımlarının elektriksel donanıma zarar vermesini engelleyecek şekilde hesaplanmalıdır.

3. Her bir koruma elemanı arıza halinde parametrelendiği akım-zaman noktasında çalışmalı ve normal çalışma koşullarında (motor kalkış anı gibi) hatalı açmalar üretmemelidir.
4. Her koruma elemanı, koruduğu elektriksel cihazın nominal akım ve güç değerinde çalışmasına müsaade etmelidir.

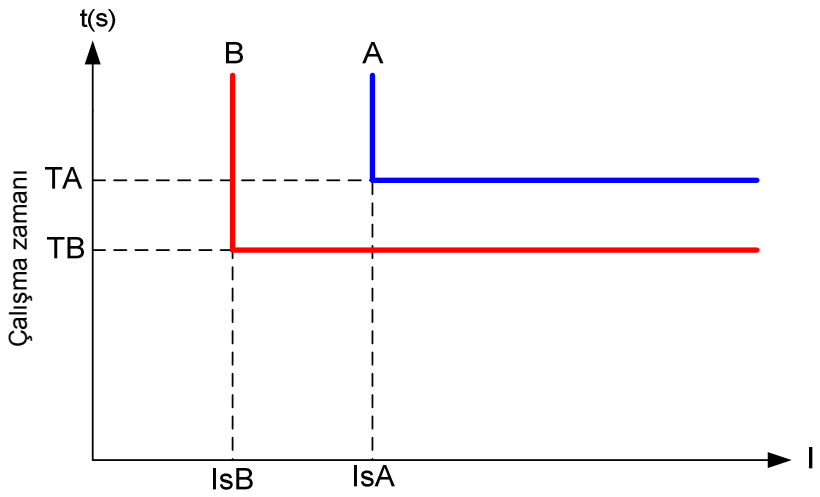
2.7.2 Akım Karakteristikli Seçicilik

Akım karakteristikli seçicilik, güç sistemi içinde kaynaktan uzaktaki arızada, arıza akımının değerini ayarlanabilir bir şekilde azaltacak empedansların (transformatör, uzun enerji iletim hatları gibi) bulunması durumunda uygulanır.

Akım karakteristikli seçicilikte, açma işlemi, ayarlanan değerde meydana gelir. Transformatörlerle ayrılmış olan hatlarda kullanımı basit ve ekonomiktir ancak koruma cihazları sadece kendi bölümlerindeki arızalara karşı duyarlı olduğu için, birbirlerine yedek koruma sağlamazlar. Örneğin, Şekil 2.11'deki sistemde B ünitesi görev yapmadığında A ünitesi, alt bölge için koruma yapmaz. Sistemdeki rölelerin seçicilik eğrileri Şekil 2.12'da verilmiştir.



Şekil 2.11 Akım karakteristikli seçicilik [50]



Şekil 2.12 Akım karakteristikli seçicilik eğrileri

2.7.3 Zaman Karakteristikli Seçicilik

Zaman karakteristikli seçicilik, güç sistemindeki koruma ünitelerinin açma sürelerinin, uygun şekilde farklı değerlerde ayarlanarak elde edilir. Zaman karakteristikli seçicilikte koruma sistemi kendini yedekler. Örneğin Şekil 2.13'deki sistemde meydana gelen arızayı temizlemek için D ünitesi açma yaptırtmazsa, Δ*T* kadar sonra C ünitesi aktif hale geçerek arızalı bölümü devreden çıkartır. Ancak, kademe sayısı arttığında en üst kademedeki koruma ünitesi en uzun sürede açma yapacağından, sahip olduğu elektriksel donanımın arıza temizleme süresince dayanımının uygun olup olmadığına dikkat edilmelidir [50].

Her iki ünitenin arasında işleme süresi arasındaki farklılık seçicilik aralığı olarak tanımlanır ve

$$\Delta T = T_C + tr + 2.dT + m \qquad \textbf{(2.4)}$$

ifadesi ile belirlenir. Burada,

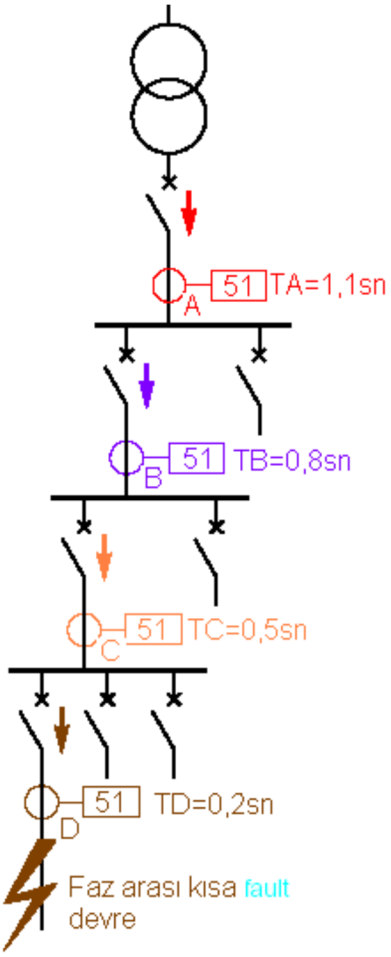
Tc **:** Alt kesiciye ait cevap süresi ve ark sönme süresi dahil toplam kesme süresi

dT**:** Gecikme toleransı

tr **:** Üst kesicinin harekete geçme süresi

m **:** Emniyet payı

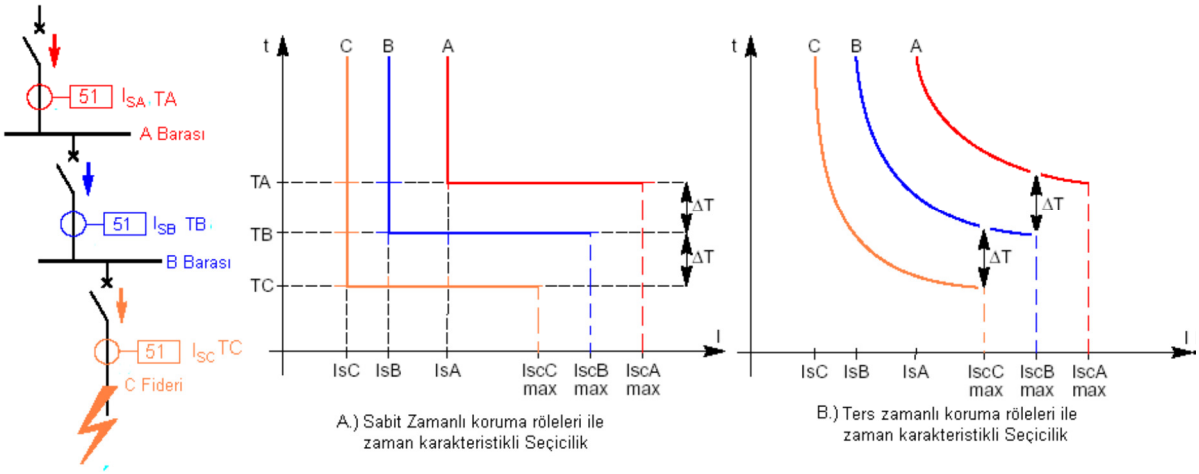
olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2.13 Zaman karakteristikli seçicilik [50]

Zaman karakteristikli seçici sistemde sistemden geçen akım, rölenin ayarlanan akım eşik değerini aştığı zaman rölenin zaman mekanizması aktif hale geçer. İki tip zaman karakteristikli röle vardır.

- **Sabit zamanlı röleler**: Uygulama şartları Şekil 2.14'deki sistem için ISA>ISB>ISC ve TA>TB>TC dir. Seçici zaman aralığı ise genellikle sabit bir değer alınır.
- **Ters Zamanlı Röleler:** Rölelerin akım eşik değerleri In nominal akım değerlerine ayarlanırsa bu tip aşırı yük röleleri aynı zamanda kısa devre koruması da sağlar.



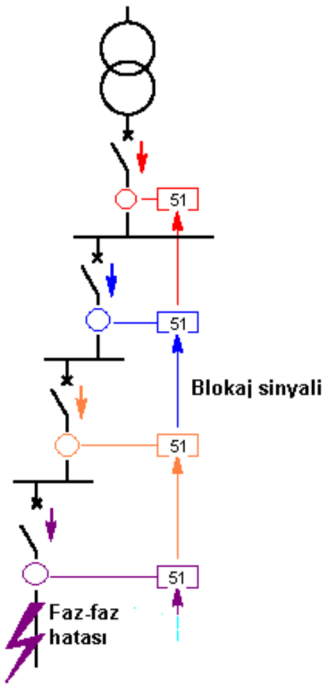
Şekil 2.14 Koruma röleleri zaman karakteristikleri [50]

2.7.4 Mantıksal Seçicilik

Mantıksal seçiciliğin geliştirilme nedeni, zaman karakteristikli seçici sisteminin sakıncalarını ortadan kaldırmaktır. Arıza temizleme süresinin belirlenmesinin ardından mantıksal seçicilik yöntemi kullanılır. Şekil 2.15'te mantıksal seçiciliğin işleyişi gösterilmiştir.

Mantıksal seçicilikte, arıza nedeniyle aktif hale gelen kesici şu işlemleri yapar:

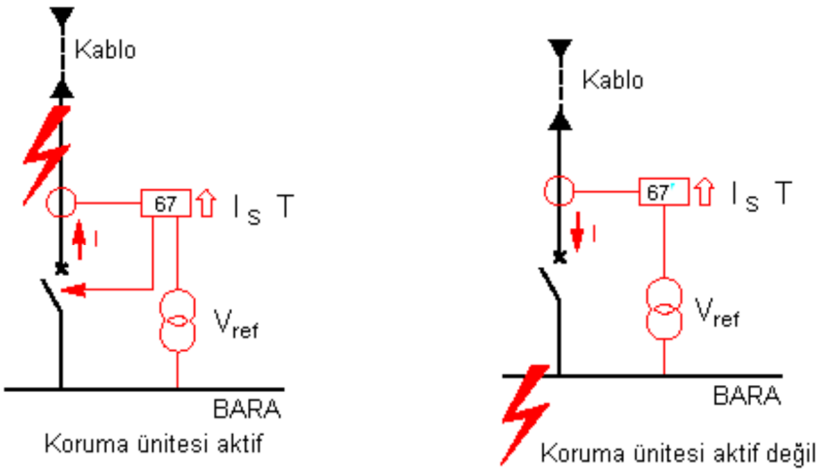
1. Kendisinden üst seviyedeki kesiciye kendi açtırma süresini gönderir.
2. Üst seviyedeki kesicinin açtırma süresini arttırmak için blokaj sinyali gönderir.
3. Alt seviyedeki kesiciden blokaj sinyali gelmemişse, ilgili kesiciye açtırma sinyali gönderir.



Şekil 2.15 Mantıksal seçicilik [50]

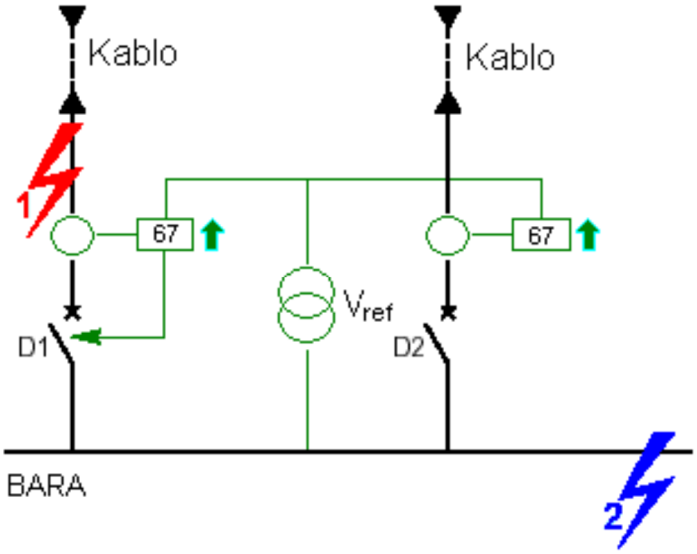
2.7.5 Yönlü Seçicilik

Gözlü şebekelerde, her iki taraftan beslenen arızalarda arıza akımının akış yönüne duyarlı olan bir koruma ünitesi gereklidir. Arıza, yerini seçici olarak belirleme ve arızalı kısmı ayırmak için yönlü aşırı akım koruma üniteleri kullanılır. Şekil 2.16'te görüldüğü gibi röle koruma ünitesinin aktif olup olmaması, akım yönüne bağlıdır. Koruma ünitesi akım yönü baradan kabloya doğruyken aktif, kablodan baraya doğruyken pasiftir.



Şekil 2.16 Yönlü seçicilik [50]

Şekil 2.17'teki sistemde D1 ve D2 kesicileri baradan kabloya akım akışı halinde aktif olan yönlü koruma sistemiyle donatılmıştır. Bu sistem "1" noktasında arıza meydana geldiğinde, D2 ünitesi akımın yönünü algıladığı için arızayı algılamaz ve sadece D1 ünitesi açtırma yaptırır. "2" noktasında arıza meydana geldiğinde her iki ünite de arıza algılanmaz ve D1, D2 kesicileri kapalı kalır. Sistemde eğer varsa diğer koruma üniteleri baraya koruma açtırması yaparlar.



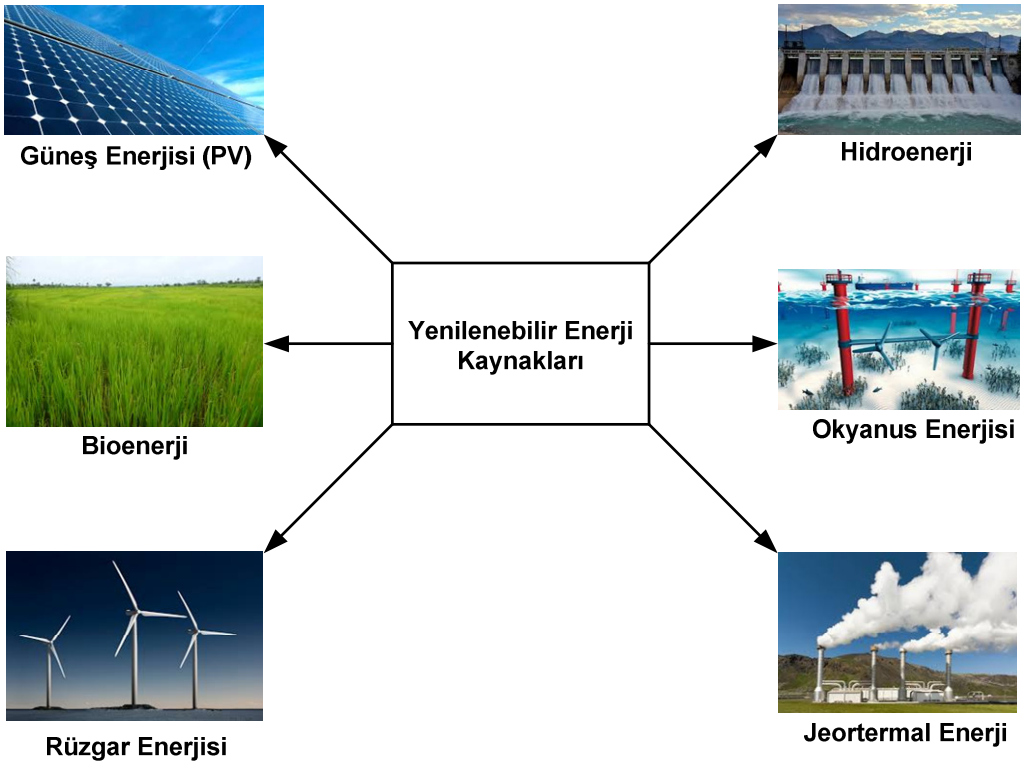
Şekil 2.17 Yönlü seçicilikte koruma sisteminin çalışması [50]

BÖLÜM 3

DAĞITIK ÜRETİM TESİSLERİ İÇEREN ELEKTRİK ŞEBEKE SİSTEMLERİ

3.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

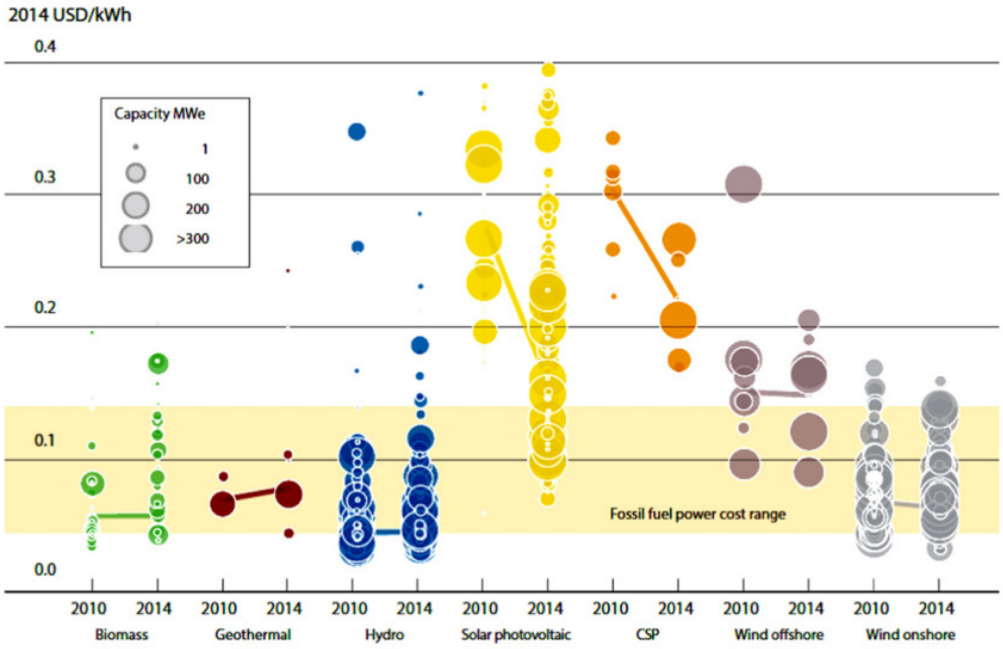
Hızla gelişen teknoloji ve değişen yaşam şartları ile birlikte elektrik enerjisine olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde ihtiyaç duyulan kaynaklar günümüzde genel olarak nükleer, fosil ve yenilenebilir olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır [51]–[53]. Fosil kaynaklardan elde edilen enerji dünyada şu anda temel enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ancak fosil kaynakların giderek azalması ve bu kaynakların çevreye olan olumsuz etkileri alternatif enerji kaynakları arayışına sebep olmaktadır [54], [55]. Bununla birlikte nükleer kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisi, ülkelerin ihtiyaçlarını karşılamada oldukça önemli rol oynamasına rağmen insan ve çevre sağlını olumsuz yönde etkileyen dezavantajlarını da için de barındırmaktadır [56]. Sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkan Yenilenebilir Enerji Sistemleri (YES) Şekil 3.1'de gösterildiği gibi 6 kategoriye ayrılmaktadır [51]. Bu kategoriler içerisinde üzerinde yaklaşık 30 yıldır çalışmalar yapılan jeotermal ve hidroelektrik enerjileri en olgun YES teknolojileridir. Okyanus, Güneş ve Rüzgar YES teknolojileri de oldukça yaygınlaşmaktadır [57]–[59]. Bioyakıt ve Denizsel enerji gurupları yeni yeni çalışılan YES teknolojileri arasındadır [60].



Şekil 3.1 YES Teknolojileri

YES'lerin büyük bir kısmı doğrudan ya da dolaylı olarak güneş ışığını kullanırlar ve düşük emisyona sahip tükenmeyen kaynaklardan elde edilen bir enerji çeşidi olarak tanımlanırlar [61]–[64]. Dünyanın birçok ülkesinde YES'lerin arttırılmasına yönelik teşvikler gündeme getirilmektedir [65]. YES'in elektrik üretimindeki payı, enerji tüketiminin giderek artması ve fosil kaynakların çevreyi olumsuz yönde etkilemesi ile çok daha önem kazanmıştır [66]. 1900'lü yıllardan beri kullanıla gelen YES teknolojileri, 2013 Yenilenebilir Enerji Raporu verilerine göre %1.7 yıllık büyüme oranına sahiptir. Diğer YES teknolojilerine oranla rüzgar ve güneş enerjilerinde daha çok büyüme gözlemlenmektedir. 5.7 milyon insanın istihdam edileceği tahmin edilen YES teknolojilerine 2011 yılından beri toplamda 260M$ yatırım yapılmıştır [67]. Birçok ülkede enerji taleplerinin karşılanması adına YES hedefleri oluşturulmuş ve bu konuda 127 ülke ile ilgili mevzuat çalışmaları başlatılmıştır [68]. Teorik olarak YES'lerden üretilecek enerji, Dünyanın toplam tüketim değerinden 18 kat fazla olmasına rağmen şu anda Dünya'nın talep ettiği gücün sadece %18'i YES'lerden karşılanabilmektedir [51]. 2013 yenilenebilir enerji raporuna göre YES kapasitesi 2000-2011 yılları arasında yaklaşık iki katına çıkmıştır [55]. Birçok ülkede kapasitesinden daha az YES çalıştırması

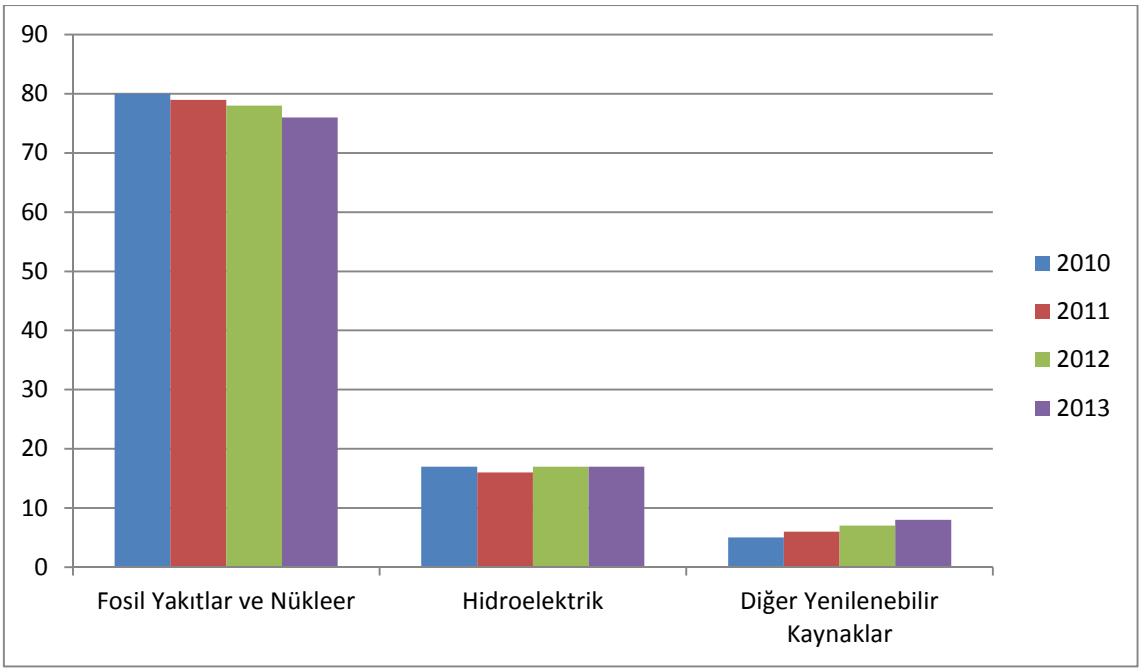
ve eklenen fosil tabanlı üretim santralleri nedeni ile YES kapasitelerindeki artışa rağmen toplam üretimdeki YES payı yavaş olarak artmaktadır [68]. Kurulum maliyetinin yüksek olması, lokalizasyon yatırımların yetersizliği (insufficient investment on localization), kullanılan teknolojinin verim düzeyi, küresel bölgesel ve yerel politikaların tam oturmamış olması gibi sebepler, YES teknolojisinde yavaşlatıcı sebepler olarak gösterilmektedir [51].



Şekil 3.2 2010-2014 Yıllarına ilişkin YES LCOE Değerleri [59]

YES teknolojilerinin maliyetinin tespit edilmesinde kullanılan başlıklar: Kaynak kalitesi, ekipman maliyeti, proje-maliyet dengesi, yakıt (varsa), işletme-maliyet-güvenilirlik giderleri, proje ekonomik ömrü, sermaye maliyetidir. Şekil 3.2'de YES seviyelendirilmiş maliyet giderleri LCOE (Levelized Cost of Energy) oranları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir [59]. LCOE değeri, ilgili YES'in hem teknolojik maliyetini hem de entegrasyon maliyetini yansıtmaktadır. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi jeotermal, biokütle ve hidroelektrik enerjileri neredeyse fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin maliyeti ile aynıdır. Diğer YES birimlerinde de gelişen teknoloji ile birlikte maliyette azalmalar meydana gelmektedir. Güneş paneli (PV) sistemlerinin son yıllardaki LCOE değerleri gittikçe azalan bir eylem göstermektedir. PV sistem kurulum maliyetlerinde ise bölgelere göre %29'dan %65'e kadar değişen azalmalar vardır (USD 0.08/kWh in 2014). YES kapsamında en rekabetçi üretim kaynaklarının başında rüzgar türbinleri yer

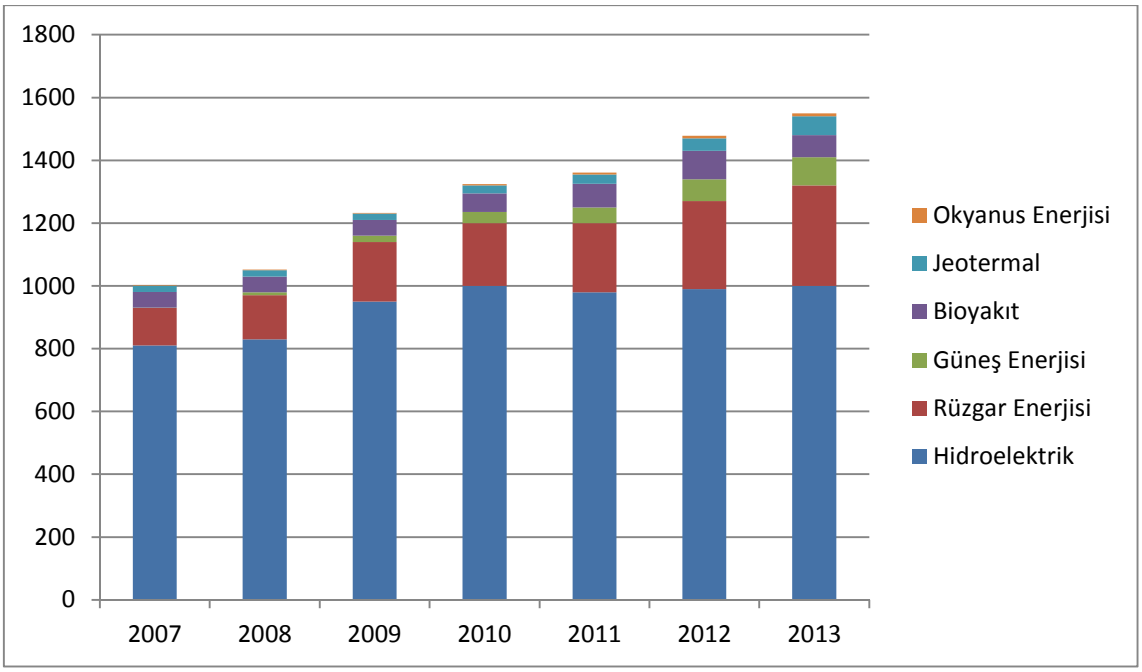
almaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte rüzgar santrallerinin de kurulum maliyetleri azalmaktadır. Günümüzde belli bölgelerde karada (on shore) rüzgar türbini kurulum maliyetleri fosil yakıtlı üretim merkezlerinin maliyetinden daha az değerlere düşebilmektedir. Örneğin ABD'de önemli bir projede rüzgar enerjisi maliyetleri 0,05USD/kWh değerlerine düşürülürken, OECD (Avrupa Ekonomik İşbirliği Teşkilatı) ülkelerinde biokütle enerjisi maliyeti 0,06USD/kWh değerine kadar düşürülmüştür. Jeotermal enerjisinin LCOE değerleri ise 0,05-0,10 USD/kWh arasında değişmektedir [59].



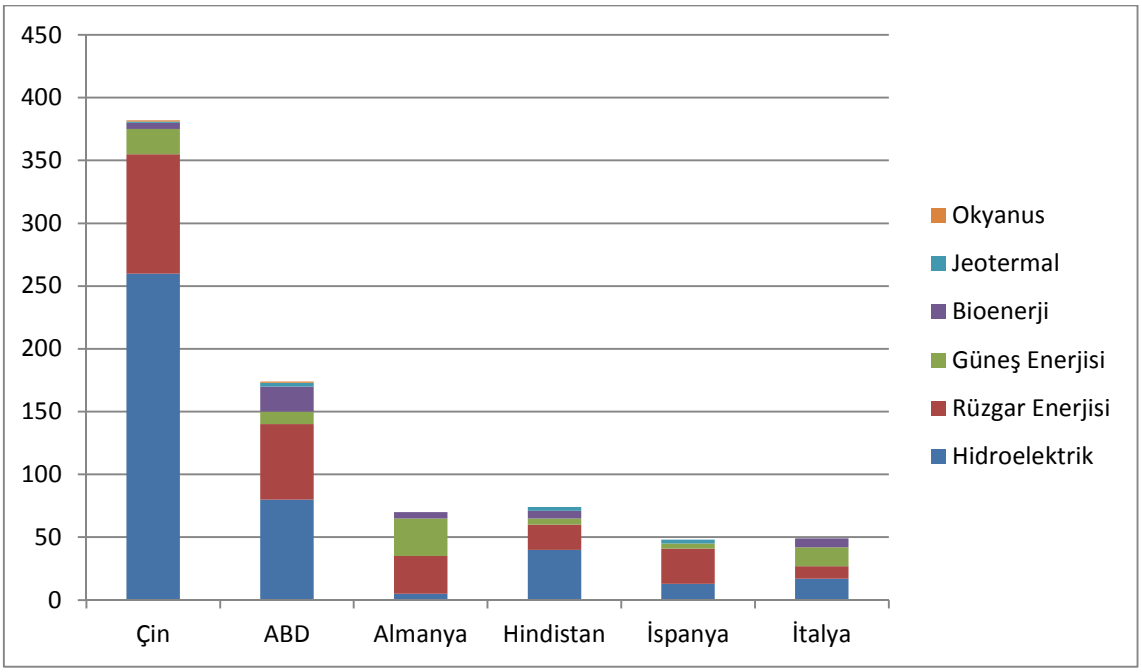
Şekil 3.3 Enerji Kaynaklarının Üretimde Yıllara göre Değişen Katkıları

Global ölçekte yenilenebilir enerji üretimi Şekil 3.3'te gösterilmiştir. 2013 yılı sonu itibari ile üretilen elektrik enerjisinin %22.2'si YES'lerden, %16.4'ü HES'lerden üretilmektedir. Çok sayıda ülkede ticari, endüstriyel ve mesken tüketicileri YES üreticisi olmaktadır. YES teknolojilerinin desteklenmesi, geliştirilmesi ve hızlandırılması adına oluşturulan vergilendirme sistemi kanunu (Feed-in-Tariff) yenilenebilir enerji üretimlerinin uzun dönemlik satın alınmasını teklif etmektedir [61].

Şekil 3.4'te 2007 ile 2013 yılları arasındaki kurulu YES kapasite değerleri gösterilmiştir. RES kapasitelerinde en önde ülkeler Çin, ABD, Almanya, İspanya olarak ön plana çıkmaktadır [58].



Şekil 3.4 2007-2013 Yılları arasındaki kurulu YES kapasite değerleri



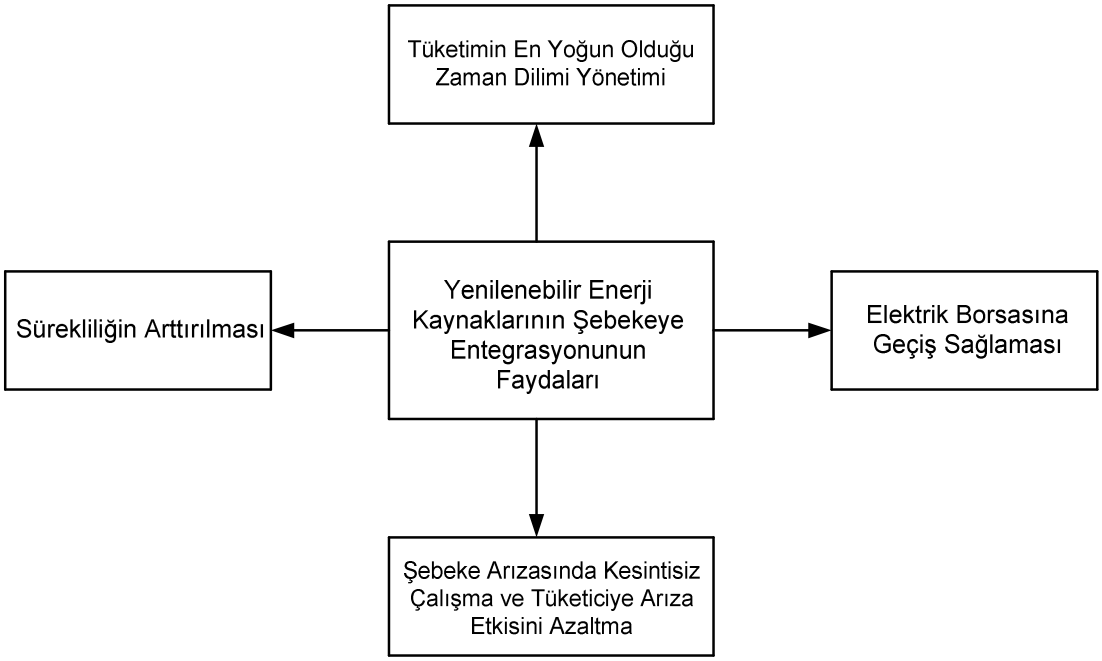
Şekil 3.5 Ülke Bazında Kurulu YES Kapasite Değerleri

Avrupa'da son 6 yılda ise YES kapasitelerinin lideri Danimarka, sonrasında sırayla Almanya; Portekiz, İspanya ve İsviçre şeklinde yer almaktadır [51]. Danimarka, rüzgar türbinleri ile toplam yıllık enerjisinin neredeyse tamamını karşılarken ihtiyaç fazlası enerjiyi komşu ülkelere satabilir duruma gelmiş, İspanya enerjisinin %42.4'ünü rüzgar

ve güneş enerjisinden karşılamaktadır. Yine İtalya güneş enerjisi ile yıllık enerji talebinin %7.8'ini karşılarken, İzlanda %29'unu jeotermal enerji ile karşılamaktadır. Ülke bazında kurulu olan YES kapasite değerleri Şekil 3.5'te görülmektedir.

3.2 Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebekeye Entegrasyonu

Dağıtık üretim tesislerinin (DG) şebeke ile entegrasyonu akıllı şebekelerin en temel konularından birini oluşturmaktadır. YEK'in elektrik şebekesinde entegrasyonunun faydaları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 YEK Entegrasyonunun Faydaları

Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye bağlanması ile ilgili birçok ülkenin kendine ait şebeke yönetmelikleri (Grid code) bulunmaktadır. Bu yönetmeliklerin ortak yanları olduğu gibi her ülkenin kendine özgü şebeke yapısı, gerilim seviyesi ve kontrol düzeneği bulunduğundan ayrı yönleri de bulunmaktadır. Bu düzenlemelerin hepsi, mevcut düzeni bozabilecek bir oluşumun engellenmesi içindir. Örneğin, bir yandan klasik üretimlerde frekans belirli sınırlar içinde tutulurken, diğer yandan bu frekansı ciddi biçimde etkileyecek alternatif üretimlerin de kontrol edilebiliyor olması gerekir. Aynı şekilde alternatif üretimlerin gerilim açısından da klasik generatörlerdeki uyartım

kontrolü gibi, hızlı tepki vererek düzeltici önlem gerçekleştirebiliyor olması gerekir. Eğer bu alternatif üretimler belirli bir bölgede yoğunlaşıyor ise entegrasyon öncesi çalışmaların daha titizlikle incelenmesi gerekmektedir.

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sistemimize entegrasyonu ile ilgili yönetmelik olarak şebeke yönetmeliğinin Ek-18 bölümünde yayınlanan "Rüzgar Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Şebeke Bağlantı Kriterleri" bulunmaktadır. Bu yönetmelikte rüzgar enerjsinin frekans kontrolüne katılımları istenmemekle birlikte aktif güç kontrolü ve frekans tepkisi tanımlanmıştır. Ayrıca arıza esnasında ve arıza sonrasında davranış biçimleri ve nasıl bir gerilim desteği sağlamaları gerektiği belirlenmiştir. Aktif güç akışının faz kaydırıcı transformatör gibi yapılarla kontrol edilmediği iletim ve dağıtım hatlarında bu kadar değişkenliğe sahip olabilen büyük ölçekteki bir gücün, mevcut iletim ve dağıtım sisteminden alınıp yük bölgelerine ulaştırılması esnasında, bazı problemler ile karşılaşılabilecektir. Bunların en başında değişebilen aktif güç akış yönlerine göre reaktif gücün, dolayısıyla bara gerilimlerinin kontrolü gelmektedir. Örneğin; tek yönlü kademe değiştiriciler, güç akışının değiştiği durumda yetersiz kalacaktır. Aktif güç açısından ise tek yönlü koruma koordinasyonu bozulacaktır. Bunların haricinde artan arıza akımları sonucu arıza yolunda oluşabilecek yanlış açmalar, sigorta-kesici kombinasyonlarında sigortayı koruyacak koordinasyonun bozulması, trafo bağlantı gruplarına göre adalaşan bir yenilenebilir üretim bölgesinde işletme toprağından yoksun bir çalışmada oluşabilecek arızalar ve bu arızalarda meydana gelecek gerilim yükselmeleri ve etkilenebilecek sistem elemanları diğer olumsuz durumlar olarak özetlenebilir. Elbette bu olumsuz durumları düzeltici önlemler alınabilir. Mevcut iletim ve dağıtım yapısının, yedekli ve güvenilir olmasına rağmen böyle bir değişimi kaldırabilecek güçte olup olmadığı sorgulanmalıdır. Gelecekte, tüm tüketicilerin de birer üretici olabilecekleri düşünüldüğünde, "mikro şebeke" olarak tanımlanan yapıya geçilebilmesi için de mevcut dağıtım sisteminin yeterli olamayacağı bilinmektedir. Bu yapıların rijit yapılardan çok; esnek, uyum sağlayan, hızlı yapılar olması gerektiği açıktır.

Mikro şebekeler, YES entegrasyonlarının gerçekleştirilmesinde de yardımcı uygulamalardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Mikro şebeke, içerisinde DG ve enerji depolama birimleri barındıran enerjisini hem şebekeden hem de kendi

bünyesindeki dağıtık enerji birimlerinden karşılayabilen, şebeke ile hem birlikte hem de şebekeden bağımsız çalışabilen yapılardır. DG tabanlı dağıtım şebekelerinde ortaya çıkan en önemli problemlerden birisi olan koruma ve röle koordinasyonu öncelikle çözümlenmesi gereken konuların başında gelmektedir. Bu bağlamda literatürde önerilen en etkin yöntem olarak adaptif koruma yapısı karşımıza çıkmaktadır.

3.3 Dağıtık Üretim Tesisleri İçeren Dağıtım Şebekesinde Koruma Analizleri

Son yıllarda elektrik endüstrisindeki gelişmeler beraberinde yeni nesil teknolojilere olan ilgiyi de arttırmıştır. Akıllı şebeke teknolojisi, bu kapsamda değerlendirilebilecek yeni bir konsept olarak hızla gelişmektedir. Akıllı şebekelere olan ilginin artması ve Devletlerin bu alandaki yeni yatırımları/teşvikleri ile geniş bir uygulama alanı ortaya çıkmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin artmasıyla elektrik-elektronik endüstrisi de önemli yeniliklere yönelmektedir. Dağıtık üretim tesisleri olarak da adlandırılabilen yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonunda karşılaşılan bazı problemler, beraberinde yeni çözüm tekniklerinin geliştirilmesine de neden olmaktadır.

Dağıtık üretim tesislerinin yaygınlaşmasıyla bazı avantaj ve dezavantajlar da beraberinde gelmektedir. Güç kalitesinin arttırılması, enerji sürekliliğinin sağlanması, güvenilirlik ve temiz enerji kaynakları gibi avantajlarının yanında şebeke koruması ve sistemin daha karmaşık bir yapıya bürünmesi gibi dezavantajları da mevcuttur. Özellikle dağıtık üretim tesislerinin sisteme entegrasyonuyla birlikte koruma sisteminde önemli zorluklar meydana gelmektedir. Röle koordinasyonu, kısa devre akımlarının değişimi, frekans tespitindeki zorluklar ve hata yeri tespiti gibi mutlaka çözülmesi gereken sorunlar ön plana çıkmaktadır.

Dağıtık üretim kaynaklarının kullanıldığı dağıtım şebekelerinde koruma felsefesindeki önemli değişimler, beraberinde farklı çözüm tekniklerini de ortaya çıkarmaktadır. Bu sistemlerde farklı akım yönleri ortaya çıktığından yönlü aşırı akım rölelerinin kullanılması bazı kolaylıklar sağlamaktadır. Güç akışının farklı işletim şartlarına bağlı olarak her an değişebileceği bu tarz şebeke sistemlerinde koruma yapısı için mutlaka adaptif bir koruma metodunun geliştirilmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikle arıza

analizleri yapılarak problemler tespit edilmeli ve buna bağlı olarak koruma algoritmasının geliştirilmesi gerekmektedir.

3.4 Elektrik Dağıtım Şebekelerinde Adaptif Koruma

Koruma sistemlerinin ana elemanlarından biri olan koruma rölelerinin parametrelendirilmesinde dikkat edilmesi gereken diğer bir konu, yer aldıkları enerji sistemlerinde farklı çalışma durumlarında etkin olarak görevlerine devam edebilmeleridir. Koruma rölelerinin ölçeceği maksimum ve minimum kısa devre akımları, korunması istenilen enerji sisteminin farklı çalışma senaryolarında değişiklik gösterir. Bu değişikliği oluşturan bazı durumlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Mevcut elektrik dağıtım sistemine sonradan generatör (üretim tesisi kaynağı) bağlanması veya bağlı bulunan generatörün sistemden ayrılması
- Sistemdeki transformatörlerin bağlantı şeklinin değiştirilmesi
- Bağımsız iki veya daha fazla baranın kuplaj ile bağlanarak tek bara olarak işletilmesi
- Ring yapıdaki sistemin manevralarla radyal şebeke yapısına indirgenmesi
- Kondansatör grubu ilavesi ile yükün şebekeden çektiği görünür akıma etki edilmesi

Bahsi geçen durumlarda, ilgili koruma rölesinde farklı ayar grupları kullanılarak oluşturulacak birden fazla aşırı akım kademesi ve/veya açma zamanının bulunması koruma güvenilirliğini arttırmaktadır.

Elektrik dağıtım sisteminin değişen durumlarına uyum sağlayarak, farklı röle kademelerinin doğru kullanımını amaçlayan koruma yapısı, adaptif koruma olarak tanımlanmaktadır. Adaptif koruma sistemlerinin klasik koruma sistemlerine göre en büyük üstünlüğü, koruma rölelerinin kendilerine ait olan açma ayarlarını dağıtım sisteminin durumuna göre dinamik olarak değiştirmesidir. Bu durum, hem seçiciliğin daha iyi sağlanmasını hem de arıza tespitinin daha doğru yapılmasını sağlar.

BÖLÜM 4

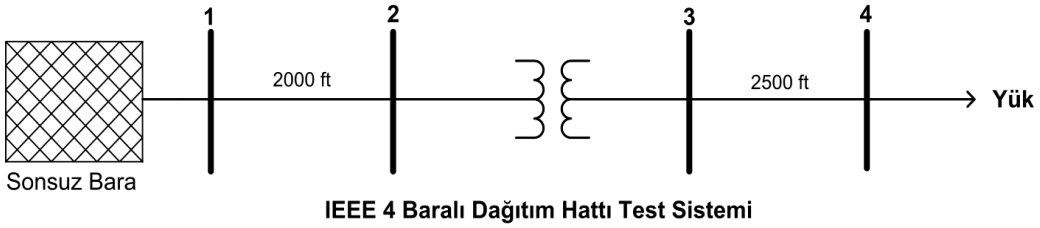
DAĞITIM ŞEBEKESİ MODELLEMELERİ, RÖLE KOORDİNASYONU VE ARIZA ANALİZLERİ

4.1 IEEE 4 Baralı Test Sistemi Üzerinde Röle Koordinasyonu Topolojileri

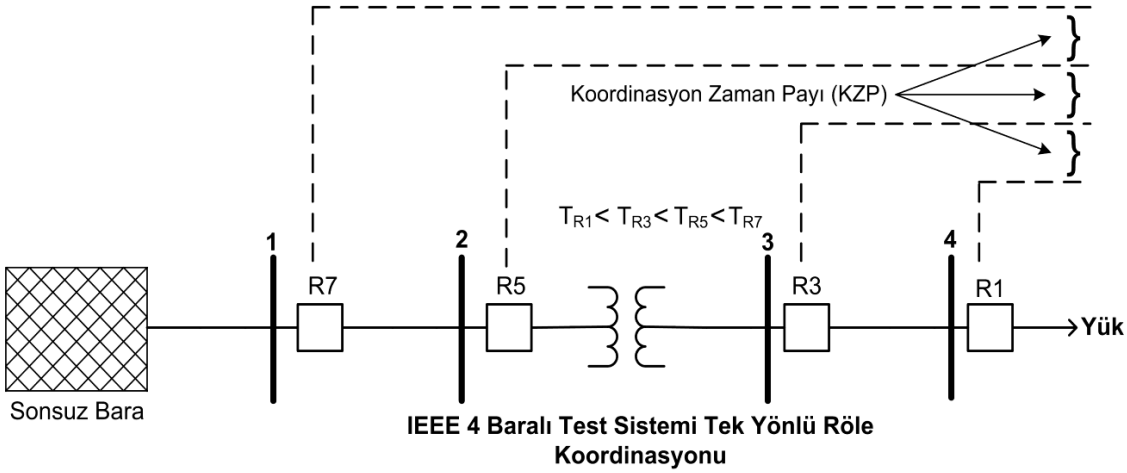
Tez çalışması kapsamında önerilen adaptif röle koordinasyonunun altyapısının oluşturulması ve farklı arıza senaryoları göz önünde bulundurularak sistemin çalışmasını gözlemlemek amacıyla nispeten basit bir şebeke modeli olan IEEE 4 baralı test sisteminin modellenmesi ve belirtilen çalışmaların yapılması planlanmıştır. Bu kapsamda sırasıyla tek taraftan beslemeli, ring şebeke ve dağıtık üretim tesisi tabanlı şebeke modellerinin 4 baralı sistemde uygulanması tasarlanmıştır. Böylece modellenen yönlü aşırı akım rölelerinin etkinliği ve güvenilirliği, yönlü ve yönsüz olarak geleneksel röle koordinasyonu uygulaması ile test edilmiş olacaktır. Bu çalışma aynı zamanda nihai hedeflerden biri olan IEEE 4 Baralı dağıtım şebekesi üzerinde adaptif koruma stratejinin de alt yapısını oluşturacaktır.

Adaptif röle koordinasyonunun altyapısının oluşturulması ve farklı arıza senaryoları göz önünde bulundurularak sistemin çalışmasını gözlemlemek amacıyla öncelikle Şekil 4.1'de görülen IEEE 4 baralı test sisteminin modellenmesi hedeflenmiştir. Oluşturulan şebeke modeli üzerinde yeterli sayıda röle bağlantısı yapılarak tek yönlü koruma çalışması sağlanacaktır. İlk olarak Şekil 4.2'de de gösterilen dağıtım şebekesi sisteminde her 4 baraya birer röle bağlantısı yapılarak oluşturulan 3 fazlı kısa devre arızası sonucunda baralardaki akım değişimleri incelenecektir. Arızaya en yakın rölenin arıza anında hemen açma yaparak sistemin güvenliğini sağlaması ve yükün olumsuz

etkilenmemesi istenmektedir. Bahsi geçen çalışma başarıyla uygulanması durumunda bir sonraki aşama olan yönlü aşırı akım rölelerinin koordinasyonuna geçilmiş olacaktır.

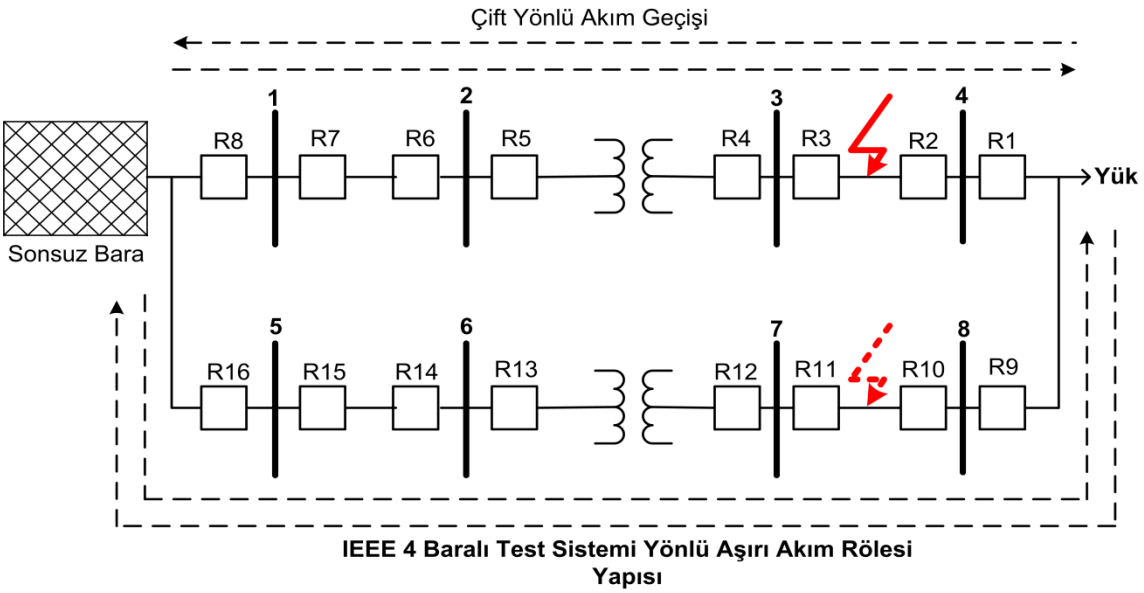


Şekil 4.1 IEEE 4 Baralı Test Sistemi

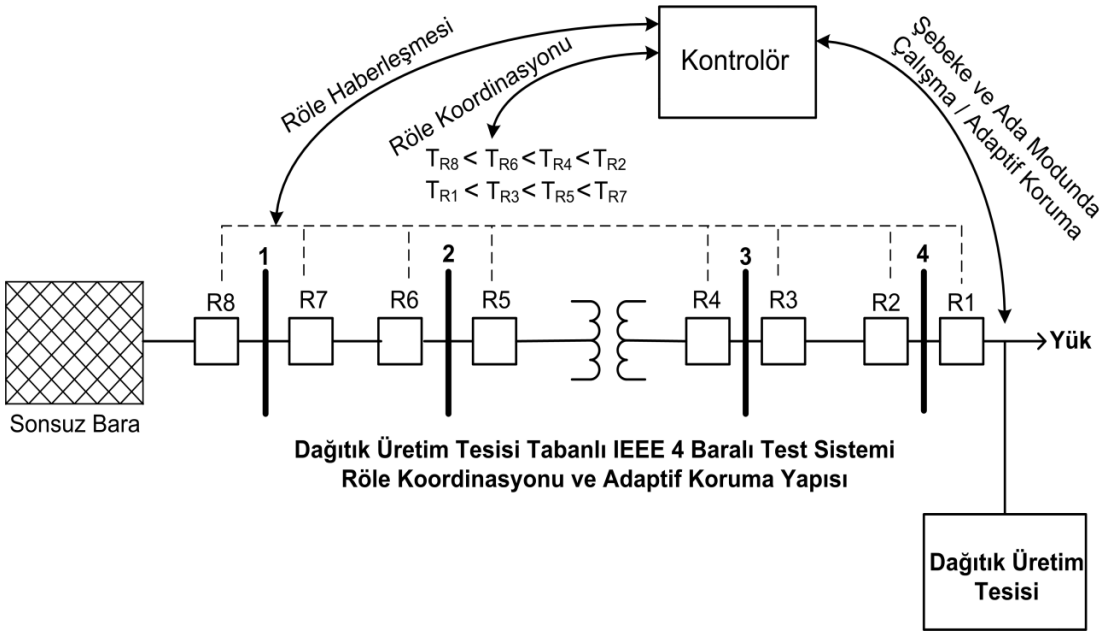


Şekil 4.2 IEEE 4 Baralı Test Sistemi Röle Koordinasyonu

Hedeflenen çalışma planına göre bir sonraki aşama olan çift yönlü enerji akışına uygun bir şebeke sistemi Şekil 4.3'te görüldüğü gibi tasarlanmıştır. Böylece modellenen yönlü aşırı akım rölelerinin performansı da test edilmiş olacaktır. İlgili çalışmanın son aşamasında ise hedeflenen dağıtık üretim tesisi tabanlı adaptif koruma yapısı tasarımı yapılmıştır. Böylece değişken sistem koşullarına hızla adapte olabilecek ve olası arıza durumlarına karşı hızlı ve güvenilir koruma sağlanarak sistem devamlılığı sağlanmış olacaktır. Belirtilen sistem topolojisi Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.3 IEEE 4 Baralı Test Sistemi Yönlü Röle Koordinasyonu



Şekil 4.4 Dağıtık üretim tesisi tabanlı dağıtım sisteminde adaptif koruma ve röle koordinasyonu

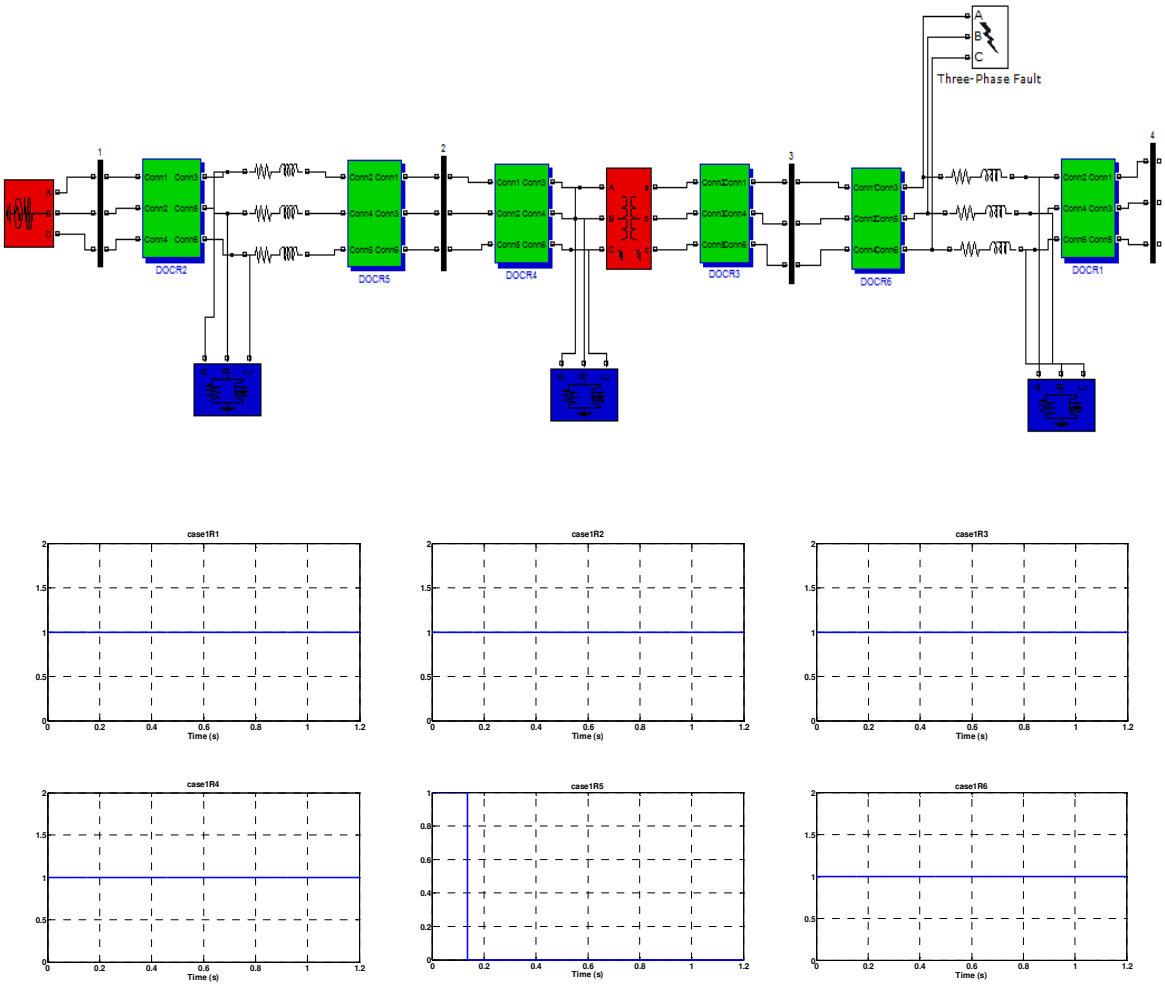
IEEE 4 baralı test siteminde yapılan çalışmalarla hedeflenen sonuçlara ulaşıldıktan sonra daha karmaşık ve geniş bir dağıtım şebekesi modeli olan IEEE 13 baralı test sistemi için koruma sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir.

4.2 IEEE 4 Baralı Test Sistemi Üzerinde Röle Koordinasyonu Simulasyon Çalışmaları

Simulasyon çalışmalarında modellenen yönlü aşırı akım rölelerinin etkinliğini ve röle koordinasyonunun güvenilirliğini test etmek amacıyla 3 farklı senaryo göz önüne alınmıştır. İlk olarak şebeke sisteminin tek taraftan beslenmesi durumunda tek yönlü koruma yapısının ve tek yönlü seçiciliğin testi gerçekleştirilmiştir. Diğer bir durumda ise bu kez çift taraftan beslenen bir şebeke göz önüne alınmıştır. Böylece yönlü aşırı akım rölelerinin etkinliği ve güvenilirliği ile hesaplamaları yapılan röle set ayarları ve koordinasyon testleri gözlemlenmiştir. Son olarak yine çift yönlü beslenen bir şebeke ama olası bir röle açmama durumu sonucunda yedeklemesi yapılan rölenin devreye girip giremeyeceği test edilmiştir.

4.2.1 Senaryo 1 - Tek Kaynaktan Beslenen Sistemde Seçicilik

Simulasyon çalışmaları IEEE 4 Baralı Dağıtım Şebekesinin Modellenmesi ile başlanmıştır. Tüm sistem parametreleri dikkate alınarak şebeke modeli oluşturulmuş ve doğruluğu test edilerek bir sonraki aşamaya geçilmiştir. Tez çalışması kapsamında modellenen yönlü aşırı akım röleleri dağıtım sistemine entegre edilerek koruma alt yapısı oluşturulmuştur. Sonraki aşamada koruma sisteminin en önemli unsurlarından birini meydana getiren röle koordinasyonu için tüm unsurlar dikkate alınarak gerekli hesaplamalar yapılmış ve röle ayar değerleri belirlenmiştir. Şebeke sisteminin belirli noktalarına uygun değerlerde yükler bağlanarak simulasyon gerçekleştirilmiştir.



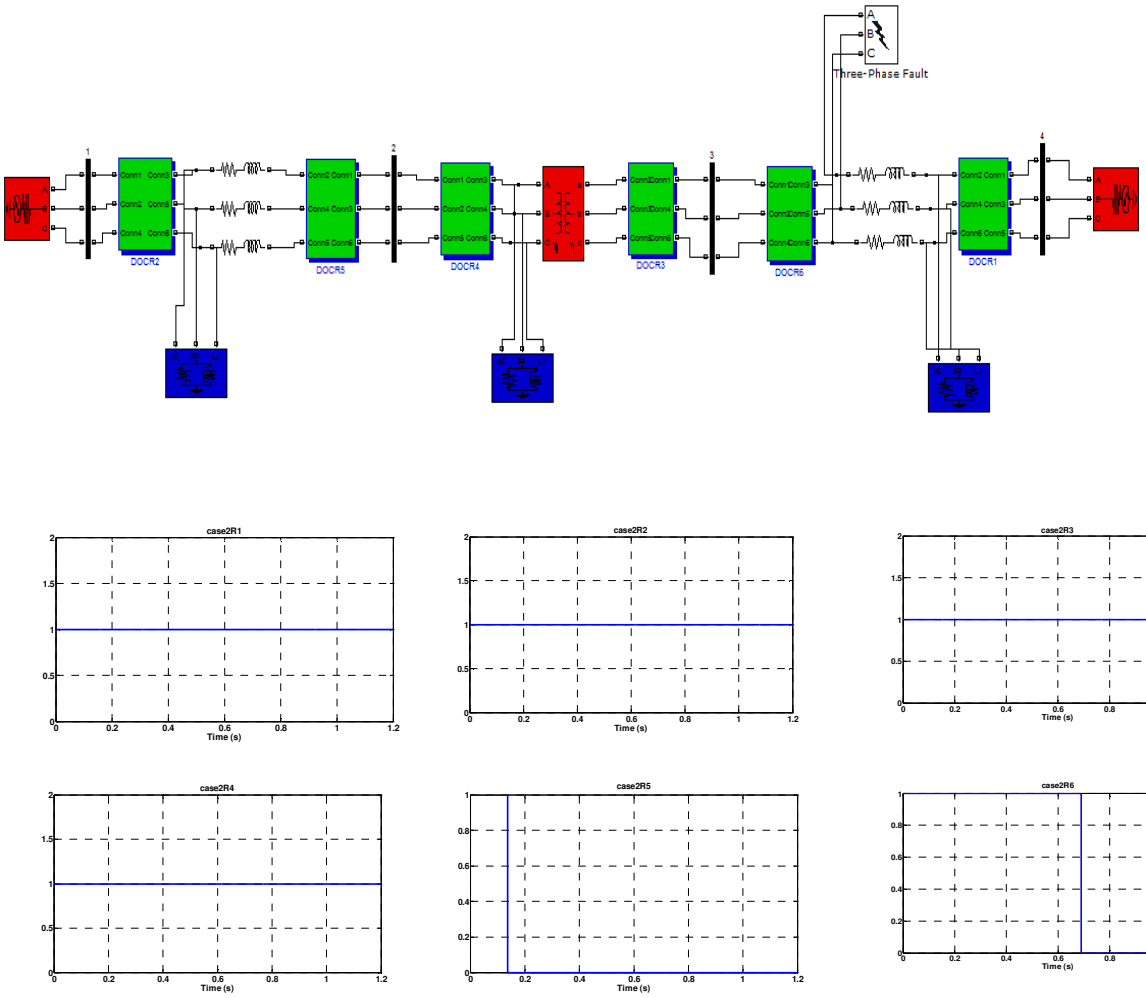
Şekil 4.5 Tek yönlü çalışma röle açma sinyalleri

Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında tek taraftan beslenen dağıtım şebekesi, hat sonunda meydana gelen 3 fazlı bir arıza esnasında koruma sistemini devreye alabilmektedir. Şekil 4.5'te görüldüğü üzere arıza esnasında seçicilik prensibi de dikkate alınarak şebeke yönündeki ve arızaya en yakın olan röle, çok kısa bir gecikme ile açma yaparak arıza bölgesini izole etmiş ve şebekenin diğer kısımları enerji akışını sürdürebilmiştir, diğer röleler ise normal işletimlerine devam etmişlerdir.

4.2.2 Senaryo 2- Çift Kaynaktan Beslenen Sistemde Seçicilik

Çift yönlü beslenen bir şebekede olası bir 3 faz arızası esnasında teorik bilgilere de uygun şekilde öncelikle arızaya en yakın röle ve devamında diğer yöndeki rölenin açması gerekmektedir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.6'da incelendiğinde görülecektir ki bu bilgiye paralel olarak arıza bölgesini içine alan ve farklı yönlere koruma ayarlı her iki

röle de açma yapmıştır. Öncelikle arızaya en yakın röle ve devamında da diğer yöndeki röle açma yaparak hem sistemi olası olumsuzluklardan korumuş hem de koordinasyon prensibine uygun bir şekilde çalışarak arızalı bölgenin sistemden ayrılması sağlanmıştır.

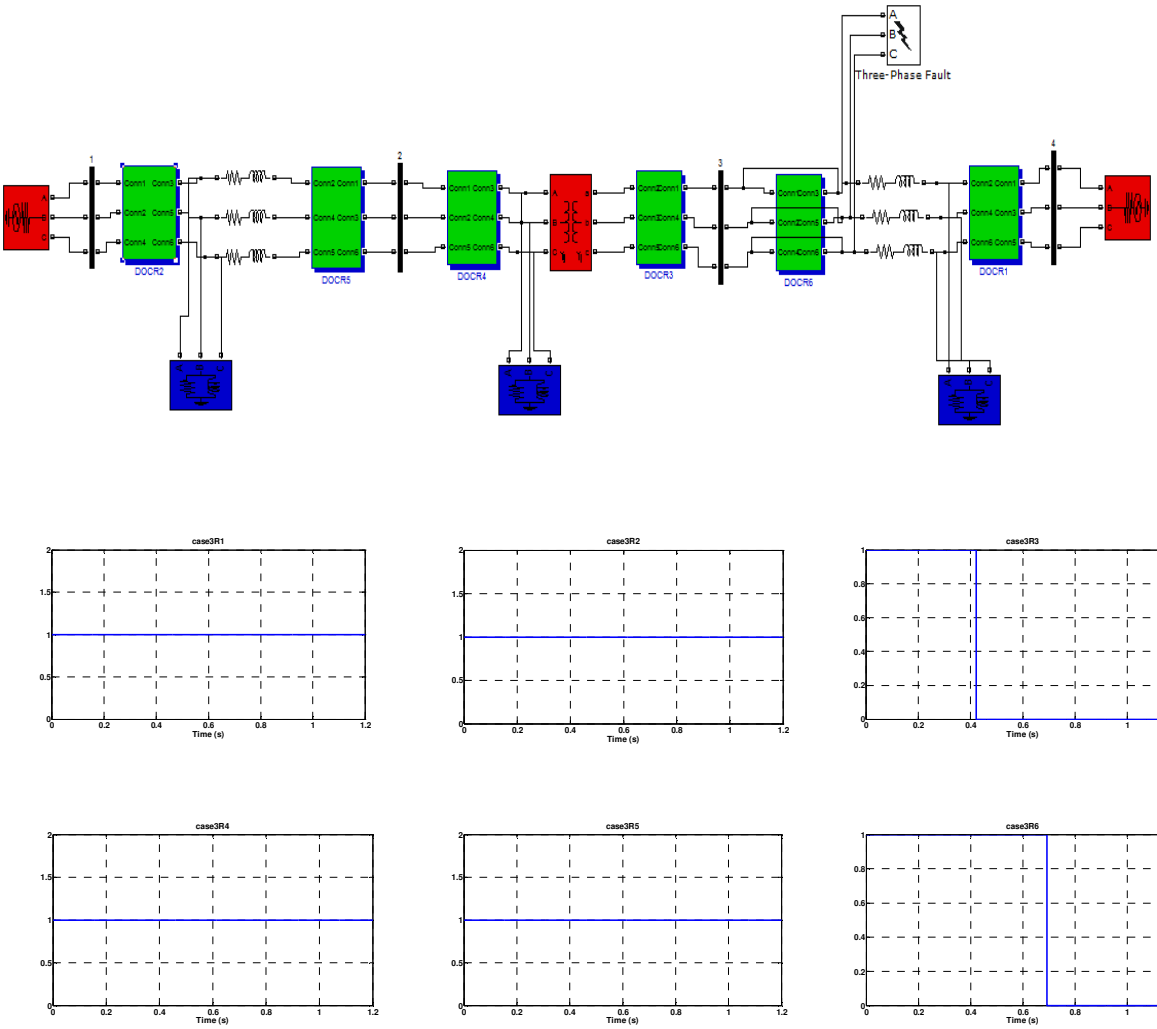


Şekil 4.6 Çift yönlü çalışma röle açma sinyalleri

4.2.3 Senaryo 3- Çift Kaynaktan Beslenen Sistemde Yedek Röle için Selektivite

Son olarak yine çift yönlü beslenen bir şebeke modeli üzerinde çalışılmıştır. Bu sistemi diğerinden ayıran en önemli unsur koruma sisteminde yedekleme yapılan rölenin etkinliğinin test edilmesidir. Açması gereken rölelerin açma yapmaması yani hatalı çalışma durumunun göz önüne alındığı bir senaryo oluşturulmuştur. Röle koordinasyonu yapılan röleler arası koordinasyon zaman payı ayarı, buradaki en önemli unsur olmaktadır. Şekil 4.7'deki sonuçlar incelendiğinde normalde arızaya en yakın olan rölenin açma yapması gerekirken kontrollü olarak bu rölenin açma yapmaması

sağlanmış ve bu rölenin yedeği durumundaki rölenin seçicilik hesabına göre kısa süre sonra açtığı görülmüştür. Ayrıca arızaya yakın olan diğer şebeke yönündeki rölenin de açma yaptığı gözlemlenmektedir.

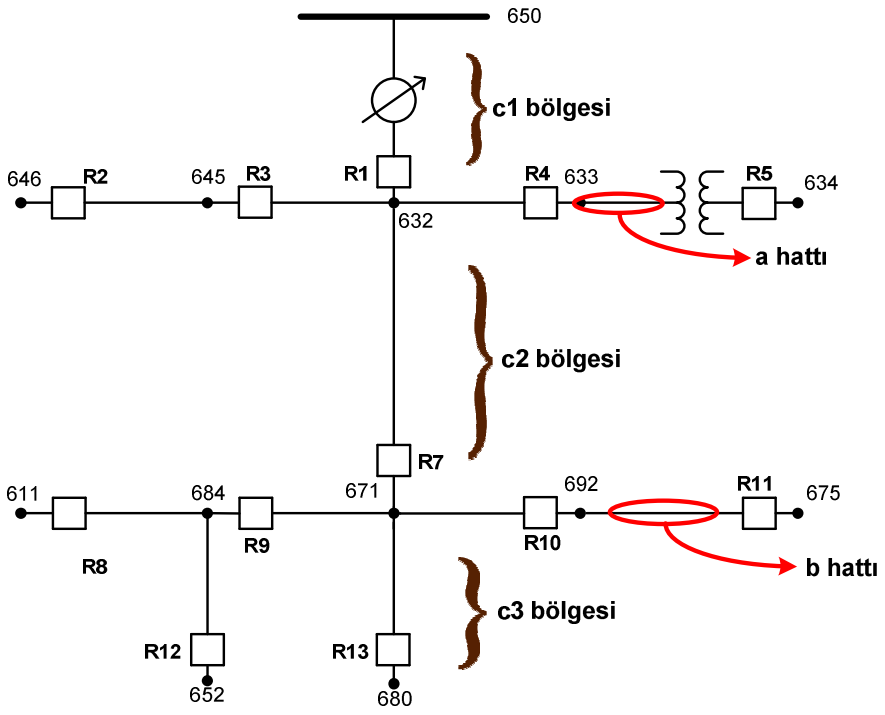


Şekil 4.7 Çift yönlü çalışma yedek röle açma sinyalleri

4.3 IEEE 13-Baralı Test Sistemi Üzerinde Çeşitli Baralara Dağıtık Üretim Tesisleri Entegrasyonu ile Arıza Senaryolarının oluşturulması ve Koruma Sistemine Etkilerinin İncelenmesi

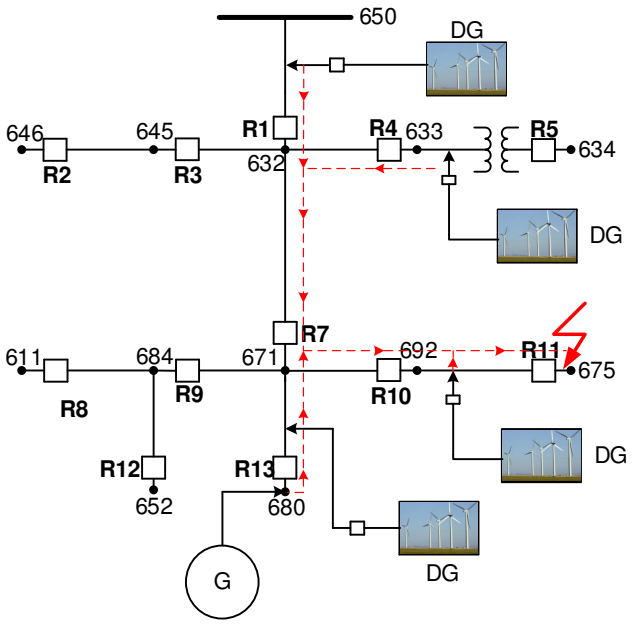
Dağıtım test sistemi üzerinde çeşitli arıza senaryoları gerçekleştirilmiştir. Öncelikle şebeke üzerinde 5 farklı bağlantı bölgesi belirlenmiştir. Belirlenen bu bölgelerin özellikle 3 fazlı hatlar olmasına dikkat edilmiş, böylece daha belirgin ve çözüme yönelik sonuçlar alınacağı düşünülmüştür. Belirlenen bölgeler a,b,c1,c2 ve c3 bölgeleri olarak

adlandırılmıştır. Test sistemini gösteren genel sistem konfigürasyonu Şekil 4.8'de verilmiştir. Sistemde her bir senaryoda 4 adet dağıtık üretim kaynağı kullanılmıştır. Her bir senaryoda, belirlenen bağlantı bölgelerine dağıtık üretim kaynağı bağlanılarak simulasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



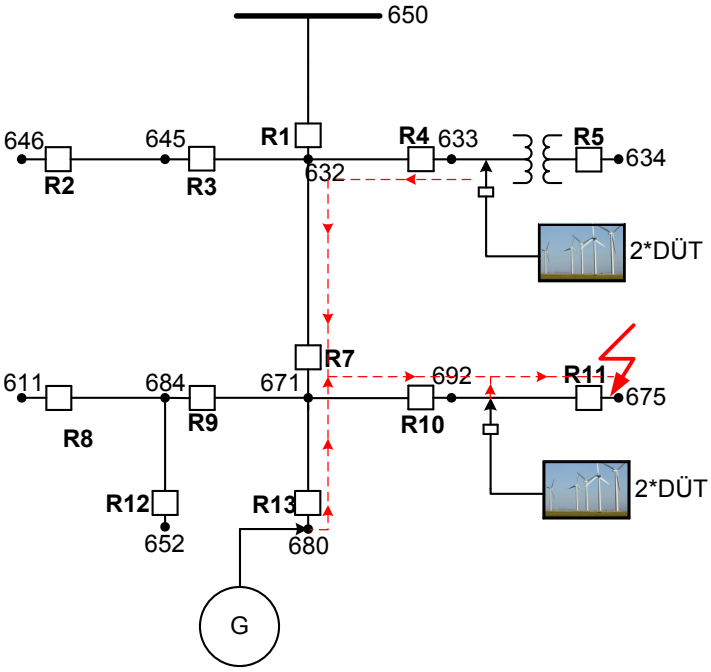
Şekil 4.8 Dağıtım şebekesi arıza bölgeleri

Gerçekleştirilen çalışmada, her bir senaryo için aynı bara noktası seçilerek, 675 no'lu barada 3 faz arızası meydana getirilmiş ve sonuçlar gözlemlenmiştir. Her birinde 4'er adet dağıtık üretim kaynağı bulunan 4 farklı senaryo için aynı noktada oluşturulan arıza sonucu sistemde meydana gelen akım değerleri ve röle açma sürelerinin karşılaştırılması, özellikle adaptif koruma sisteminin kurulmasında önemli bilgilerin elde edilmesini sağlayacaktır.



Şekil 4.9 Senaryo 1 çalışma topolojisi

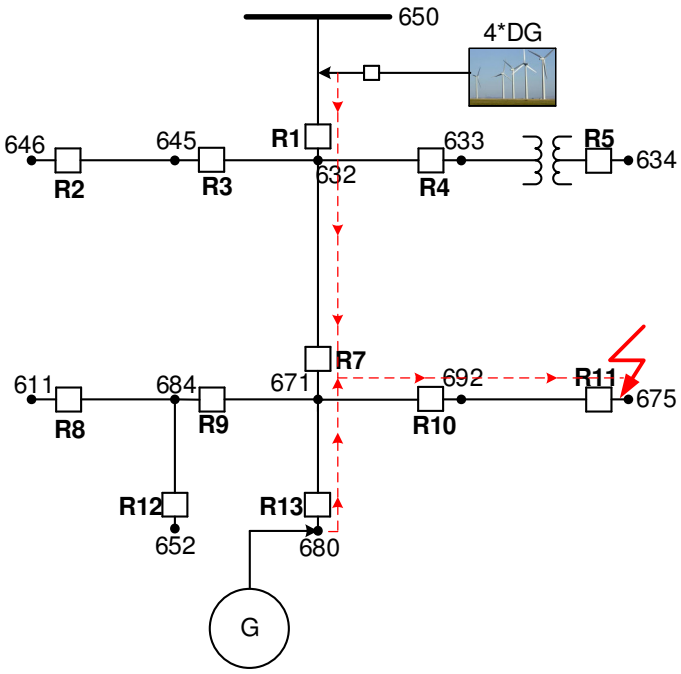
Birinci senaryoda 4 farklı bağlantı bölgesine birer adet dağıtık üretim kaynağı bağlanmıştır (Şekil 4.9). Diğer bir senaryoda ise 2 farklı bağlantı bölgesi seçilerek her bir noktaya 2'şer adet dağıtık üretim kaynağı eklenmiştir (Şekil 4.10).



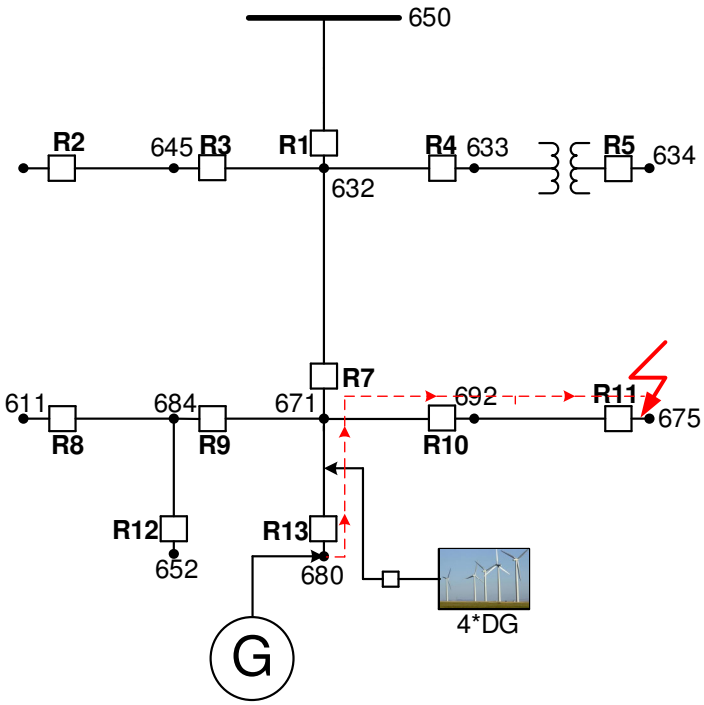
Şekil 4.10 Senaryo 2 çalışma topolojisi

Senaryo 3 ise tek bir bağlantı bölgesi seçilerek tüm dağıtık üretim kaynaklarının bu noktaya bağlanması ile oluşturulmuştur (Şekil 4.11). Son senaryoda farklı bir bağlantı

bölgesine yine tüm dağıtık üretim kaynakları bağlanarak çalışma tamamlanmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.11 Senaryo 3 çalışma topolojisi



Şekil 4.12 Senaryo 4 çalışma topolojisi

Oluşturulan 4 farklı senaryo MATLAB/Simulink SymPowerSystem ortamında modellenerek simülasyonlar gerçeklenmiştir. Tüm senaryolarda dağıtık üretim tesisi

olarak kullanılan rüzgar türbinlerinin her biri 1.5 MW ve tüm senaryolarda ada durumu için kullanılan ana (master) kaynak ise 3.125 MW olarak seçilmiştir. Her bir senaryo sonucu elde edilen arıza akımları Çizelge 4.1'de görülmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde aynı noktada oluşan arızaya rağmen önemli sayılabilecek akım farkları meydana gelmektedir. Örneğin 632 nolu bara incelenecek olursa, senaryo 1 ve senaryo 3 sonucu elde edilen akım farkı 900 A seviyelerinde olup önemli bir fark olarak karşımıza çıkmaktadır. Benzer farklılıklar diğer senaryolar ve baralar karşılaştırıldığında da gözlemlenebilmektedir.

Çizelge 4.1 Arıza akım değerleri

	Arıza Akımları (kA)				
Baralar / Senaryo	**632**	**671**	**692**	**675**	**680**
1	0.1	0.2	1.6	1.6	1.45
2	0.004	0.4	1.5	1.5	1.45
3	1	1	2	2	1.45
4	0.003	0.002	2	2	1.6

Ortaya çıkan sonuç göstermektedir ki dağıtık üretim tesisi tabanlı dağıtım şebekelerinin koruma yapısında değişken çalışma durumlarına karşı etkin bir şekilde önlem alabilecek adaptif bir yöntem geliştirilmelidir. Anlık olarak sistemde oluşabilecek değişimlerin en kısa sürede algılanarak röle açma süreleri güncellenmeli ve olası arızalar hızlı bir şekilde ortadan kaldırılmalıdır. Bu durumu daha net bir şekilde gözlemleyebilmek amacıyla her bir senaryo için yönlü aşırım akım röleleri açma süreleri hesaplanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Öncelikle konvansiyonel röle koordinasyonu açma süreleri hesabı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2'de görülmektedir.

Çizelge 4.2 Yönlü aşırı akım röle açma süreleri

IEEE 13 baralı test sistemi yönlü aşırı akım rölesi açma süreleri			
Yedek röle	Zaman (s)	Birinci röle	Zaman (s)
R10	0.4563	R11	0.1563
R7	0.7020	R13	0.4020
R4	0.4336	R5	0.1336
R3	0.3946	R2	0.0946
R9	0.4153	R8	0.1153

Elde edilen sonuçları karşılaştırmak ve analiz yapabilmek için 4 farklı senaryoya ait röle açma süreleri hesaplanarak çalışma tamamlanmıştır. Röle açma süreleri her bir senaryo için ayrı ayrı Tablo 4.3'te görülmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalarda konvansiyonel koruma sisteminin yeni nesil şebekeler için yetersiz kaldığı ortaya çıkmıştır. Özellikle röle açma ayar sürelerinin değişken sistem durumlarına karşı güncellenememesi, gelecekte elektrik şebeke koruması için yetersiz kalacaktır. Bu nedenle dağıtık üretim kaynakları içeren dağıtım şebekelerinde koruma yapısı için adaptif bir röle koordinasyonu algoritması geliştirilerek sistemde farklı işletim koşullarına ait oluşabilecek anlık değişimleri en hızlı şekilde algılayarak röle koordinasyonu sağlanmalıdır.

Elde edilen bu veriler ile birlikte bir sonraki adım olan adaptif koruma yapısı için modelleme ve algoritma oluşturulmuştur.

Çizelge 4.3 Tüm senaryolar için röle açma süreleri

Senaryo 1			
Yedek röle	Zaman (s)	Birinci röle	Zaman (s)
R10	0.4388	R11	0.1443
R7	0.6792	R13	0.3667
R4	0.4032	R5	0.1196
R3	0.3841	R2	0.0825
R9	0.3992	R8	0.1073
Senaryo 2			
Yedek röle	Zaman (s)	Birinci röle	Zaman (s)
R10	0.5168	R11	0.2244
R7	0.6695	R13	0.3588
R4	0.4675	R5	0.1632
R3	0.3913	R2	0.0934
R9	0.4153	R8	0.1153
Senaryo 3			
Yedek röle	Zaman (s)	Birinci röle	Zaman (s)
R10	0.3477	R11	0.0765
R7	0.6733	R13	0.3603
R4	0.3395	R5	0.0841
R3	0.3401	R2	0.0739
R9	0.3777	R8	0.0895
Senaryo 4			
Yedek röle	Zaman (s)	Birinci röle	Zaman (s)
R10	0.3392	R11	0.0736
R7	0.9739	R13	0.6106
R4	0.3536	R5	0.0906
R3	0.3535	R2	0.1012
R9	0.3853	R8	0.0923

BÖLÜM 5

DAĞITIK ÜRETİM TESİSİ İÇEREN ŞEBEKELER İÇİN GELİŞTİRİLEN ADAPTİF KORUMA ALGORİTMALARI

5.1 Dağıtık Üretim Tesisleri içeren, IEEE 4 Baralı Bir Test Sistemi Üzerinde Adaptif Koruma Algoritmasının Geliştirilmesi

Son yıllarda elektrik endüstrisindeki gelişmeler beraberinde yeni nesil teknolojilere olan ilgiyi de arttırmıştır. Akıllı şebeke teknolojisi bu kapsamda değerlendirilebilecek yeni bir konsept olarak hızla gelişmektedir. Akıllı şebekelere olan ilginin artması ve devletlerin bu alandaki yeni yatırımları ve teşvikleri ile geniş bir uygulama alanı ortaya çıkmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin artmasıyla elektrik elektronik endüstrisi de önemli yeniliklere yönelmektedir. Dağıtık üretim tesisleri içerisinde yer alan yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonunda karşılaşılan bazı problemler beraberinde çözüm tekniklerinin geliştirilmesine ihtiyaç duymaktadır.

Dağıtık üretim tesislerinin yaygınlaşmasıyla bazı avantaj ve dezavantajlar da beraberinde gelmektedir. Güç kalitesinin arttırılması, enerjinin sürekliliğinin sağlanması, güvenilirlik ve temiz enerji kaynakları olması gibi avantajlarının yanında şebeke korumasında güçlükler veya sistemin daha karmaşık bir yapıya dönüşmesi gibi dezavantajları da mevcuttur. Özelikle dağıtık üretim tesislerinin sisteme entegrasyonuyla birlikle koruma sisteminde önemli zorluklar meydana gelmektedir. Röle koordinasyonu, kısa devre akımlarının değişimi, hata yeri tespitinde zorluklar gibi mutlaka çözülmesi gereken sorunlar önem arz etmektedir.

Dağıtık üretim tesislerinin kullanıldığı dağıtım şebekelerinde koruma felsefesindeki önemli değişimler, beraberinde farklı çözüm tekniklerini de ortaya çıkarmaktadır. Bu sistemlerde, çift yönlü güç akışından dolayı farklı akım yönleri ortaya çıktığından yönlü aşırı akım rölelerinin kullanılması bazı kolaylıklar sağlamaktadır. Güç akışının her an değişebileceği bu tarz şebeke sistemlerinde koruma yapısı için mutlaka adaptif bir koruma metodunun geliştirilmesi gerekmektedir.

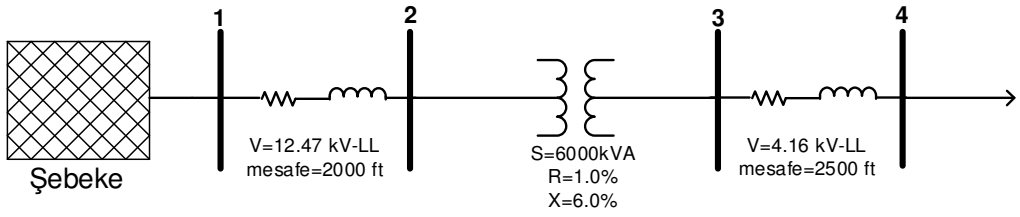
Geleneksel koruma, günümüzde pek çok sistemde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışma mantığı oldukça basit olan bu sistemler özellikle tek yönlü röle koordinasyonu için tercih edildiğinden dolayı son yıllarda entegrasyonu artan dağıtık üretim tesisleri sonrasında yetersiz kalmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu ile karmaşık bir yapıya kavuşan şebeke sistemlerinde koruma yapısının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda adaptif koruma yapısının gerekliliği ve tüm sistem koşullarının göz önüne alınarak en hızlı koruma sisteminin oluşturulması, birçok araştırmacı tarafından vurgulanmaktadır.

Farklı şebeke modelleri ve algoritmalar kullanılarak adaptif koruma stratejisi uygulamalarına literatürde rastlanmaktadır. Yönlü mesafe rölesi kullanılarak yapılan bu çalışmada röle koordinasyonu “Particle Swarm Optimizasyon” tekniği kullanılarak yapılmıştır. Başka bir çalışmada dağıtık üretim tesisi tabanlı bir dağıtım şebekesinde ada modu durumunda sistemde koruma uygulaması gerçekleştirilmiştir. Adaptif koruma yapısına genel bir bakış yapılarak farklı uygulamalara ait karşılaştırılmalar yapılmıştır.

Tez kapsamında önerilen bu çalışmada ise dağıtık üretim tesisi tabanlı bir dağıtım şebekesinde farklı noktalarda oluşan arıza durumlarına karşı çeşitli senaryolar oluşturularak adaptif koruma ve röle koordinasyonu gerçeklenmiştir. Literatürde gerçekleştirilen çalışmalarla karşılaştırıldığında öncelikle dinamik bir yapıya sahip olması ve çok sayıda dağıtık üretim tesisinin entegrasyonunu da içermesiyle röle ayar değerlerini hızlı bir şekilde güncellenmesi ön plana çıkmaktadır. Ayrıca farklı noktalarda arızalar oluşturularak arıza sonrası adaptif koruma stratejisinin başarısı, geleneksel koruma stratejisi ile karşılaştırılmıştır.

5.1.1 Dağıtım Şebekesi Modeli Tanıtımı

Adaptif koruma stratejisi ve röle koordinasyonu için öncelikle IEEE 4 Baralı dağıtım şebekesi modeli tercih edilmiştir. Test sisteminin orijinal şeması Şekil 5.1'de görülmektedir. Sistem 12.47 kV gerilime sahip bir sonsuz kaynak ile beslenmektedir. Ayrıca hat ortasında 12.47kV/4.16 kV indirici bir trafo bulunmaktadır.



Şekil 5.1 IEEE 4 Baralı Test Sistemi

Sisteme ait detaylı parametreler Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de verilmektedir [69]. Yapılan çalışmada hedeflenen adaptif koruma stratejisinin geliştirilmesi için şebeke modelinin düzenlenmesi gerekmektedir.

Çizelge 5.1 Transformatör Verileri

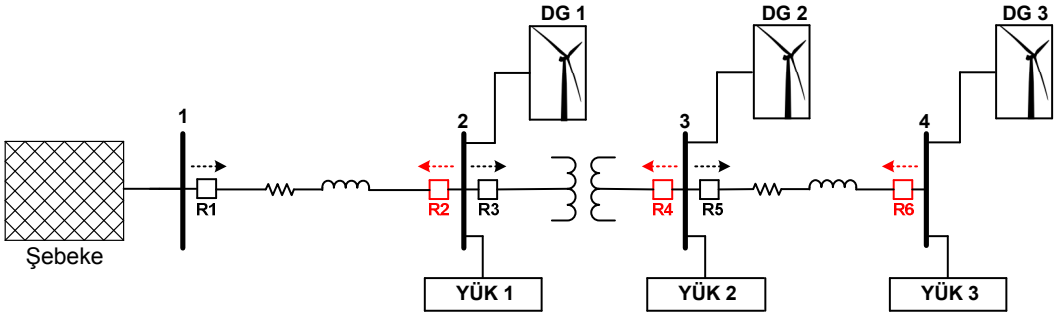
	kVA	kVLL-yükseltici	kVLL-düşürücü	R - %	X - %
İleri Yön	6,000	12.47	4.16	1.0	6.0
Geri Yön	6,000	12.47	24.9	1.0	6.0

Çizelge 5.2 Yük Verileri

	Dengeli	Dengesiz
Faz-1		
kW	1800	1275
Güç Faktörü	0.9	0.85
Faz-2		
kW	1800	1800
Güç Faktörü	0.9	0.9
Faz-3		
kW	1800	2375
Güç Faktörü	0.9	0.95

Düzenlenen yeni sistem Şekil 5.2'de görülmektedir. Ayrıca sisteme ait yeni yük parametreleri Çizelge 5.3'te verilmiştir. Adaptif koruma yapısına uygun hale getirilen şebekede yapılan değişiklikler aşağıda verilmiştir:

- Sistemde 2,3 ve 4 numaralı baralara birer Dağıtık Üretim Tesisi entegre edilmiştir.
- Yönlü enerji akışına uygun hale getirilen yeni şebeke modeline ilave olarak R2, R4 ve R6 yönlü aşırı akım röleleri ilave edilerek her iki yönde koruma yapabilecek hale getirilmiştir.
- Orijinal sistemde sadece hat sonunda bulunan yük, yeni sistemde her bir baraya dağıtılarak adaptif koruma sistemine uygun şebeke modeli tamamlanmıştır.



Şekil 5.2 Düzenlenen IEEE 4 Baralı Test Sistemi

Adaptif koruma yapısına uygun hale getirilen dağıtım şebekesine, dağıtık üretim tesisi olarak 3 adet 1.5 MW'lık rüzgar türbini bağlanmıştır. Eşit güç seviyelerine sahip rüzgar türbinlerinin şebekeye entegrasyonu ile enerji akışı yönlü hale gelerek koruma yapısının geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu duruma çözüm sunmak amacıyla yönlü aşırı akım rölelerinin optimum zaman diliminde koruma sağlaması için adaptif koruma sistemi geliştirilmiştir.

Çizelge 5.3 Adaptif sistem yük dataları

Dengeli	Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAr)
YÜK-1	3500	1696
YÜK-2	1000	485
YÜK-3	900	434

Koruma sisteminin en önemli unsurlarından biri olan rölelerin olası arıza durumunda sistemi en kısa sürede ve mümkün olduğunca en az tüketiciyi enerjisiz bırakarak arızayı ortadan kaldırması istenmektedir. Dağıtım şebekesi üzerinde röle bağlantıları ve röle set ayarları yapılırken seçiciliğin dikkate alınması gerekmektedir. Böylece olası arıza durumunda en uygun rölenin açma yapması sağlanmaktadır. Şayet hedeflenen rölede bir sorun yaşanması halinde ilgili rölenin yedeği durumunda olan bir sonraki röleye açma yaptırılarak sistemin arızadan korunması sağlanmalıdır. Adaptif koruma yapısı, yönlü enerji akışına göre çalıştığından her iki yönde enerji akışı dikkate alınarak çift yönlü koruma stratejisine uygun bir şekilde koordinasyon hesabı yapılmalıdır. IEC 60255 standardına göre röle açma sürelerine ait bağıntılar [70]:

Standart Ters Zamanlı(SI)	$t = TMS * 0.14/[(I_f / I_s)^{0.02} - 1]$	(5.1)
Yüksek Ters Zamanlı (VI)	$t = TMS * 13.5/[(I_f / I_s) - 1]$	(5.2)
Çok Yüksek Ters Zamanlı (EI)	$t = TMS * 80/[(I_f / I_s)^2 - 1]$	(5.3)
En Uzun Ters Zamanlı	$t = TMS * 120/[(I_f / I_s) - 1]$	(5.4)

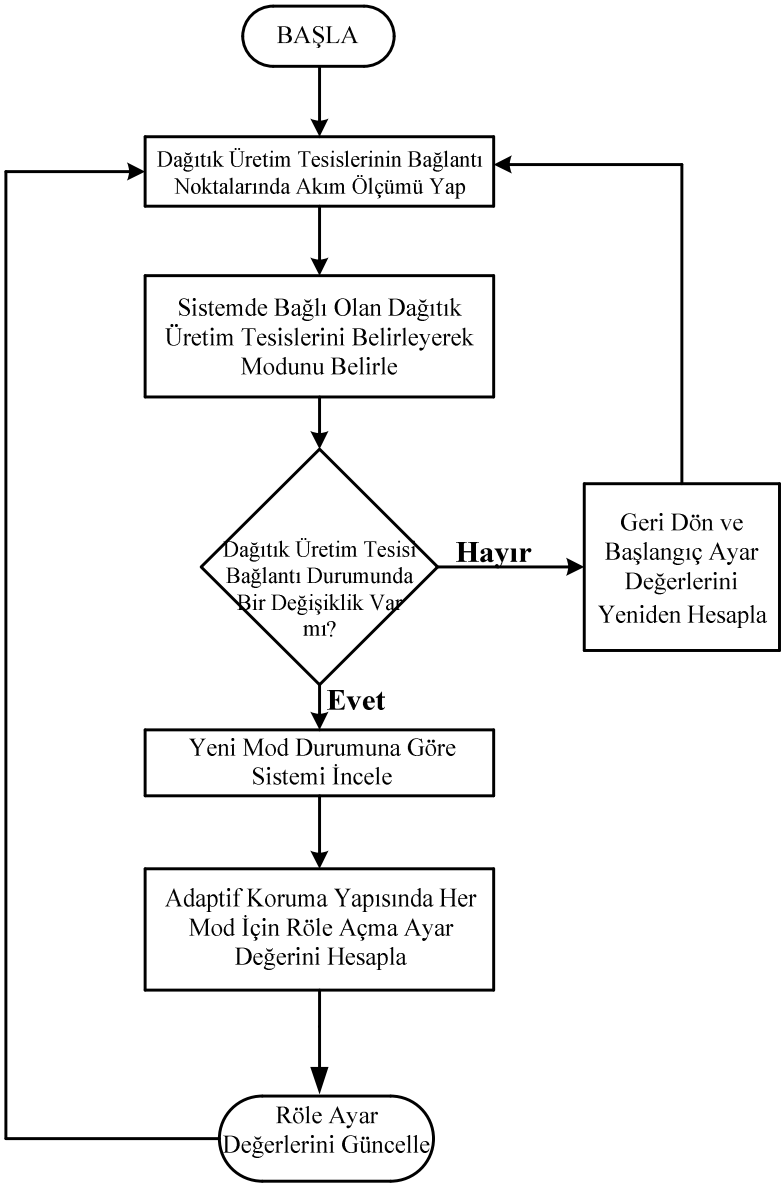
biçiminde verilmektedir. Bağıntılardaki t röle açma süresi, TMS açma zaman ayarı, I_s nominal hat akımı, I_f arıza akımı ve n (0.14, 13.5, 80 ve 120 değerlerinde) ise röle bağıntı sabitlerini simgelemektedir.

Çizelge 5.4 Çalışma modları

Mod	DG1	DG2	DG3
1	OFF	OFF	OFF
2	OFF	OFF	ON
3	OFF	ON	OFF
4	OFF	ON	ON
5	ON	OFF	OFF
6	ON	OFF	ON
7	ON	ON	OFF
8	ON	ON	ON

IEEE 4 Baralı test sistemi adaptif koruma ve röle koordinasyonu algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 5.3'te görülmektedir. Algoritma mantığında öncelikle her barada akım ölçümü yapılarak sistemin güç akışı gözlemlenmektedir. Sonraki aşamada sistemde herhangi bir dağıtık üretim tesisinin bağlı olup olmadığı, eğer bağlıysa kaç adet olduğu belirlenir. Böylece şebekenin toplam gücü göz önüne alınarak kısa devre akımları elde edilir.

Dağıtım şebekesinde hiç dağıtık üretim tesisinin olmadığı durum ile tüm kaynakların bağlı olduğu durum arasında Çizelge 5.4'te görülen toplam 8 farklı çalışma modu tasarlanarak her senaryo için güncel röle açma ayar değerleri ile adaptif koruma prensibi oluşturulmuştur. Böylece geliştirilen algoritma ile adaptif koruma stratejisi tamamlanmış, çalışma moduna karar verilerek güncel röle açma ayar değerleri belirlenmiş ve arıza esnasında en hızlı zamanda en uygun röleler açma yaptırılarak arıza ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 5.3 Adaptif sistem akış diyagramı

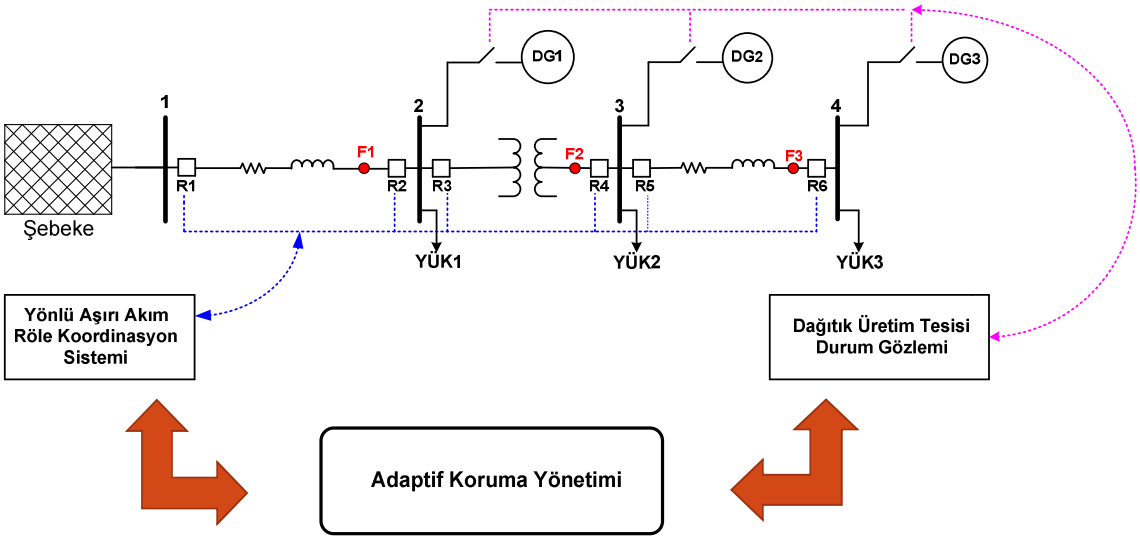
5.1.2 Çalışma Sonuçları

Geliştirilen algoritma için MATLAB/Simulink/SimPowerSystems platformu kullanılmıştır. Farklı senaryolarla test edilen ve yorumlanan sonuçlar aşağıda detaylı bir şekilde verilmiştir.

Düzenlenen test sistemi üzerinde farklı işletim durumları dikkate alınarak geliştirilen adaptif koruma algoritması kullanılmıştır. Her bir çalışma modu dikkate alınarak belirlenen arıza noktalarında 3 fazlı kısa devre arızaları oluşturularak sonuçlar gözlemlenmiştir. Geliştirilen adaptif koruma sistemi ile şebekenin durumuna göre

güncel röle ayar değerleri hesaplatılarak röle koordinasyonu sağlanmış ve şebeke koruması başarılı bir şekilde sağlanmıştır.

Çalışmada kullanılan adaptif koruma yapısına ait şema şekil 5.4'te görülmektedir. İlgili şemada gözlemlenebilecek en önemli unsurlar aynı akım yönlerine ait röleler (R1-R3-R5 ve R2-R4-R6), sisteme bağlanan dağıtık üretim tesisleri ve arıza noktalarıdır. Oluşturulan 8 farklı çalışma modu dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Sistemde her biri 1.5 MW olmak üzere 3 adet rüzgar türbini kullanılmıştır.



Şekil 5.4 Adaptif röle koordinasyonu sistemi

Geliştirilen algoritma ile optimum röle koordinasyonunun sağlanması hedeflenmiştir. Röle koordinasyonundaki en önemli parametre olan röle açma ayar değerinin (TMS) hesaplanması, koruma yapısının temelini oluşturmaktadır. Yönlü aşırı akım röle standardı kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmış ve sırasıyla tüm rölelerin ayar değerleri bulunarak koordinasyon sağlanmıştır.

Örnek bir koordinasyon hesabı Mod 6 işletim durumu için yapılmıştır. Öncelikle, baralar arası hat ve kısa devre akımlarının bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca koordinasyon hesabı yaparken kaynağa en uzak noktadaki röleye ait TMS değeri standarda uygun olarak 0.05 sn alınmaktadır [71]. Mod 6 durumuna ait 1-2 baraları arası hat akımı Is1=331.92 A olarak hesaplanmıştır. 2-3 baraları arası hat ve kısa devre akımları ise If1=7938 A, Is2=277.8 A olarak hesaplanmıştır. Son olarak 3-4 baraları arası akım değerleri If2=3402

A, Is3=165.6 A şeklinde belirlenmiştir. Elde edilen bu ifadeler kullanılarak koordinasyon zaman sürelerinin hesaplanmasına geçilmiştir. Yönlü aşırı akım açma zaman standardı bağıntısı kullanılarak:

$$t_1 = \frac{0.05 \times 0.14}{\left[\left(\frac{3402}{165.6}\right)^{0.02} - 1\right]} = 0.1123\ s \tag{5.5}$$

ifadesi elde edildikten sonra koordinasyon zaman payı olarak 0.3 sn [71] ilave edilerek sonraki röle için hesaplamaya geçilmiştir.

$$t_{2_1} = 0.1123 + 0.3 = 0.4123\ s \tag{5.6}$$

Hat ortasında bulunan transformatör dönüştürme oranı dikkate alınarak,

$$I_{ftr} = 3402 \times \frac{4.16}{12.47} = 1134.9\ A \tag{5.7}$$

değeri elde edilmiştir. Yedek röleye ait TMS2 değeri hesabı için,

$$TMS_2 = \frac{[t_{2_1}\left(\frac{I_{ftr}}{I_{S2}}\right)]^{0.02} - 1}{0.14} = 0.0841\ s \tag{5.8}$$

işlemi yapılmıştır. Son röleye ait zaman ayarı için ise,

$$t_2 = \frac{TMS_2 \times 0.14}{\left[\left(\frac{I_{f2}}{I_{S2}}\right)^{0.02} - 1\right]} = 0.1697\ s \tag{5.9}$$

$$t_{3_1} = 0.1697 + 0.3 = 0.4697\ s \tag{5.10}$$

$$TMS_3 = \frac{[t_{3_1}\left(\frac{I_{f2}}{I_{S3}}\right)]^{0.02} - 1}{0.14} = 0.2199\ s \tag{5.11}$$

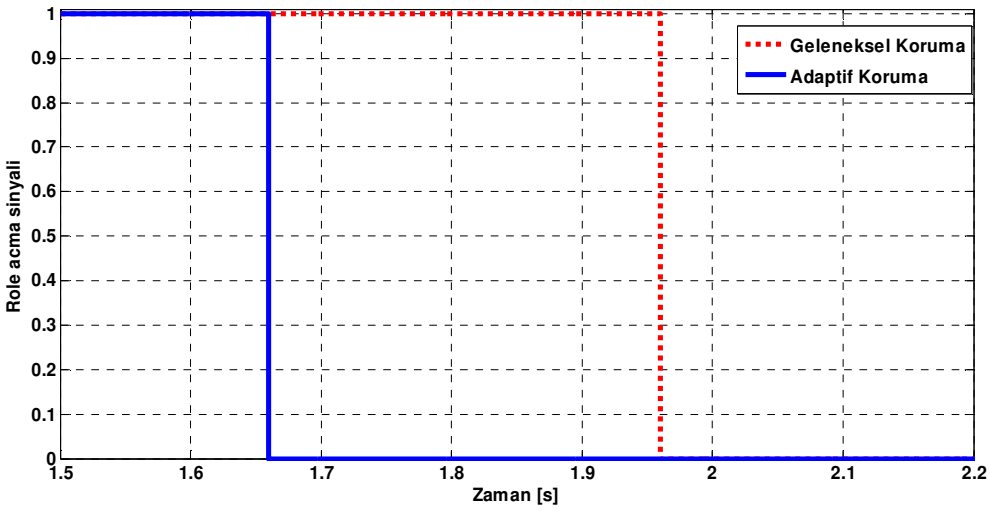
hesaplamaları yapılarak, Mod 6 için örnek koordinasyon hesaplamaları tamamlanmıştır. Yapılan hesaplamalar 8 farklı mod için yapılarak adaptif koruma yapısı

tamamlanmış ve algoritma çalışır hale getirilmiştir. F1, F2 ve F3 arıza noktaları sistemde hat başı, hat ortası ve hat sonu noktaları, olarak belirlenerek şebeke üzerinde olası arıza bölgeleri olarak belirlenmiş ve belirlenen arıza noktalarında 3 fazlı kısa devre arızaları oluşturularak sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.5'te görülmektedir. Bu çizelgede görüleceği üzere her bir mod durumunda arıza meydana gelen noktaya en yakın röle ya da röleler en kısa zamanda açma yaparak sistemi adaptif bir şekilde korumaktadır. Geliştirilen adaptif koruma sisteminin başarısını ortaya koymak adına geleneksel koruma sistemine ait sonuçlarla karşılaştırma yapılarak daha net bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.5'te elde edilen sonuçların daha net ortaya çıkarılması amacıyla Şekil 5.5'te Mod 2 durumuna ait sonuçlar görülmektedir. F1 noktasında meydana gelen kısa devre arızası sonucunda adaptif koruma algoritması ile R6 rölesi, arızadan 0.6601 saniye sonra açma yaparken aynı durumda geleneksel koruma sisteminde 0.9603 saniye sonra rölenin açma sinyali gönderdiği görülmektedir. Meydana gelen bu açma süresi farkı, koruma sistemleri için oldukça önem arz etmekte ve adaptif koruma yapısının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

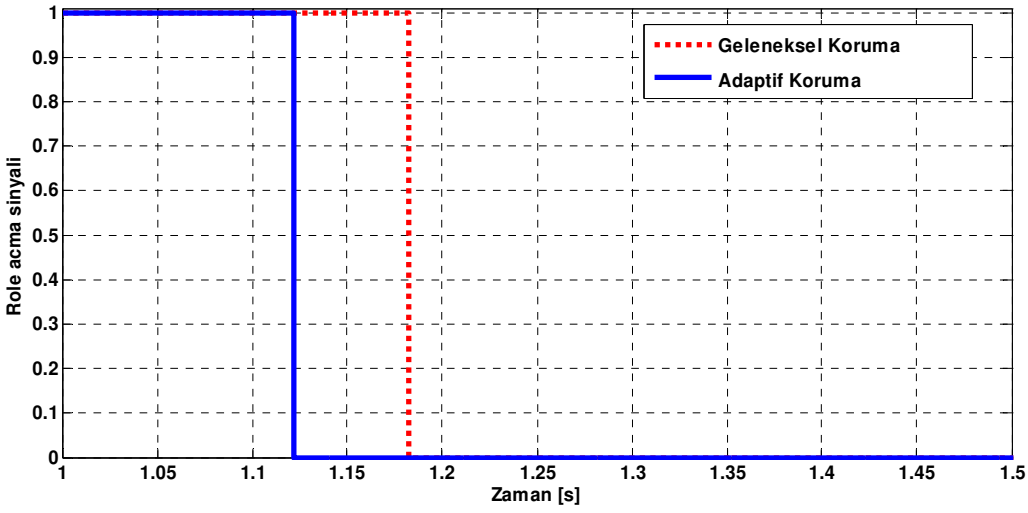
Çizelge 5.5 Adaptif Koruma Sistemi Çalışma Sonuçları

İşletme Durumu	Arıza Noktası	Açma Yapan Röle	Geleneksel Koruma için Açma Zamanı (s)	Adaptif Koruma için Açma Zamanı (s)
1	F1	R1	R1=0.3846	R1=0.3829
1	**F2**	**R3**	**R2=0.152**	**R2=0.1509**
1	F3	R5	R3=0.1017	R3=0.1017
2	**F1**	**R1-R2**	**R1=0.3465** **R2=0.1203**	**R1=0.3449** **R2=0.1203**
2	F2	R3-R4	R3=0.152 R4=0.5885	R3=0.1509 R4=0.4269
2	**F3**	**R5-R6**	**R5=0.076** **R6=0.9603**	**R5=0.076** **R6=0.6601**
3	F1	R1-R2	R1=0.3456 R2=0.1122	R1=0.3447 R2=0.1122
3	**F2**	**R3-R4**	**R3=0.1517** **R4=0.5659**	**R3=0.1513** **R4=0.4394**
3	F3	R5	R5=0.1014	R5=0.1014
4	**F1**	**R1-R2**	**R1=0.3428** **R2=0.0903**	**R1=0.3417** **R2=0.0903**
4	F2	R3-R4	R3=0.1488 R4=0.1825	R3=0.1483 R4=0.1219
4	**F3**	**R5-R6**	**R5=0.0764** **R6=0.9578**	**R5=0.0764** **R6=0.8552**
5	F1	R1-R2	R1=0.3443 R2=0.1079	R1=0.3439 R2=0.1079
5	**F2**	**R3**	**R3=0.1515**	**R3=0.151**
5	F3	R5	R5=0.1018	R5=0.1018
6	**F1**	**R1-R2**	**R1=0.3396** **R2=0.0887**	**R1=0.3391** **R2=0.0887**
6	F2	R3-R4	R3=0.1516 R4=0.5881	R3=0.151 R4=0.5082
6	**F3**	**R5-R6**	**R5=0.077** **R6=0.9637**	**R5=0.077** **R6=0.7521**
7	F1	R1-R2	R1=0.3378 R2=0.0857	R1=0.3381 R2=0.0857
7	**F2**	**R3-R4**	**R3=0.1514** **R4=0.5653**	**R3=0.1516** **R4=0.5037**
7	F3	R5	R5=0.1014	R5=0.1014
8	**F1**	**R1-R2**	**R1=0.3341** **R2=0.0754**	**R1=0.3341** **R2=0.0754**
8	F2	R3-R4	R3=0.1487 R4=0.2142	R3=0.1487 R4=0.2142
8	**F3**	**R5-R6**	**R5=0.0774** **R6=0.9652**	**R5=0.0774** **R6=0.9652**



Şekil 5.5 Mod 2 Durumu İçin Röle 6 Koordinasyonu

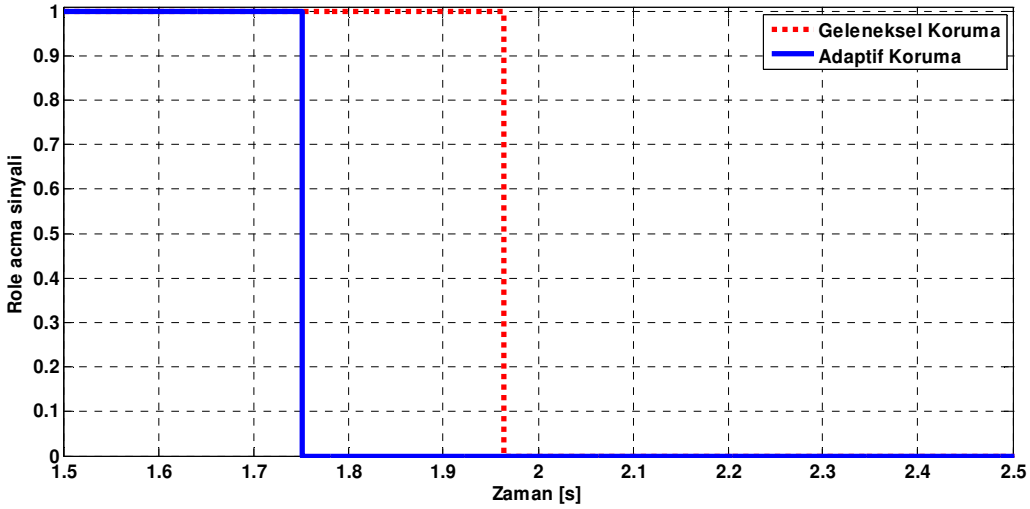
Diğer bir örneğe bakılacak olursa Şekil 5.6'da da görüleceği üzere Mod 4 durumunda F2 noktasında meydana gelen bir kısa devre arızası sonucunda adaptif koruma yapısında R4 rölesi 0.1219 saniye sonunda açma yapmış aynı koşullar altında konvansiyonel koruma sistemiyle ise R4 rölesinin açma süresi 0.1825 saniye olmuştur.



Şekil 5.6 Mod 4 Durumu İçin Röle 4 Koordinasyonu

Şekil 5.7'de ise Mod 6 durumu dikkate alınmış ve F3 noktasında meydana gelen arıza sonrası durum analiz edilmiştir. Ortaya çıkan sonuç göstermektedir ki adaptif koruma

sistemi ile R6 açma süresi 0.7521 saniye iken konvansiyonel korumada bu değer 0.9637 saniye olarak ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.7 Mod 6 Durumu İçin Röle 6 Koordinasyonu

Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki dağıtık üretim tesisi tabanlı bir dağıtım şebekesinde röle koordinasyonu, hızlı arıza izolasyonu ve güvenilir bir koruma sistemi için adaptif koruma yapısında gerçeklenmelidir. Konvansiyonel koruma yapısı ile kıyaslama yapıldığında bu durum daha net bir şekilde gözlemlenmiştir. Dağıtım şebekesi için adaptif koruma sistemi ve röle koordinasyonu geliştirilerek sistemde meydana gelebilecek anlık değişimler algılanarak yeni durum için röle parametreleri güncellenerek en uygun koruma yapısı oluşturulmuş olmaktadır.

IEEE 4 Baralı test sistemi ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde analiz edilerek gelecek çalışmalar için eksiklikler ve geliştirilmesi gereken unsurlar tespit edilmiş ve çalışmalara başlanmıştır. Bu kapsamda daha geniş bir şebeke modeli olan IEEE 13 Baralı test sistemi üzerinde kapsamlı bir adaptif koruma yapısını geliştirilmesi hedeflenmiştir.

5.2 Dağıtık Üretim Tesisleri içeren, IEEE 13 Baralı Bir Test Sistemi Üzerinde Adaptif Koruma Algoritmasının Geliştirilmesi

Tez çalışmasının bir önceki aşamasında adaptif koruma sisteminin geliştirilmesi öncelikle daha küçük ve basit bir şebeke olan IEEE 4 baralı test sistemi üzerinde

gerçekleştirilmişti. Tamamlanan çalışmada eksik ve yetersiz görülen alanlar saptanarak daha büyük ve kapsamlı bir şebeke modeli olan IEEE 13 Baralı test sistemi üzerinde çalışılmıştır. Farklı yük ve hat bağlantılarına sahip olan dağıtım şebekesi üzerinde koruma ve röle koordinasyonunun sağlanması için kapsamlı bir algoritma çalışmasına gereksinim olduğu anlaşılarak bu yönde çalışmalar yapılmıştır. Dallı şebeke yapısına sahip olan test sistemi üzerinde özellikle düğüm noktalarında röle koordinasyonunun sağlanması için optimum çalışma çıktılarının elde edilmesinin akıllı ve adaptif bir koruma algoritması ile sağlanabileceğine karar verilmiştir. Mevcut şebeke üzerinde pek çok noktaya dağıtık üretim tesisi bağlanabileceğinden, tüm işletme koşullarının göz önüne alınacağı bir koruma yapısına gereksinim duyulmuştur.

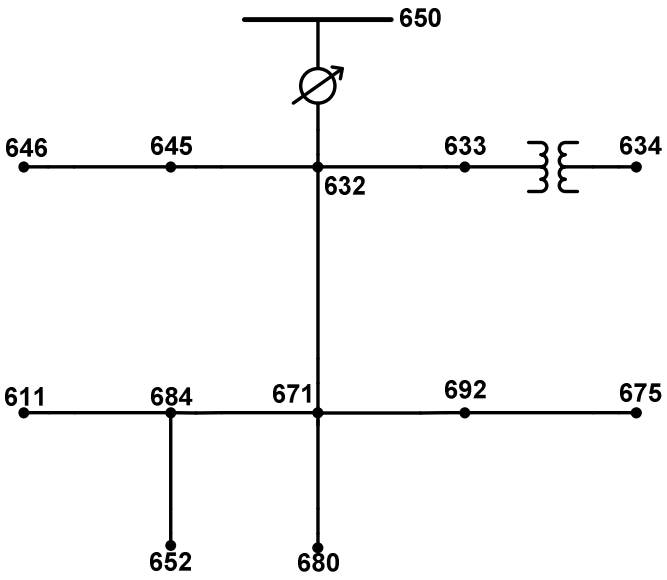
Gerçekleştirilen çalışmada sistemdeki kısa devre değerlerini, şebeke durumunu (ada ya da şebeke modu) ve dağıtık üretim tesislerinin durumlarını dikkate alan bir algoritma gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Gerekli araştırma ve çalışmalar yapılarak geliştirilen adaptif koruma ve röle koordinasyonu ile tüm sistem koşulları dikkate alınarak akıllı ve adaptif bir koruma yapısı tasarlanmıştır. Böylece güncel röle açma zaman ayarı değerleri elde edilerek röle koordinasyonu sağlanmış ve arıza sonrası ilgili röle ya da röleler en hızlı şekilde açma yaptırılarak koruma sağlanmıştır.

5.2.1 Geliştirilen IEEE 13 Baralı Test Sistemi Koruma Yapısı

Farklı çalışma senaryolarına ve arıza analizlerine de uygun olan IEEE 13 baralı test sistemi dağıtım şebekesi çalışmalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Dağıtım şebekesi modeli Şekil 5.8'de görülmektedir. Sistem tek fazlı, 2 fazlı ve 3 fazlı hat kollarını içeren 13 farklı bara noktasını barındıran yapıya sahiptir.

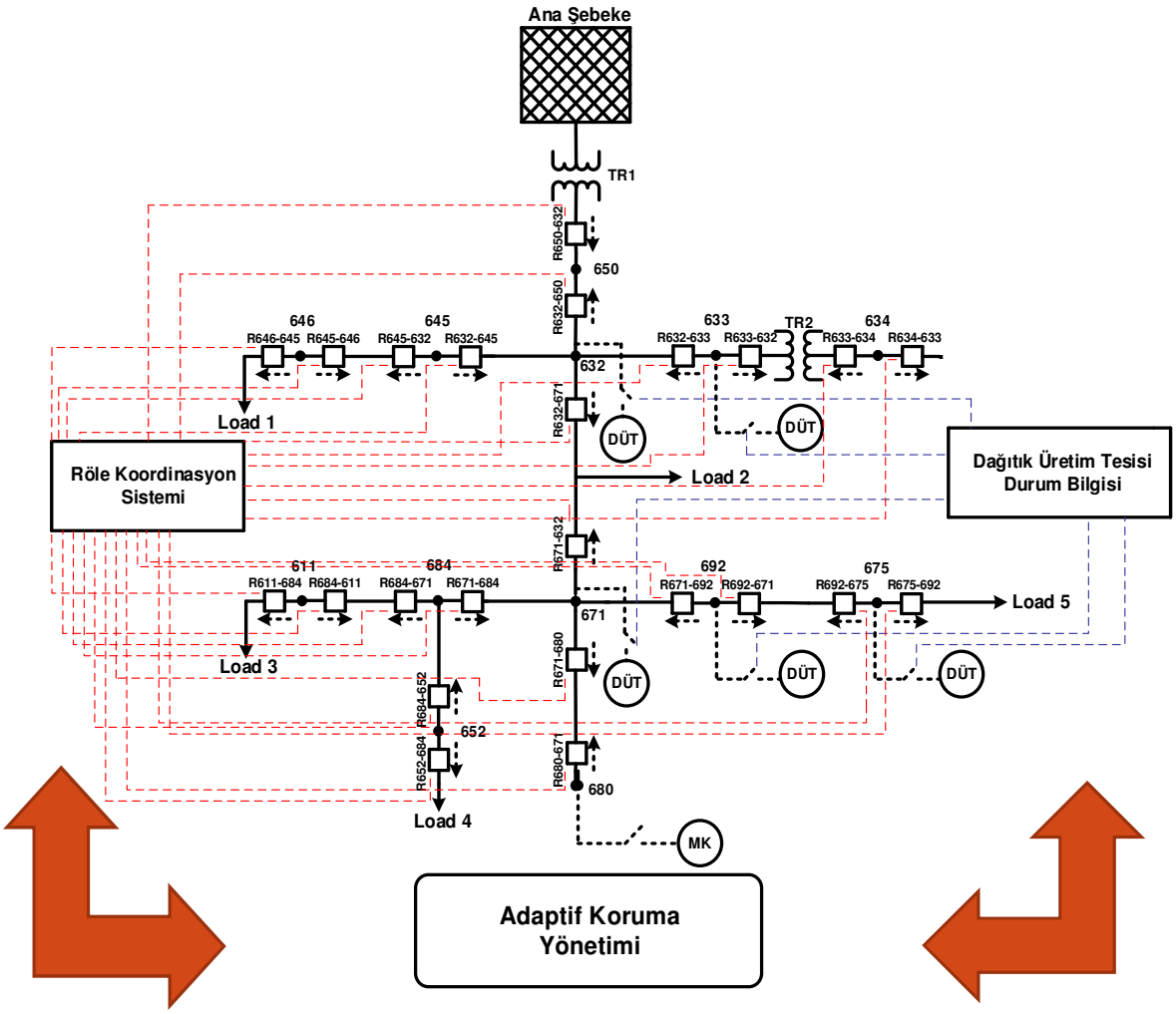
Mevcut dağıtım şebekesine ait orijinal parametreler dikkate alındığında tek yönlü bir enerji akışına sahip olduğu görülmektedir. Adaptif koruma yapısına uygun bir şebeke modeli için sistemin düzenlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda çift yönlü bir enerji akışının sağlanması ve adaptif koruma yapısına uygun bir şebeke modeli için sisteme dağıtık üretim tesislerinin entegre edilmesi planlanmıştır. Şebeke modelinde dağıtık üretim tesisleri farklı baralara bağlanarak yeni sistem oluşturulmuştur. Oluşturulan yeni şebeke modelinde toplam 5 adet rüzgar türbini entegre edilerek çift yönlü enerji akışına uygun bir şebeke modeli elde edilmiş ve adaptif koruma stratejisinin test

edilmesi sağlanmıştır. Çift yönlü güç akışından dolayı, bu tarz sistemlerde yönlü aşırı akım rölelerinin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle hem ana şebekeden yüklere, hem de dağıtık üretim tesislerinden yüklere olan tüm enerji akışını algılayabilecek röleler kullanılarak arıza tespitinin en kısa sürede sağlanması gerekmektedir. Sistemde tüm baraların giriş ve çıkışlarına farklı yönleri algılayan aşırı akım röleleri bağlanarak koruma yapısı tamamlanmıştır. Oluşturulan adaptif koruma sistemine ait genel devre şeması Şekil 5.9'da görülmektedir.



Şekil 5.8 IEEE 13 Baralı test sistemi

Geliştirilen adaptif koruma yönetimi, röle koordinasyon sistemi ve dağıtık üretim tesisi durum bilgisi mekanizmalarının bütününü oluşturmaktadır. Sistemde, tüm kaynakların durum bilgisi merkeze aktarılarak şebeke toplam gücü ve kısa devre akımlarının hesaplanması ve elde edilen bilgilerin röle koordinasyon sistemine iletilerek röle koordinasyonu oluşturulması prensibine göre çalışmaktadır.

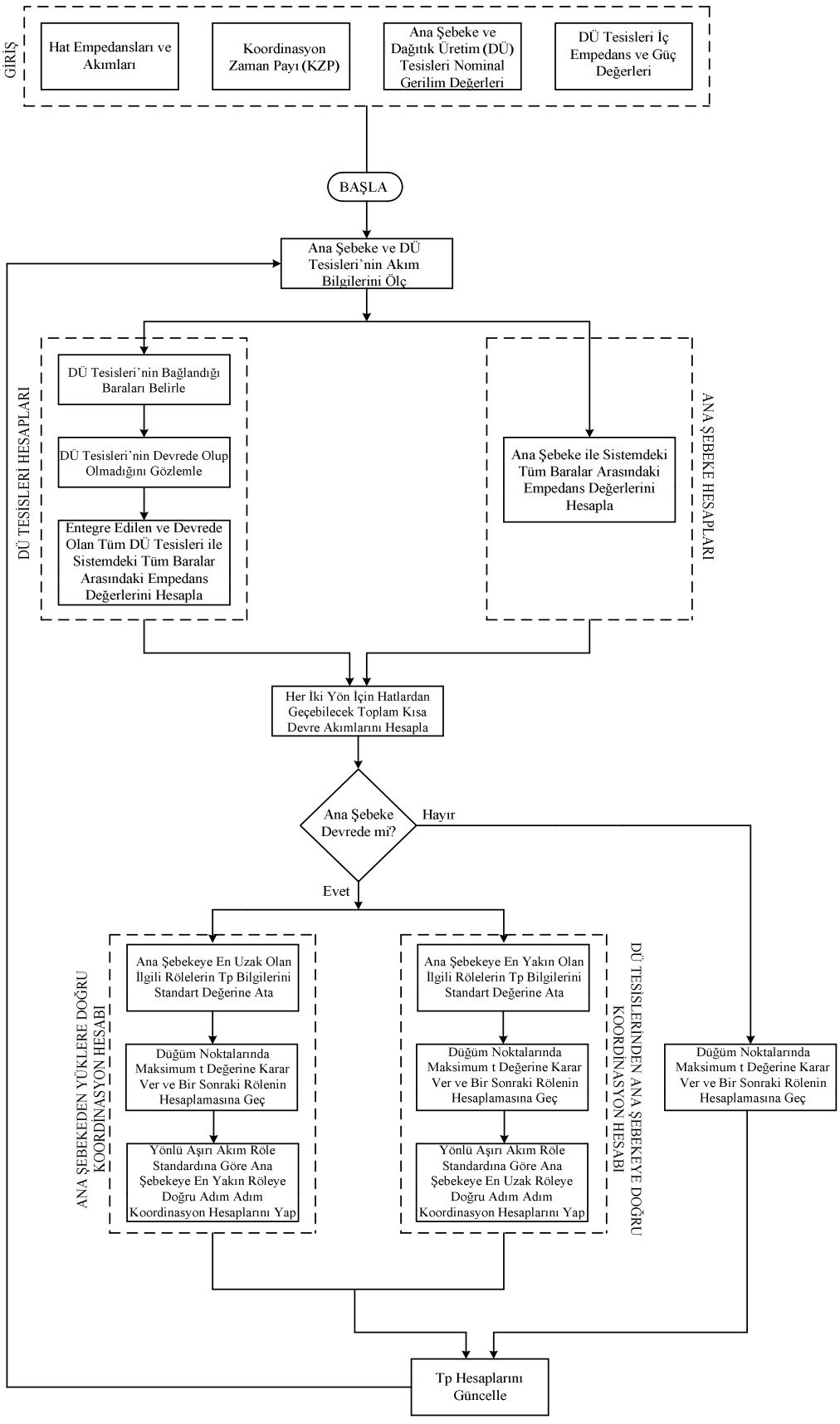


Şekil 5.9 IEEE 13 Baralı Test Sistemi Aadaptif Koruma Yapısı

5.2.2 Geliştirilen Adaptif Koruma Yapısı Akış Diyagramı

Oluşturulan algoritmada öncelikle giriş bilgileri belirlenmiştir. Sistemin doğru çalışması için gerekli olan bu giriş bilgileri:

- Hat empedansları ve hat akımları,
- Koordinasyon zaman payı (KZP),
- Sonsuz şebeke ve dağıtık üretim tesisleri nominal gerilim değerleri,
- Dağıtık üretim tesisleri iç empedansları ve güç değerleri



Şekil 5.10 IEEE 13 Baralı Test Sistemi Adaptif Koruma Yapısı Akış Diyagramı

olarak belirlenmiştir. Sistemin çalışmasında öncelikle ana şebeke ve kaynakların akım bilgileri ölçülerek sistemin genel durumu gözlemlenmiştir. Sonraki durumda sistem iki aşamalı olarak hesaplama yapmaktadır. Bu aşamalardan biri kısa devre hesaplarında kullanmak üzere ana şebeke ile tüm baralar arasındaki empedans bilgilerinin elde edilmesidir. Diğeri ise dağıtık üretim tesislerinin hesaplama aşamasıdır. Öncelikle kaynakların bağlandığı baralar belirlenir. Sonrasında kaynakların devrede olup olmadığı gözlemlenerek mevcut kapasite bilgisi elde edilmektedir. Bu aşamanın son kısmında ise yine kısa devre akımlarının hesaplarında kullanılmak üzere her bir kaynak ile diğer tüm baralar arasındaki empedans değerleri belirlenmiştir.

Her iki aşamadan elde edilen bilgiler karşılaştırılarak dağıtım şebekesinde her iki yönde akabilecek toplam kısa devre akımlarının hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Bu kısımda algoritma, ana şebekenin devrede olup olmadığını gözlemleyerek hesaplama yapmaya devam eder. Eğer ana şebeke devrede değilse, bu sistemin artık ada modunda olduğu anlamına gelir ki bu durumda koordinasyon hesabı, ada modu parametreleri göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Eğer ana şebeke devrede ise, artık sistem yönlü olarak koordinasyon hesabına geçmektedir.

Koordinasyon hesabı yapılırken yine iki aşamalı bir hesaplama durumu ortaya çıkmaktadır. Öncelikle ana şebekeden yüklere doğru akım yönünde koordinasyon hesabı yapılır. Bu aşamada ilk olarak şebekeye en uzak noktada olan röleye açma zaman ayarı değeri (Tp(TMS)) standart kabul edilen değer (0.05 sn) olarak atanmaktadır. Sonrasında 13 baralı test sisteminde belli bölgelerde olan düğüm noktalarında ilgili röle açma süreleri karşılaştırılarak maksimum açma süresi (t) belirlenerek bir sonraki röle açma süresinin hesabına geçilmiştir. Son aşamada yönlü aşırı akım hesaplama standardı kullanılarak adım adım ana şebekeye en yakın röleye doğru hesaplamaları yapılarak bu yöndeki röle koordinasyonu tamamlanmıştır. Diğer aşama ise dağıtık üretim tesislerinden ana şebekeye doğru olan koordinasyon hesabıdır. Bu kısımda ilk olarak şebekeye en yakın ilgili röle belirlenerek standart açma zaman ayar değeri (0.05) atanmıştır. Sonrasında benzer şekilde düğüm noktalarında karşılaştırmalar yapılarak maksimum açma süresi belirlenerek yedek rölenin açma süresi hesabına geçilmiştir. Son olarak ana şebekeye en uzak ilgili röleye doğru adım

adım hesaplamalar yapılarak diğer yöndeki koordinasyon hesaplamaları tamamlanmıştır.

Elde edilen tüm veriler birleştirilerek adaptif koruma ve röle koordinasyonu oluşturulmuş ve tüm çalışma koşullarında optimum açma zaman ayarı (Tp) değeri güncel olarak elde edilerek şebeke koruma sistemi tamamlanmış olmaktadır.

5.2.3 Çalışma Sonuçları

Geliştirilen algoritmanın test edilmesi ve sonuçlarının başarısını gözlemlemek amacıyla şebeke modeli üzerinde farklı senaryolar tasarlanmıştır. Sistemi hem şebeke hem de ada modunda çalıştırarak her iki durumda konvansiyonel ve adaptif koruma sonuçları karşılaştırılarak detaylı analiz yapılmıştır. Her bir senaryoda farklı arıza noktaları tercih edilmiştir. Böylece geniş bir şebeke modeli olan IEEE 13 Baralı test sistemi üzerinde geliştirilen algoritmanın etkinliği daha net bir biçimde ortaya çıkmıştır. Ayrıca senaryolarda farklı noktalara ve farklı sayılarda DG'ler bağlanmış ve bu tesislerin şebekeye entegrasyonları ile koruma sistemi arasındaki ilişki gözlemlenmiştir.

Sonuçların yer aldığı çizelgelerde sistem modu olarak tanımlanan kısım şebekenin durumunu açıklamaktadır. Sistemde ana şebekenin devrede olduğu durum şebeke, devre dışı kaldığı durum ise ada modu olarak tanımlanmıştır. Çalışmada geliştirilen adaptif koruma ve röle koordinasyonu algortiması koordinasyon hesabını her iki durum için de hesaplayabilmektedir. Şebeke modunda kaynağa en uzak röleden başlayarak adım adım seçicilik hesabı yaptırılarak her bir rölenin yedek rölesine ait TMS değeri hesaplanarak koordinasyon yapılmış olmaktadır. Ada modu durumunda ise bu kez sistemde bağlı bulunan DG'ler dikkate alınarak koordinayon hesabı yaptırılmış ve her bir röleye ait TMS değeri bulunarak seçicilik tamamlanmıştır.

DG bağlantı bölgesi, sisteme entegrasyonu yapılan dağıtık üretim tesislerinin bağlı olduğu barayı göstermektedir. IEEE 13 baralı test sistemi üzerinde her bir senaryoda yük dağılımı ve şebekenin karakteristiği düşünülerek çeşitli bağlantı bölgeleri seçilmiş ve çalışmalar çerçevede yapılmıştır. Sonuçlar incelenecek olursa tek DG'nin bağlı olduğu durum olduğu gibi 2 ya da 3 DG'nin bağlı olduğu durumlar için de koordinasyon hesaplamaları yapılmıştır.

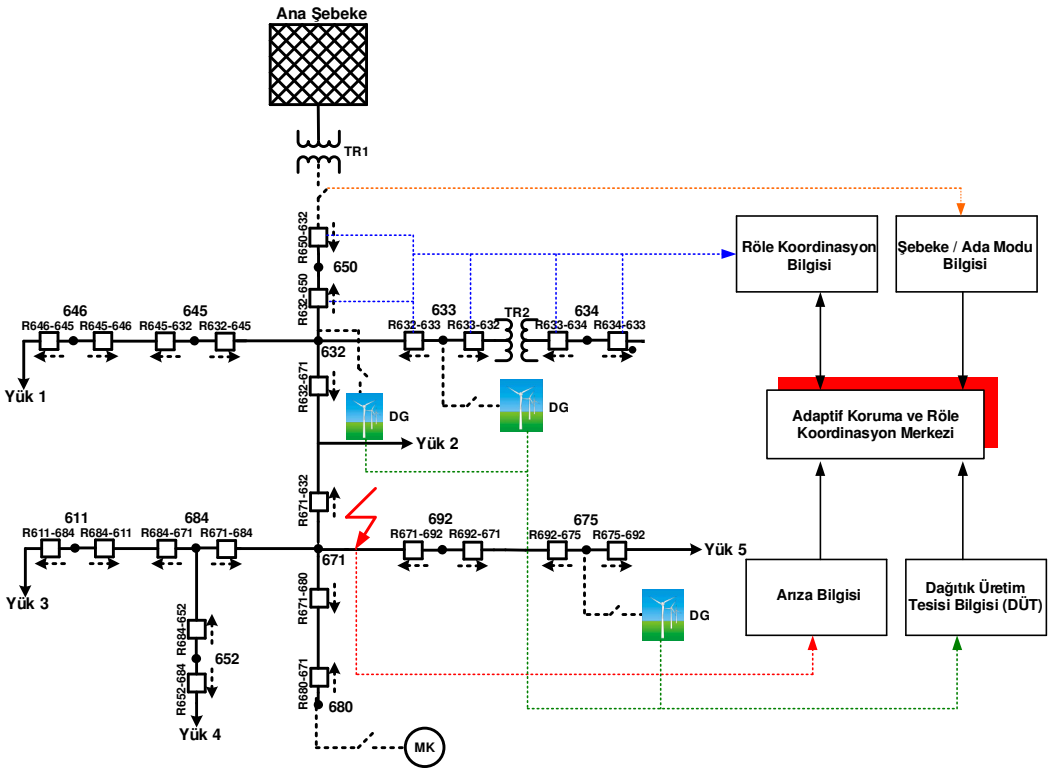
Seçicilik yöntemi şebeke ve ada modu durumları için ayrı ayrı düşünülmüştür. Geliştirilen adaptif koruma sistemi algoritmasının başarısını test etmek amacıyla şebeke modu durumunda, konvansiyonel koruma ve röle koordinasyonu sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Konvansiyonel koruma hesabı yapılırken sistemde tüm DG'lerin bağlı bulunduğu kabul edilerek tam yüklü durumda seçicilik hesabı yapılmış ve şebeke bu röle ayar değeri hesaplamalarına göre röle koordinasyonunu sağlamıştır. Bu yöntemin en büyük sıkıntısı devrede herhangi bir değişiklik (bağlı olan DG sayısında ya da kapasitesinde değişim, yük değişimleri, kısa devre akımlarında değişiklikler gibi) olması durumunda seçicilik hesaplamalarını güncelleyememekte ve bu durum özellikle yeni nesil şebekelerde (akıllı şebekeler) koruma ve röle koordinasyonu için yetersiz olmaktadır. Ortaya çıkan bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak ve şebeke için çok önemli olan koruma ve röle koordinasyonunu hatasız gerçekleştirebilmek için adaptif koruma yapısı geliştirilmiştir. Böylece sistemdeki tüm değişikler (şebeke modu, bağlı olan DG sayısı, kısa devre akımlarındaki değişimler, röleler arası haberleşme gibi) gözlemlenerek geliştirilen algoritma ile sürekli güncelleme yapılarak ideal röle TMS değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler ile arıza anında ilgili röle açma süresi hesaplanarak hızlı, güvenilir ve sistem kesintilerini kullanıcıya en az hissettirecek şekilde koruma sağlanmıştır.

Ada modu olarak tanımlanan yani sistemde sonsuz güçlü şebekenin devre dışı kaldığı ve DG'ler ile birlikte sisteme enerji akışı sağlayan master (ana) kaynağın (MK) bağlı olduğu durumda ise çalışma, konvansiyonel, yarı adaptif ve adaptif koruma şeklinde karşılaştırılmıştır. Ada modu durumu için konvansiyonel röle koordinasyonu, daha önce şebeke modunda da bahsedildiği gibi sistemde sonsuz şebeke ve tüm DG'ler aktif haldeymiş gibi hesaplama yapılmış ve röle koordinasyonu sağlanmıştır. Bahsi geçen bu yöntemin yetersizliği tespit edilerek bir sonraki aşama olan yarı adaptif koruma yapısı çalıştırılmıştır. Konvansiyonel koruma stratejisinden farklı olarak yarı adaptif yöntemde tüm DG'ler devrede olacakmış gibi fakat sonsuz şebeke devre dışı olarak koordinasyon hesabı yapılmıştır. Yeni nesil şebekelerin değişken koşulları dikkate alındığında optimum röle koordinasyonu için ayar süresi güncelleme konusunun önemi ortaya çıkmış ve bu duruma karşın etkin ve tavsiye edilen çözümün adaptif koruma ve röle

koordinasyonu olduğu kabul edilmiştir. Gerçekleştirilen test sonuçları yukarıda bahsedilen tüm değerlendirmeler çerçevesinde ve 5 farklı senaryoda yapılmıştır.

Senaryo 1

Geliştirilen adaptif koruma yapısının başarısı çeşitli senaryolar ile test edilmiştir. Tasarlanan ilk senaryo çalışmasında Şekil 5.11'de görüldüğü gibi IEEE 13 baralı dağıtım şebekesi test modeli modifiye edilmiştir. Sistemde 632, 633 ve 675 numaralı baralara DG olarak rüzgâr türbini bağlantısı yapılmıştır. Sistemde arıza noktası olarak 3 fazlı hat kolu olan 671 ve 692 baraları arası seçilmiştir. Adaptif koruma ve röle koordinasyon merkezi, sistemde tüm değişkenlerle (tüm rölelerin ayar değerleri, sistem şebeke durumu, arıza bilgisi, sistemde aktif olan DG bilgisi) bilgi akışı sağlayarak geliştirilen yazılım ile gerekli hesaplamaları yapmaktadır. Böylece en ideal röle açma ayar süreleri (ters zamanlı eğri çarpanları) (TMS) hesaplanarak adaptif röle koordinasyonu sağlanmaktadır. Bahsi geçen senaryo sonuçları Çizelge 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.11 Adaptif koruma ve röle koordinasyonu yapısı-senaryo 1

İlk olarak sistem modu durumu için sonuçlar ele alınacak olursa, aynı DG bağlı bulunan bir şebeke sisteminde konvansiyonel ve adaptif koruma stratejisi uygulanmış ve

sonuçlar sıralanmıştır. Örneğin 675 nolu baraya DG olarak bir rüzgar türbini bağlanmış ve 671-692 baraları arasında bulunan hatta bir arıza meydana gelmiştir. Arıza sonrası her iki yöntemde de doğru röleler açma sinyali üretmiş fakat konvansiyonel koruma stratejisinin uygulandığı sistemde röle açma süresi 0.735 saniye iken bu süre adaptif koruma yapısında 0.68 saniyeye düşmüştür. Arıza sonrası çok küçük sürelerin dahi büyük önem kazandığı ve sistemi enerji kesintisine izin vermeden en hızlı şekilde kararlı hale getirmek amacıyla adaptif koruma stratejisinin önemi ortaya çıkmaktadır. Başka bir örneğe bakılacak olursa sistemde 675 ve 633 nolu baralara bağlı 2 DG olması durumunda yapılan test çalışmasında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Konvansiyonel koruma yönteminde rölelerden birisi gereksiz açma sinyali üreterek sistemin belli bölgesini gereksiz bir şekilde enerjisiz bırakmıştır. Adaptif koruma stratejisi uygulandığında ise açması gereken R632_671 rölesi 0.7169 saniyede açma sinyali üreterek röle açma standart eğrisi sınırları içinde sistemi arızadan temizlemiştir. Ayrıca konvansiyonel koruma yapısında aynı röleye göre daha hızlı açma sinyali üreterek bu yöndeki başarısını da ortaya koymuştur.

Ada modu çalışma sonuçları 3 farklı seçicilik yönteminin karşılaştırılmasından oluşmaktadır. İlk olarak konvansiyonel koruma yapısı uygulanmış ve bu yöntemde sistemdeki tüm DG'ler ve sonsuz şebeke devreymiş gibi seçicilik hesabı yapılarak çalıştırılmıştır. Diğer bir yöntemde ise yarı adaptif röle koordinasyonu uygulanmıştır. Sistemdeki tüm DG'ler devrede olsun olmasın hesaba katılarak yapılan bu röle koordinasyonu uygulamasına ait sonuçlar da elde edilmiş ve son aşama olan adaptif röle koordinasyonuna geçilmiştir. Bu uygulamada ise sistemde hangi DG devrede ise sadece o durum için röle koordinasyonu hesabı yapılmış ve sonsuz şebekenin devre dışı olduğu hesaba katılmıştır. Her üç yönteme ait sonuçlar karşılaştırılacak olursa; örneğin 675 nolu baraya bağlı DG olan bir ada modu şebeke modelinde olası bir 3 faz kısa devre arızasında konvansiyonel koordinasyon hesabıyla yapılan çalışmada röle açma süresi 2.852 saniye olarak elde edilmiştir. Bu değer yarı adaptif metodta 1.334 saniye ve son olarak adaptif röle koordinasyonu uygulandığında 2.385 saniye olmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar IEEE röle açma standart eğrileri ile karşılaştırıldığında yarı adaptif yöntemde röle olması gereken süreden çok önce açma yaparak sistemi gereksiz bir şekilde enerjisiz bırakmaktadır. Konvansiyonel hesaplamada ise eğri dışına çıkarak geç

açma yaptırmakta ve sistem için tehlike arz etmektedir. Adaptif röle koordinasyonu algoritması ile hesaplandığında ise elde edilen değer, standartlar arasında kalarak en ideal sonuç elde edilmiştir.

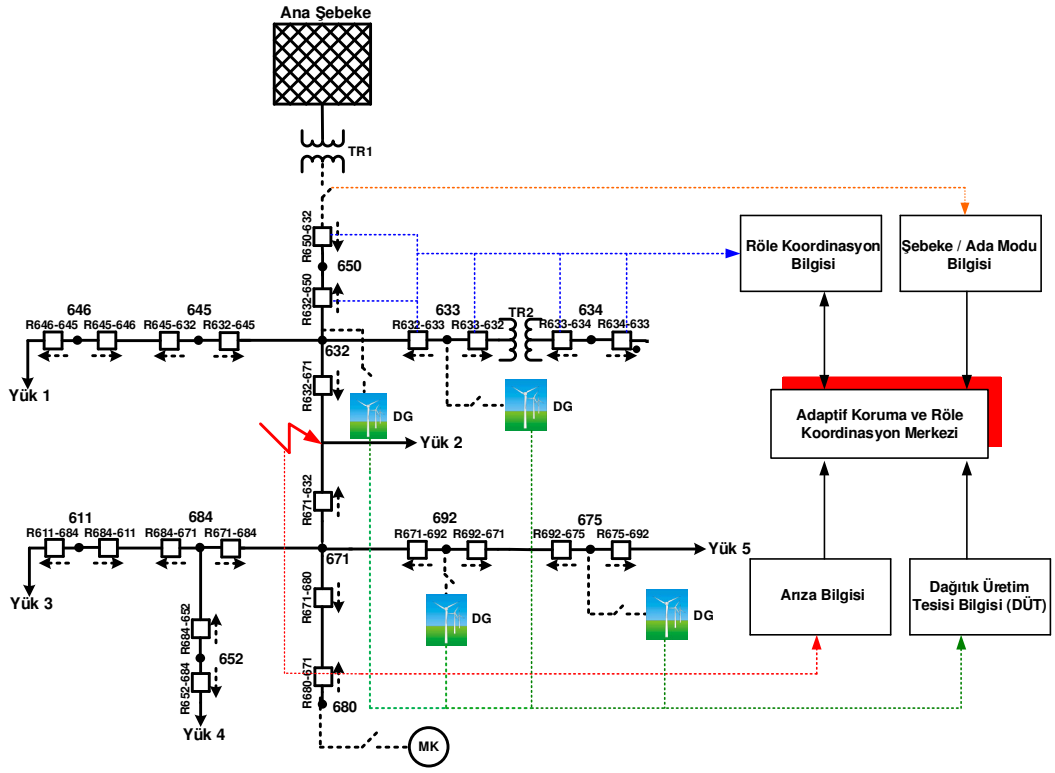
Çalışılan senaryo ile ortaya çıkan tüm sonuçlar göstermektedir ki yeni nesil şebekelerde koruma ve röle koordinasyonu için en ideal yöntem adaptif koruma stratejisidir.

Çizelge 5.6 Koruma sistemi "Senaryo 1" sonuçları

Senaryo 1	**Arıza Bölgesi: 671-692 Hattı**				
Sistem Modu	***DG Bağlantı Bölgesi***	***Seçicilik Yöntemi***	***Açma Sinyali Gönderen Röle***	***Hesaplanan TMS Değeri (sn)***	***Açma Süresi (sn)***
Şebeke	675	Konvansiyonel	R632_671	0.1911	0.735
Şebeke	675	Adaptif	R632_671	0.1857	0.68
Ada	675	Konvansiyonel	R680_671	0.3684	2.852
Ada	675	Yarı Adaptif	R680_671	0.1726	1.334
Ada	675	Adaptif	R680_671	0.3078	2.385
Şebeke	632	Konvansiyonel	R632_671	0.1911	0.741
Şebeke	632	Adaptif	R632_671	0.188	0.725
Ada	632	Konvansiyonel	R680_671	0.3684	2.859
Ada	632	Yarı Adaptif	R680_671	0.1726	1.338
Ada	632	Adaptif	R680_671	0.3058	2.369
Şebeke	675-633	Konvansiyonel	R632_671 R675_692	0.1911 0.0768	0.7393 2.3338
Şebeke	675-633	Adaptif	R632_671	0.188	0.7169
Ada	675-633	Konvansiyonel	R680_671 R675_692 R633_632	0.3684 0.2383 0.5912	2.849 3.735 3.7211
Ada	675-633	Yarı Adaptif	R633_632	0.2213	1.2505
Ada	675-633	Adaptif	R680_671	0.2165	2.422
Şebeke	632-633	Konvansiyonel	R632_671	0.1911	0.7312
Şebeke	632-633	Adaptif	R632_671	0.1903	0.7338
Ada	632-633	Konvansiyonel	R680_671	0.3684	2.2925
Ada	632-633	Yarı Adaptif	R633_632	0.2213	1.2101
Ada	632-633	Adaptif	R680_671	0.2145	1.6689
Şebeke	675-632-633	Konvansiyonel	R632_671	0.1911	0.737
Şebeke	675-632-633	Adaptif	R632_671	0.1903	0.733
Ada	675-632-633	Konvansiyonel	R680_671 R675_692	0.3684 0.2383	2.2922 2.4144
Ada	675-632-633	Yarı adaptif	R633_632	0.2213	1.2305
Ada	675-632-633	Adaptif	R680_671	0.1447	1.8958

Senaryo 2

Referans olarak kullanılan şebeke modeli Şekil 5.12'deki gibi modifiye edilmiş ve yeni senaryo çalışması yapılmıştır. Sistemde arıza bölgesi olarak 632-671 baraları arası seçilmiş ve bu doğrultuda farklı noktalara DG'ler bağlanarak sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.12 Adaptif koruma ve röle koordinasyonu yapısı-senaryo 2

Bir önceki senaryo ile kıyaslandığında benzer sonuçların gözlemleneceği Çizelge 5.7 incelenecek olursa adaptif koruma stratejisinin hem şebeke hem de ada modunda etkinliği hissedilecektir. Örneğin 692-675 nolu baralara bağlı rüzgar türbinlerinin olduğu bir şebeke modelinde olası bir arıza sonrası konvansiyonel yöntemde açmaması gereken R675_692 rölesi açma yaptırmış ve gereksiz enerji kesintisine neden olmuştur. Diğer yandan adaptif koruma metodunda açma sinyali üretmesi beklenen R632_671 rölesi konvansiyonel yönteme kıyasla çok daha zamanlı (0.4986 saniye) açma sinyali üreterek sistemi kısa sürede arızadan temizlemiştir. Benzer sonuçlar ada modu durumu için de elde edilerek adaptif koruma metodunun gerekliliği birkez daha ortaya çıkmıştır.

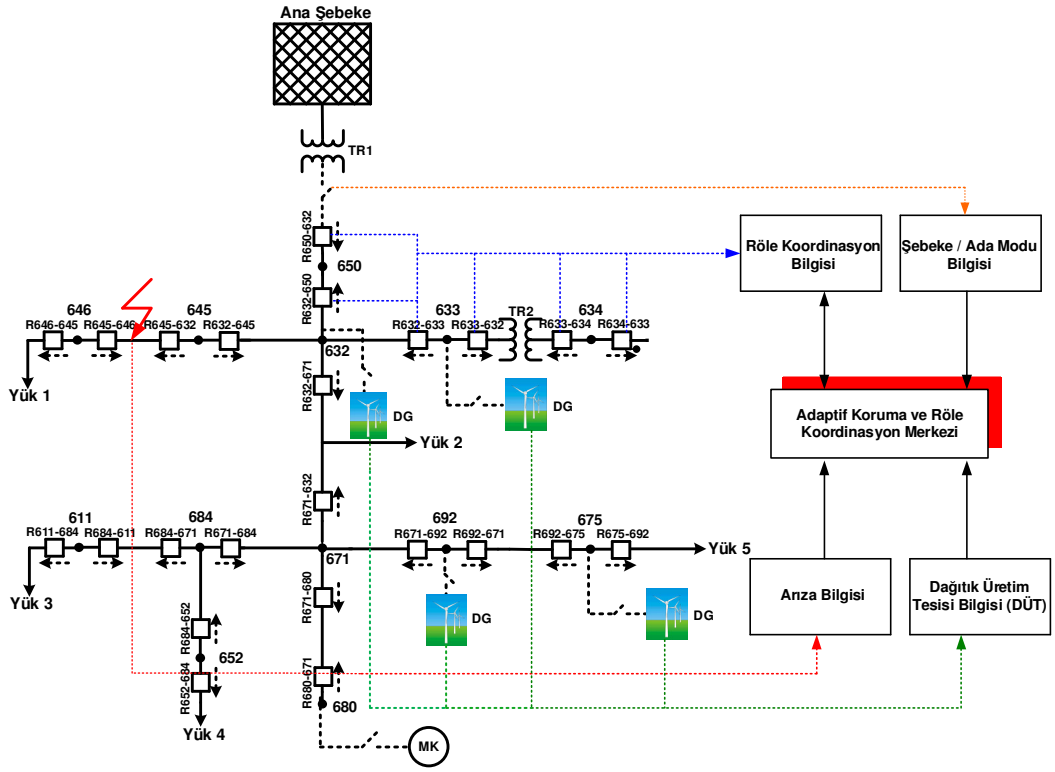
Çizelge 5.7 Koruma sistemi “Senaryo 2” sonuçları

Senaryo 2	**Arıza Bölgesi: 671-632 Hattı**				
Sistem Modu	***DG Bağlantı Bölgesi***	***Seçicilik Yöntemi***	***Açma Sinyali Gönderen Röle***	***Hesaplanan TMS Değeri (sn)***	***Açma Süresi (sn)***
Şebeke	633	Konvansiyonel	R632_671	0.1911	0.666
Şebeke	633	Adaptif	R632_671	0.188	0.639
Ada	633	Konvansiyonel	R633_632	0.5912	2.8106
Ada	633	Yarı Adaptif	R633_632	0.2213	1.0372
Ada	633	Adaptif	R671_632	0.2824	2.356
Şebeke	692	Konvansiyonel	R632_671 R692_671	0.1911 0.2974	0.6725 6.5226
Şebeke	692	Adaptif	R632_671	0.1856	0.6346
Ada	692	Konvansiyonel	R671_632	0.3393	2.4620
Ada	692	Yarı Adaptif	R671_632	0.1436	1.0515
Ada	692	Adaptif	R671_632	0.2824	2.0522
Şebeke	633-632	Konvansiyonel	R632_671	0.1911	0.6758
Şebeke	633-632	Adaptif	R632_671	0.1903	0.6528
Ada	633-632	Konvansiyonel	R671_632	0.3393	2.8309
Ada	633-632	Yarı Adaptif	R671_632	0.1436	1.1975
Ada	633-632	Adaptif	R671_632	0.1912	1.5975
Şebeke	692-675	Konvansiyonel	R632_671 R675_692	0.1911 0.07681	0.665 0.9365
Şebeke	692-675	Adaptif	R632_671	0.1846	0.4986
Ada	692-675	Konvansiyonel	R680_671	0.3684	2.4674
Ada	692-675	Yarı Adaptif	R671_632	0.1436	0.9955
Ada	692-675	Adaptif	R671_632	0.1912	1.3619
Şebeke	633-692	Konvansiyonel	R632_671	0.1911	0.6662
Şebeke	633-692	Adaptif	R632_671	0.1887	0.6578
Ada	633-692	Konvansiyonel	R671_632 R633_632	0.3393 0.5912	2.4724 2.7832
Ada	633-692	Yarı Adaptif	R633_632	0.2213	1.032
Ada	633-692	Adaptif	R671_632	0.1912	1.4055
Şebeke	675-632-633	Konvansiyonel	R632_671	0.1913	0.6845
Şebeke	675-632-633	Adaptif	R632_671	0.1903	0.6745
Ada	675-632-633	Konvansiyonel	R671_632	0.3393	2.509
Ada	675-632-633	Yarı Adaptif	R671_632	0.1436	1.0477
Ada	675-632-633	Adaptif	R671_632	0.1113	0.8695

Senaryo 3

Tasarlanan yeni senaryo çalışmasında arıza bölgesi olarak Şekil 5.13’te de görüleceği gibi 646-645 baraları arası tercih edilmiş ve bu yeni durum için sistem çalıştırılmıştır.

Yeni durum için daha önceki senaryolarda olduğu gibi şebeke ve ada modu durumları için karşılaştırmalı şekilde sonuçlar elde edilerek Çizelge 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.13 Adaptif koruma ve röle koordinasyonu yapısı-senaryo 3

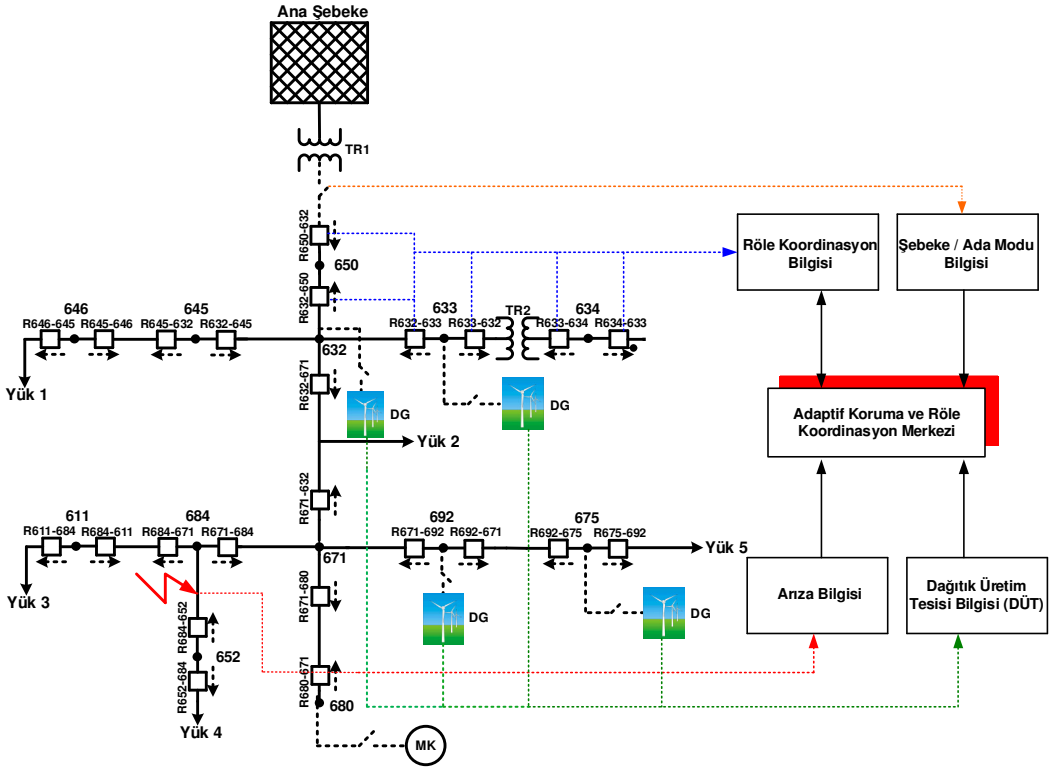
Elde dilen sonuçlar geliştirilen adaptif koruma ve röle koordinasyonu algoritmasının gerekliliğini ve başarısını birkez daha ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde şebeke modunda adaptif koruma yapısında röle açma sinyalinin konvansiyonel metoda göre önemli oranda daha zamanlı olmaktadır. Ayrıca ada modu durumda da adaptif yöntem diğer iki yöntemele kıyaslandığında uluslararası açma eğrisi standartlarına uygun elde edilmektedir.

Çizelge 5.8 Koruma sistemi “Senaryo 3” sonuçları

Senaryo 3	**Arıza Bölgesi: 646-645 Hattı**				
Sistem Modu	***DG Bağlantı Bölgesi***	***Seçicilik Yöntemi***	***Açma Sinyali Gönderen Röle***	***Hesaplanan TMS Değeri (sn)***	***Açma Süresi (sn)***
Şebeke	633	Konvansiyonel	R632_645	0.1834	0.3908
Şebeke	633	Adaptif	R632_645	0.1795	0.3713
Ada	633	Konvansiyonel	R632_645	0.1916	0.5936
Ada	633	Yarı Adaptif	R632_645	0.1262	0.3915
Ada	633	Adaptif	R632_645	0.1082	0.3353
Şebeke	675	Konvansiyonel	R632_645	0.1834	0.4069
Şebeke	675	Adaptif	R632_645	0.1795	0.3877
Ada	675	Konvansiyonel	R632_645	0.1916	0.6652
Ada	675	Yarı Adaptif	R632_645	0.1262	0.4223
Ada	675	Adaptif	R632_645	0.1082	0.3549
Şebeke	632-633	Konvansiyonel	R632_645	0.1834	0.3771
Şebeke	632-633	Adaptif	R632_645	0.1807	0.3647
Ada	632-633	Konvansiyonel	R632_645	0.1916	0.5738
Ada	632-633	Yarı Adaptif	R632_645	0.1262	0.3778
Ada	632-633	Adaptif	R632_645	0.1136	0.3397
Şebeke	692-675	Konvansiyonel	R632_645	0.1834	0.4024
Şebeke	692-675	Adaptif	R632_645	0.1807	0.3964
Ada	692-675	Konvansiyonel	R632_645	0.1916	0.6678
Ada	692-675	Yarı Adaptif	R632_645	0.1262	0.4113
Ada	692-675	Adaptif	R632_645	0.1136	0.3397
Şebeke	632-692	Konvansiyonel	R632_645	0.1834	0.3775
Şebeke	632-692	Adaptif	R632_645	0.1807	0.3721
Ada	632-692	Konvansiyonel	R632_645	0.1916	0.5485
Ada	632-692	Yarı Adaptif	R632_645	0.1262	0.3609
Ada	632-692	Adaptif	R632_645	0.1136	0.3247

Senaryo 4

Son olarak senaryo 4 ve senaryo 5 çalışmaları incelenecek olursa her iki durumda da daha önceki çalışmalara benzer sonuçların elde edildiği ve geliştirilen algoritmanın etkinliği ortaya çıkmıştır. Sırasıyla Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’te her iki senaryoya ait topolojiler ve Çizelge 5.9 ve 5.10 ‘da elde edilen sonuçlar verilmiştir.

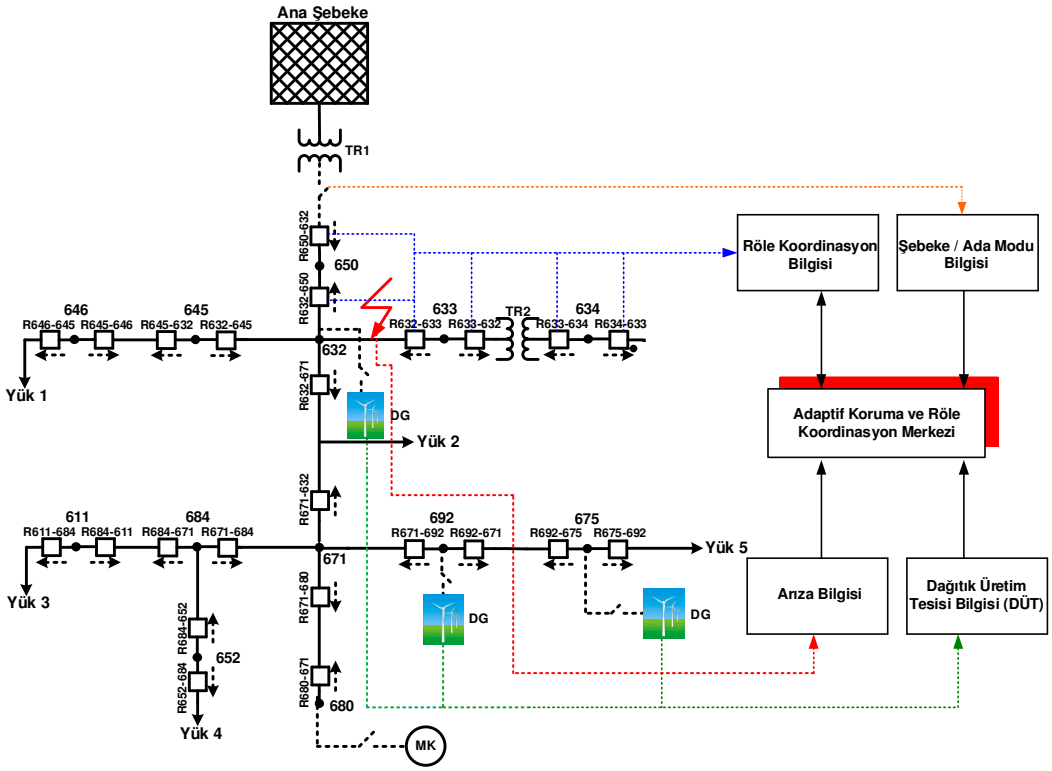


Şekil 5.14 Adaptif koruma ve röle koordinasyonu yapısı-senaryo 4

Çizelge 5.9 Koruma sistemi “Senaryo 4” sonuçları

Senaryo 4	**Arıza Bölgesi: 684-652 Hattı**				
Sistem Modu	***DG Bağlantı Bölgesi***	***Seçicilik Yöntemi***	***Açma Sinyali Gönderen Röle***	***Hesaplanan TMS Değeri (sn)***	***Açma Süresi (sn)***
Şebeke	633	Konvansiyonel	R671_684	0.2165	0.4271
Şebeke	633	Adaptif	R671_684	0.2125	0.4191
Ada	633	Konvansiyonel	R671_684	0.2283	0.5162
Ada	633	Yarı Adaptif	R671_684	0.1765	0.3991
Ada	633	Adaptif	R671_684	0.1659	0.3751
Şebeke	675	Konvansiyonel	R692_675 R671_684	0.05 0.2165	0.1373 0.4342
Şebeke	675	Adaptif	R671_684	0.2125	0.4262
Ada	675	Konvansiyonel	R692_675 R671_684	0.05 0.2283	0.2873 0.5401
Ada	675	Yarı Adaptif	R692_675 R671_684	0.05 0.1765	0.2873 0.4074
Ada	675	Adaptif	R671_684	0.1659	0.3799
Şebeke	633-632	Konvansiyonel	R671_684	0.2165	0.4185
Şebeke	633-632	Adaptif	R671_684	0.2137	0.4028
Ada	633-632	Konvansiyonel	R671_684	0.2283	0.5258
Ada	633-632	Yarı Adaptif	R671_684	0.1765	0.3873
Ada	633-632	Adaptif	R671_684	0.1686	0.3699
Şebeke	632-675	Konvansiyonel	R692_675 R671_684	0.05 0.2165	0.1442 0.4051
Şebeke	632-675	Adaptif	R671_684	0.2137	0.3992
Ada	632-675	Konvansiyonel	R692_675 R671_684	0.05 0.2283	0.3197 0.5129
Ada	632-675	Yarı Adaptif	R671_684	0.1765	0.3931
Ada	632-675	Adaptif	R671_684	0.1686	0.3749
Şebeke	692-675	Konvansiyonel	R671_684	0.2165	0.3762
Şebeke	692-675	Adaptif	R671_684	0.2137	0.3713
Ada	692-675	Konvansiyonel	R671_684	0.2283	0.5012
Ada	692-675	Yarı Adaptif	R671_684	0.1765	0.3873
Ada	692-675	Adaptif	R671_684	0.1686	0.3699

Senaryo 5



Şekil 5.15 Adaptif koruma ve röle koordinasyonu yapısı-senaryo 5

Çizelge 5.10 Koruma sistemi “Senaryo 5” sonuçları

Senaryo 5	**Arıza Bölgesi: 632-633 Hattı**				
Sistem Modu	***DG Bağlantı Bölgesi***	***Seçicilik Yöntemi***	***Açma Sinyali Gönderen Röle***	***Hesaplanan TMS Değeri (sn)***	***Açma Süresi (sn)***
Şebeke	675	Konvansiyonel	R692_675 R650_632	0.05 0.2256	0.2428 1.1399
Şebeke	675	Adaptif	R650_632	0.2215	1.0955
Ada	675	Konvansiyonel	R671_632	0.3393	3.425
Ada	675	Yarı Adaptif	R671_632	0.1436	1.2103
Ada	675	Adaptif	R671_632	0.2824	2.8625
Şebeke	632	Konvansiyonel	R650_632	0.2286	1.0355
Şebeke	632	Adaptif	R650_632	0.2245	1.0169
Ada	632	Konvansiyonel	R671_632	0.3393	3.5261
Ada	632	Yarı Adaptif	R671_632	0.1436	1.4921
Ada	632	Adaptif	R671_632	0.2824	2.9345
Şebeke	692	Konvansiyonel	R671_692 R650_632	0.1811 0.2286	0.7873 1.1101
Şebeke	692	Adaptif	R650_632	0.2216	1.0216
Ada	692	Konvansiyonel	R671_692 R671_632	0.1933 0.3393	1.0814 3.4223
Ada	692	Yarı Adaptif	R671_692 R671_632	0.139 0.1436	0.9748 1.1926
Ada	692	Adaptif	R671_632	0.2824	2.9256
Şebeke	632-692	Konvansiyonel	R650_632	0.2286	1.0429
Şebeke	632-692	Adaptif	R650_632	0.2251	1.0118
Ada	632-692	Konvansiyonel	R671_632	0.3393	3.5348
Ada	632-692	Yarı Adaptif	R671_632	0.1436	1.4920
Ada	632-692	Adaptif	R671_632	0.1912	1.9884

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Global anlamdaki enerji talebindeki artış ve fosil yakıt kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan çevresel sorunlar, geleneksel fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılması üzerine yapılan çalışmalara ivme kazandırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki artışa paralel olarak bu sistemlerin şebekeye entegrasyonu ile çeşitli problemler de beraberinde ortaya çıkmıştır. Özellikle yeni nesil şebeke sistemleri olarak adlandırılan akıllı şebeke sistemlerinde koruma ve röle koordinasyonu konusunun araştırılması ve pek çok açıdan geliştirilmesi gereken önemli bir konu haline gelmiştir.

Bahsi geçen problemleri engellemek için ilk akla gelen yöntem, mevcut elektrik altyapısını yenilemek olacaktır. Ancak bu işlem kısa vadede hem çok masraflıdır, hem de çok fazla iş gücü gerektirmektedir. Bu yatırımların uzun vadeye yayılarak yapılması daha doğru olur. Bu sebeplerden dolayı günümüzde bu problemlere çözüm getirebilmenin en iyi yöntemi, yeni nesil dijital rölelerin en etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak ve röleler arası haberleşme özelliğinin beraberinde getirdiği pek çok avantajın da ortaya çıkarılacağı adaptif koruma ve röle koordinasyonu yapısının geliştirilmesidir.

Bu kapsamda tez çalışmasında öncelikle dağıtık üretim tesisi tabanlı dağıtım şebekelerinin çift yönlü enerji akışına sahip olduğu gerçeği düşünülerek yönlü aşırı akım rölesinin modellenmesi olmuştur. Modellenen yönlü aşırı akım rölesinin güvenilirliği ve doğruluğu test edilmiştir. Bu amaçla basit bir şebeke modeli

oluşturulmuştur. Oluşturulan şebeke üzerinde baraların her iki yanına zıt yönleri algılayan röleler bağlanmış ve her bir rölenin yedek rölesi de bir sonraki baraya bağlanmıştır. Sistem, öncelikle tek yönlü olarak çalıştırılarak konvansiyonel olarak tek yönlü seçiciliğin sağlanıp sağlanmadığı test edilmiştir. Şebeke üzerinde çeşitli noktalarda arıza oluşturularak rölelerin arıza sonrası verdiği tepkiler analiz edilmiş ve daha önce elle hesaplanan matematiksel sonuçlarla karşılaştırılarak doğruluğu test edilmiştir. Daha sonraki aşamada ise bu kez sistem, çift yönlü enerji akışına maruz bırakılarak rölelerin yönlü aşırı akım ve kısa devre sonrası çalışma durumları gözlemlenmiştir. Modellenen yönlü aşırı akım rölelerinin amacına uygun olarak her iki yönde de olası arıza sonrası seçicilik prensibine uygun şekilde açma sinyali ürettiği ve yedek röleleriyle seçicilik prensibine göre çalıştığı görülmüştür.

Adaptif koruma ve röle koordinasyonu çalışmasının önemli aşamalarından birisi olan yönlü aşırı akım rölesinin modellenmesi tamamlandıktan sonra DG'lerin şebekeye entegrasyonu ve etkilerinin gözlemlenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu amaçla literatürde sıklıkla kullanılan IEEE dağıtım şebekesi test modellerinin kullanılmasına karar verilmiştir. DG'lerin şebekeye entegrasyonu çalışmasının en etkin uygulanabileceği şebeke modellerinden olan IEEE 4 ve 13 baralı test sistemlerinde karar kılınmış ve modellenmesine başlanmıştır. Şebeke modeline ait veriler kullanılarak şebekeye ait tüm bileşenler hesaplanmış ve sistemler MATLAB ortamında modellenmiştir. Öncelikle oluşturulan şebeke modeli üzerinde her senaryoda farklı baralara bağlanmak üzere rüzgar türbini entegrasyonu yapılmış ve farklı arıza bölgeleri tespit ederek her bir senaryo için arıza sonrası kısa devre akımları hesaplanmıştır. Elde edilen değerler daha sonraki çalışmalarda oldukça faydalı olmuştur.

Tez çalışmasının asıl hedefi olan adaptif koruma ve röle koordinasyonunun oluşturulması için öncelikle nispeten daha basit bir şebeke modeli olan IEEE 4 baralı test sistemi tercih edilmiş ve modellenmesine başlanmıştır. Orijinal dökümanlarından elde edilen veriler kullanılanılarak gerekli parametre hesaplamaları yapılmış ve şebeke modeli oluşturulmuştur. Geliştirilen adaptif koruma algoritması ilk olarak bu yapı üzerinde denenmiştir. Bu yapıda 8 farklı mod oluşturulmuştur. her bir modda ya farklı sayıda ya da farklı noktalara bağlı DG'ler bulunmaktadır. Sadece ilk modda hiç kaynak yer almamış ve 8 numaralı modda en fazla kaynak yer alarak tüm ihtimaller

değerlendirilmiştir. Oluşturulan sistem çalıştırılarak modlar arası geçişlerde geliştirilen algoritma ile sistem değişkenlerine bağlı olarak röle açma ayar süresinin güncellendiği ve yeni duruma göre optimum röle açma süresinin elde edildiği görülmüştür.

Tez çalışmasının son aşamasında adaptif koruma yapısı önceki çalışmalardan elde edilen tecrübeler ve devam eden lüteratür taramalarından da esinlenerek geliştirilmeye devam edilmiştir. Bu kapsamda daha önce modellemiş olduğumuz nispeten büyük bir şebeke modeli olan ve uluslarası kullanımı yaygın olan IEEE 13 baralı test sistemi kullanılmıştır. Hedeflenen çalışmada yeni nesil bir şebeke sisteminde olası tüm durumlar göz önünde bulundurularak algoritma oluşturulmuştur. Şebeke durum bilgisinin (Şebeke/Ada modu) tespit edilmesi, kısa devre akımlarının hesabı, röleler arası haberleşme, DG'lerin durum bilgisi gibi tüm sistem parametlerinden bilgi alışverişi sağlayan ve tüm bu bilgiler çerçevesinde hem şebeke hem de ada moduna göre seçicilik hesabı yapabilen bir algoritma oluşturulmuştur. Geliştirilen algoritmanın başarısı ve etkinliği çeşitli senaryolar kurgulanarak test edilmiş ve değerlendirilmiştir. Tamamlanan çalışmanın en önemli özelliklerinden birisi koruma sisteminin online bir şekilde sağlanması olmuştur. Böylece sistem üzerinde koruma ve koordinasyonu etkileyebilecek tüm değişkenlerden bilgi alışverişi sağlanarak en güncel röle açma ayar süresi hesaplanmış ve olası arıza sonrası en ideal rölenin açma yapması sağlanmıştır.

Tez kapsamında geliştirilen algoritma ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Dağıtık üretim tesislerinin şebekeyle bağlantısında karşılaşılacak muhtemel koruma ve röle koordinasyonu problemlerine, yapılan çalışma ile çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Önerilen sistem sayesinde her bir kaynağın şebeke bağlantısı ile sistem değişkenleri ve bu değişimlerin koruma sistemine etkisi analiz edilerek hem şebekeyi hem de bağlanan dağıtık üretim tesisinin olası arızalar karşısında olumsuz etkilenmemesi sağlanmıştır.
- Geliştirilen algoritma ile konvansiyonel koruma sistemlerinin yeni nesil şebekelerde yetersizliği ortaya çıkarılmış ve çözüm önerileri getirilmiştir. Elde edilen sonuçlar iletim ve dağıtım şirketleri için yol gösterici olacaktır.

- Dünya çapında önemli bir konu haline gelen yeni nesil şebekelerde adaptif koruma hususunda gerekli yatırımlar yapılmalı ve özellikle yeni nesil rölelerin etkin bir şekilde kullanılması alanında uzman akademisyen, mühendis ve teknisyenler yetiştirilmelidir.
- Uzun yıllardır önemli bir sorun olan ve çözümü için pek çok alternatif yöntemler denenen gereksiz enerji kesintilerinin giderilmesi konusunda yol gösterici bir çalışma olacaktır.
- Elektrik şebeke sistemlerindeki değişen koşullara hızlıca adapte olabilecek yapıya sahip bir koruma-kontrol yaklaşımı geliştirilmiş ve bu durum gelecekteki güç sistemlerinin verim, performans ve etkinliğinin arttırılmasına katkı sağlayacaktır.
- Gelecekte akıllı şebekelerde kullanılacak adaptif yapılı koruma cihazlarının endüstriyel olarak geliştirilebilmesine altyapı sağlanmış ve katkıda bulunulmuştur.
- Çalışmada dünyaca kabul görmüş ve bilimsel çalışmalarda sıklıkla tercih edilen şebeke modelleri kullanılmıştır. Böylece akıllı şebekeler kapsamında yenilenebilir enerji kaynakları entegrasyonunda sistem analizleri geniş çerçevede araştırılmış ve test edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan faydalanılarak gelecekte ülkemize ait şebeke sisteminde dinamik analizlerinin alt yapısı oluşturularak, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin yük akışı ve kısa devre katkısının yanında dinamik yapıları da incelenebilecektir. Bu açıdan tez kapsamında gelecekte önemi daha da artacak olan akıllı şebeke sistemlerinde yenilenebilir enerji bazlı dağıtık üretim tesislerinin entegrasyonu ve koruma sistemlerine etkisinin araştırılması ve adaptif röle koordinasyonu için önemli bir altyapı oluşturulacaktır.
- Farklı senaryolar ile yapılan testlerde önerilen algoritma, röle açma sürelerinde konvansiyonel koruma sistemlerine göre yaklaşık %10 ile %30 arasında hızlanma sağlamıştır. Böylece olası gereksiz enerji kesintileri, elektriksel arızalar kaynaklı can ve mal kaybının önlenmesi ve enerji tasarrufu sağlanmıştır.
- Yeni bir teknoloji olan akıllı şebekelerde adaptif koruma hususunda ülkemizde ilk kez bu kapsamda detaylı bir araştırma projesi gerçekleştirilmiştir.

- Tez çalışması bir AB konsorsiyumunun destekleri ile yapılmış olması nedeniyle diğer ortak ülkelerle olan işbirliğine katkı sağlamıştır. Bu çerçevede üç ortaklı (TÜBİTAK ve YTÜ-Türkiye, Aalborg Üniversitesi-Danimarka, SIMULA-Norveç) proje çalışması için sırasıyla Türkiye, Danimarka ve Norveç'te toplam 3 toplantı yapılmış ve tezin altyapısının güçlenmesine oldukça katkı sağlamıştır.
- Akademik çalışmaların devamında literatürdeki eksiklikler ve ihtiyaçlar dikkate alınarak yenilikler ve geliştirmeler yapılabilecektir. Özellikle adaptif koruma sistemleri için röle koordinasyonu optimizasyonu gelecekte üzerinde durulacak konulardan birisidir. Ayrıca farklı şebeke, arıza ve kaynak tipleri ile çalışılıp sonuçlar arası karşılaştırmalar yapılacaktır. Son olarak ülke ihtiyaçları da göz önünde bulundurularak tez çalışmasının sağlamış olduğu deneyimle birlikte yakın gelecekte özellikle enerji alanında yeni çalışmalar hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Goedeckeb, M., Therdthianwong, S. ve Gheewala, S. H., (2007). "Life cycle cost analysis of alternative vehicles and fuels in Thailand", Energy Policy, 35(6):3236–3246.

[2] Straatman, P. J. T., van Sark ve W. G. J. H. M., (2008). "A new hybrid ocean thermal energy conversion–Offshore solar pond (OTEC–OSP) design: A cost optimization approach", Solar Energy, 82(6):520–527.

[3] Rehman, S., El-Amin, Ahmad, Shaahid, I. M., Al-Shehri, F., S. M., Bakhashwain A. M. ve Shash, J. M., A., (2007). "Feasibility study of hybrid retrofits to an isolated off-grid diesel power plant", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(4):635–653.

[4] Ball, M., Wietschel, M. ve Rentz, O., (2007). "Integration of a hydrogen economy into the German energy system: an optimising modelling approach", International Journal of Hydrogen Energy, 32(10-11):1355 – 1368.

[5] Shaahid, S. M. ve Elhadidy, M. A., (2007). "Technical and economic assessment of grid-independent hybrid photovoltaic–diesel–battery power systems for commercial loads in desert environments", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(8):1794–1810.

[6] Yilmaz, P., Hocaoglu, M. H. ve Konukman, A. E. S., (2008). "A pre-feasibility case study on integrated resource planning including renewables", Energy Policy, 36(3):1223–1232.

[7] Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L. ve Yang, H., (2010). "Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems", Applied Energy, 87(2):380–389.

[8] Kornelakis, A., (2010). "Multiobjective Particle Swarm Optimization for the optimal design of photovoltaic grid-connected systems", Solar Energy, 84(12):2022-2033.

[9] Zhou, W., Yang H. ve Fang, Z., (2008). “Battery behavior prediction and battery working states analysis of a hybrid solar–wind power generation system”, Renewable Energy, 33(6):1413–1423.

[10] Hepbasli A., (2008). “A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(3):593–661.

[11] Nayar, C. V., Islam S. M., Dehbonei H., Tan K. ve Sharma H., (2007). “Power Electronics for Renewable Energy Sources”, in Muhammad Rashid, H., “Power Electronics Handbook”, 2nd edn, Academic Press - imprint of Elsevier Inc., United Kingdom, 673-716.

[12] Yang, H., Lu, L. ve Zhou, W., (2007). “A novel optimization sizing model for hybrid solar-wind power generation system”, Solar Energy, 81(1):76–84.

[13] Chen, F., Duic N., Alves, L. M. ve Carvalho, M. G., (2007). “Renewislands—Renewable energy solutions for islands”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(8):1888–1902.

[14] Alawi, A. A., Alawi, S. M. A. ve Islam, S. M., (2007). “Predictive control of an integrated PV-diesel water and power supply system using an artificial neural network”, Renewable Energy, 32(8):1426–1439.

[15] Massoud Amin, S. ve Wollenberg, B.F., (2005). “Toward a smart grid:power delivery for the 21st century”, IEEE Power and EnergyMagazine, 3(5):34-41.

[16] Zhang, X.P., (2008). “A framework for operation and control ofsmart grids with distributed generation”, IEEE Power andEnergy Society General Meeting - Conversion and Delivery ofElectrical Energy in the 21st Century, Canada, 1-5.

[17] DeBlasio, R. ve Tom C., (2008). “Standards for the Smart Grid”, IEEEEnergy 2030 Conference, Atlanta-USA, 1-7.

[18] Çetinkaya, H. B., “YEK’lerin Entegrasyonunda ve Uluslararası Enerji Bağlantılarında Akıllı Şebekeye Duyulacak İhtiyaç”, Enerji, Mühendislik ve Koordinasyon - E E&C PTI, Siemens.

[19] Massoud, S. ve Wollenberg, B., (2005). “Toward a Smart Grid”, IEEE power & energy magazine.

[20] GE, Plug into the Smart Grid, Smart Meters, http://ge.ecomagination.com/smartgrid/#/smart_meters, 15 Mayıs 2015.

[21] Cem Şahin, Abdullah Nadar, “Akıllı Dağıtım Otomasyon Sistemi”, Tubitak-Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü.

[22] Uluslararası Hannover Sanayi Fuarı, 2010.

[23] Gharavi, H. ve Ghafurian, R., (2011). "Smart grid: The electric energy system of the future", Proc. IEEE, 99(6):917 – 921.

[24] Gungor, V. C., Lu, B., ve Hancke, G. P., (2010). "Opportunities and challenges of wireless sensor networks in smart grid, IEEE Trans. Ind. Electron., 57(10): 3557 -3564.

[25] Imeryüz, M., (2011). "AkıllıŞebekeler ve Verimlilik", GE Energy, 2. Ulusal Enerji Verimliliği Forumu.

[26] Peizhong, Y., Awayemi, I, ve Zhou, C., (2011). "Developing ZigBee deployment guideline under WiFi interference for smart grid applications, IEEE Trans. Smart Grid, 2(1):110 -120.

[27] Gezer, C. ve Buratti, C., (2011). "A ZigBee smart energy implementation for energy efficient buildings", in Proc. IEEE 73rd Veh. Technol. Conf. (VTC Spring), May 15 -18, 1-5.

[28] Mete Taspınar, (2009). "Akıllı Sebekeler", Siemens, EPDK Sunumu.

[29] National Communications System, (2007). Technical Information Bulletin 07-1, Broadband over Power Lines.

[30] How Broadband OverPowerlines Works, http://computer.howstuffworks.com/bpl3.htm, 5 Ocak 2012.

[31] SMB Smart Grid Strategic Group (SG3), "IEC Smart Grid StandardizationRoadmap", (2010).

[32] Power SystemsManagement and Associated Information Exchange-Data and Communication Security, (2010). "Summary Of Use, Application, Cybersecurity, and Functionality of Smart Grid Interoperability Standarts Identified by NIST", IEC 62351.

[33] Javadian, S. A. M. ve Haghifam, M. R., (2008). "Implementation of a New Protection Scheme on a Real Distribution System inPresence of DG", Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference POWERCON, India.

[34] Mahat, P., Chen, Z., Bak-Jensen, B. ve Bak C.L., (2011). "A Simple Adaptive Overcurrent Protection of Distribution Systems With Distributed Generation", IEEE Transactions on Smart Grid, 2(3):428 – 437.

[35] Bittencourt, A.A., de Carvalho, M.R. ve Rolim, J.G., (2009). "Adaptive Strategies in Power Systems Protection Using Artificial Intelligence Techniques", ISAP '09. 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems.

[36] Hui, W., 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 Transactions on Industry Applications, 46(5):2118-2124.

[37] Botero, A.F. ve Rios, M.A., (2013). "Procedure of fault management in distribution networks with distributed generation", PowerTech (POWERTECH), Grenoble.

[38] Ma, J. , Wang, X., Zhang, Y. , Yang, Q. ve Phadke, A.G., (2012). "A novel adaptive current protection scheme for distribution systems with distributed generation", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 43(1):1460-1466.

[39] Javadian, S.A.M., Haghifam, M.-R. , Bathaee, S.M.T. ve Fotuhi Firoozabad M., (2013). "Adaptive centralized protection scheme for distribution systems with DG using risk analysis for protective devices placement", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 44(1):337-345.

[40] Chelliaha, T. R., Thangaraja, R., Allamsettya, S., ve Pantb M., (2014). "Coordination of directional overcurrent relays using opposition based chaotic differential evolution algorithm", 55:341-350.

[41] Abidin, A. A. B. Z., Ramasamy, A. K. , Nagi, F. H. ve Abidin, I. B. Z., (2009). "Determination of overcurrent time delay using fuzzy logic relays", Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications, CITISIA.

[42] Zadeh, L. A., (2008). "Is there a need for fuzzy logic?", Information Sciences, 178(13):2751-2779.

[43] Erdinc, O., Vural, B., Uzunoglu, M. ve Ates, Y., (2009). "Modeling and analysis of an FC/UC hybrid vehicular power system using a wavelet-fuzzy logic based load sharing and control algorithm", Int J Hydrogen Energy, 34(12):5223-5233.

[44] Yumurtacı, R., (1995). Elektrik Güç Sistemlerinde Hatların Mesafe Röleleri İle Korunması, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[45] Kaya, A., (1971). "Teori ve Tatbikatları ile Röle Teknolojisi", Türkiye Elektrik Kurumu.

[46] Yumurtacı, R., (2006). "Elektrik Tesislerinde Koruma Tekniği", ders notları.

[47] Weedy, B. M. ve Cory, B. J., (1988). "Electric Power Sytems", John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.

[48] Büyükdora, H., (2006). "OG şebekelerinde ölçü trafoları ve sekonder koruma", TMMOB Türkiye Elektrik Mühendisleri Odası, İzmir.

[49] Çokuğraş, S., (2008). "Koruma tekniğinde seçicilik", Siemens seçicilik eğitimi notları.

[50] Odabaşı, T., "Koruma sistemlerinin genel prensipleri, şebeke ve trafo koruması", Adana

[51] Bilgili, M., Ozbek, A., Sahin, B. ve Kahraman, A., (2015). "An overview of renewable electric power capacity and progress in new technologies in the world", Renew. Sustain. Energy Rev., 49:323-334.

[52] Panwar, N. L., Kaushik, S. C. ve S. Kothari, (2011). "Role of renewable energy sources in environmental protection: A review", Renew. Sustain. Energy Rev., 15(3):1513–1524.

[53] Kaygusuz, K., (2012). "Energy for sustainable development: A case of developing countries", Renew. Sustain. Energy Rev., 16(2):1116-1126.

[54] Beccali, M., Cellura, M. ve Mistretta, M., (2007). "Environmental effects of energy policy in sicily: The role of renewable energy", Renew. Sustain. Energy Rev., 11(2):282-298.

[55] EIA, U.S. Energy Information Administration, International Energy Outlook, https://www.eia.org, 7 Mayıs 2013.

[56] Manzano-Agugliaro, F., Alcayde, A., Montoya, F. G., Zapata-Sierra, A., ve Gil C., (2013). "Scientific production of renewable energies worldwide: An overview" Renew. Sustain. Energy Rev., 18:134-143.

[57] Kumar, Y., Ringenberg, J., Depuru, S. S., Devabhaktuni, V. K., Lee, J. W., Nikolaidis, E., Andersen, B. ve Afjeh, A., (2016). "Wind energy: Trends and enabling technologies", Renew. Sustain. Energy Rev., 53:209-224.

[58] Parida, B., Iniyan, S., ve Goic, R., (2011). "A review of solar photovoltaic technologies", Renew. Sustain. Energy Rev., 15(3):1625-1636.

[59] IEA, (2013). International Energy Agency, Tracking Clean Energy Progress.

[60] IEA. Deploying renewables, /https://www.iea.org, 16 Ekim 2015.

[61] Beggs, C., (2009). "Energy: management, supply and conservation", 2nd ed. Burlington, USA: Elsevier Ltd. Inc.

[62] del Río, P. ve Burguillo, M., (2009). "An empirical analysis of the impact of renewable energy deployment on local sustainability", Renew. Sustain. Energy Rev., 13(6-7):1314-1325.

[63] Romero, S. R., (2012). Santos AC, Gil MAC. EU plans for renewable energy. An application to the Spanish case. Renew Energy, 43:322-330.

[64] Kumar, A., Kumar, K., Kaushik, N., Sharma, S., ve Mishra, S., (2010). "Renewable energy in India: Current status and future potentials", Renew. Sustain. Energy Rev., 14(8):2434-2442.

[65] Bilgili, M., Yasar, A., ve Simsek, E., (2011). "Offshore wind power development in Europe and its comparison with onshore counterpart", Renew. Sustain. Energy Rev., 15(2):905-915.

[66] Sirin, S. M. ve Ege, A., (2012). "Overcoming problems in Turkeys renewable energy policy: How can EU contribute?", Renew. Sustain. Energy Rev., 16(7):4917-4926.

[67] REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Renewables Global Futures Report, http://www.ren21.net, 18 Mart 2013.

[68] REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Renewables 2014 Global Status Report, http://www.ren21.net, 22 Nisan 2014.

[69] DSASR, Distribution System Analysis Subcommittee Report, Radial Distribution Test Feeders, available at http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders.html, 2 Ekim 2014.

[70] AREVA T&D Automation & Information Systems, (2005). Network protection & automation guide. Overcurrent protection for phase and earth faults, 122–51, [chapter 9].

[71] Chen, C.R. ve Lee, C.H., (2014). "Adaptive overcurrent relay coordination for off-peak loading in interconnected power system", Electrical Power and Energy Systems, 63:140–144.

EK A

IEEE 13 BARALI TEST SİSTEMİ ADAPTİF KORUMA SİSTEMİ ALGORİTMASI

```
function [Tp_684_652_1, Tp_684_652_2, Tp_611_684_1, Tp_611_684_2,
Tp_684_671_1, Tp_684_671_2, Tp_671_680_1, Tp_671_680_2, Tp_692_675_1,
Tp_692_675_2, Tp_671_692_1, Tp_671_692_2, Tp_632_671_1, Tp_632_671_2,
Tp_646_645_1, Tp_646_645_2, Tp_645_632_1, Tp_645_632_2, Tp_633_634_1,
Tp_633_634_2, Tp_632_633_1, Tp_632_633_2, Tp_650_632_1, Tp_650_632_2]
=
fcn(b_mg,b646,b645,b632,b633,b634,b611,b684,b671,b692,b675,b652,b680,c
_mg,c646,c645,c632,c633,c634,c611,c684,c671,c692,c675,c652,c680)

%%Hangi barada DG var? (b DG var mi yok mu, c DG devrede mi degil mi)
(650 632 arasina sebeke empedansi eklenmistir)
z650_632=0.1401+0.3859i+0.0346+0.2769i;
z646_645=0.0757+0.0772i;
z645_632=0.1261+0.1286i;
z632_633=0.0747+0.1141i;
z633_634=0.2085+0.6191i;
z632_671=0.1397+0.3872i;
z611_684=0.0757+0.0766i;
z684_671=0.0756+0.0770i;
z671_692=0;
z692_675=0.0758+0.0418i;
z684_652=0.2022+0.0775i;
z671_680=0.0662+0.1926i;

I_n_mg_650_632_1=627*1.2;
I_n_mg_650_632_2=627*1.2;
I_n_mg_646_645_1=65*1.2;
I_n_mg_646_645_2=65*1.2;
I_n_mg_645_632_1=143*1.2;
I_n_mg_645_632_2=143*1.2;
I_n_mg_633_634_1=704*1.2;
I_n_mg_633_634_2=704*1.2;
I_n_mg_632_633_1=81*1.2;
I_n_mg_632_633_2=81*1.2;
I_n_mg_632_671_1=470*1.2;
I_n_mg_632_671_2=470*1.2;
I_n_mg_611_684_1=71*1.2;
I_n_mg_611_684_2=71*1.2;
I_n_mg_684_652_1=63*1.2;
```

```
I_n_mg_684_652_2=63*1.2;
I_n_mg_684_671_1=71*1.2;
I_n_mg_684_671_2=71*1.2;
I_n_mg_692_675_1=150*1.2;
I_n_mg_692_675_2=150*1.2;
I_n_mg_671_692_1=150*1.2;
I_n_mg_671_692_2=150*1.2;
I_n_mg_671_680_1=470*1.2;
I_n_mg_671_680_2=470*1.2;

KZP=0.3;

Vmaingrid=4160*b_mg*c_mg;
VDG_646=4160*b646*c646;
VDG_645=4160*b645*c645;
VDG_632=4160*b632*c632;
VDG_633=4160*b633*c633;
VDG_634=4160*b634*c634;
VDG_611=4160*b611*c611;
VDG_684=4160*b684*c684;
VDG_671=4160*b671*c671;
VDG_692=4160*b692*c692;
VDG_675=4160*b675*c675;
VDG_652=4160*b652*c652;
VDG_680=4160*b680*c680;

cl646=-246*(c646-1);
cl645=-246*(c645-1);
cl632=-246*(c632-1);
cl633=-246*(c633-1);
cl634=-246*(c634-1);
cl611=-246*(c611-1);
cl684=-246*(c684-1);
cl671=-246*(c671-1);
cl692=-246*(c692-1);
cl675=-246*(c675-1);
cl652=-246*(c652-1);
cl680=-246*(c680-1);

%c=0 ise DG akim sinirlamalidir, c=1 oldugunda ise genarator baglidir

ZDGcom=0.0018+0.0467i;
Zmaster=0.0199+1.638i;
%%BARA 650de DG olamaz cunku ana sebeke

%BARA646da DG tesis edilmesi ihtimali icin butun baralara olan
empedans kombinasyonlari
ZDG646_B646=ZDGcom;
ZDG646_B645=ZDGcom+z646_645;
ZDG646_B632=ZDGcom+z646_645+z645_632;
ZDG646_B650=ZDGcom+z646_645+z645_632+z650_632;
ZDG646_B633=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_633;
ZDG646_B634=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_633+z633_634;
ZDG646_B671=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_671;
ZDG646_B611=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_671+z611_684+z684_671;
ZDG646_B684=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_671+z684_671;
ZDG646_B652=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_671+z684_671+z684_652;
ZDG646_B680=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_671+z671_680;
ZDG646_B675=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_671+z671_692+z692_675;
```

```
ZDG646_B692=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_671+z671_692;

%BARA645te DG tesis edilmesi ihtimali icin butun baralara olan
empedans kombinasyonlari
ZDG645_B646=ZDGcom+z646_645;
ZDG645_B645=ZDGcom;
ZDG645_B632=ZDGcom+z645_632;
ZDG645_B650=ZDGcom+z645_632+z650_632;
ZDG645_B633=ZDGcom+z645_632+z632_633;
ZDG645_B634=ZDGcom+z645_632+z632_633+z633_634;
ZDG645_B671=ZDGcom+z645_632+z632_671;
ZDG645_B611=ZDGcom+z645_632+z632_671+z611_684+z684_671;
ZDG645_B684=ZDGcom+z645_632+z632_671+z684_671;
ZDG645_B652=ZDGcom+z645_632+z632_671+z684_671+z684_652;
ZDG645_B680=ZDGcom+z645_632+z632_671+z671_680;
ZDG645_B675=ZDGcom+z645_632+z632_671+z671_692+z692_675;
ZDG645_B692=ZDGcom+z645_632+z632_671+z671_692;

%BARA632de DG tesis edilmesi ihtimali icin butun baralara olan
empedans kombinasyonlari
ZDG632_B646=ZDGcom+z646_645+z645_632;
ZDG632_B645=ZDGcom+z645_632;
ZDG632_B632=ZDGcom;
ZDG632_B650=ZDGcom+z650_632;
ZDG632_B633=ZDGcom+z632_633;
ZDG632_B634=ZDGcom+z632_633+z633_634;
ZDG632_B671=ZDGcom+z632_671;
ZDG632_B611=ZDGcom+z632_671+z611_684+z684_671;
ZDG632_B684=ZDGcom+z632_671+z684_671;
ZDG632_B652=ZDGcom+z632_671+z684_671+z684_652;
ZDG632_B680=ZDGcom+z632_671+z671_680;
ZDG632_B675=ZDGcom+z632_671+z671_692+z692_675;
ZDG632_B692=ZDGcom+z632_671+z671_692;

%BARA634te DG tesis edilmesi ihtimali icin butun baralara olan
empedans kombinasyonlari
ZDG634_B646=ZDGcom+z632_633+z633_634+z646_645+z645_632;
ZDG634_B645=ZDGcom+z632_633+z633_634+z645_632;
ZDG634_B632=ZDGcom+z632_633+z633_634;
ZDG634_B650=ZDGcom+z632_633+z633_634+z650_632;
ZDG634_B633=ZDGcom+z633_634;
ZDG634_B634=ZDGcom;
ZDG634_B671=ZDGcom+z632_633+z633_634+z632_671;
ZDG634_B611=ZDGcom+z632_633+z633_634+z632_671+z611_684+z684_671;
ZDG634_B684=ZDGcom+z632_633+z633_634+z632_671+z684_671;
ZDG634_B652=ZDGcom+z632_633+z633_634+z632_671+z684_671+z684_652;
ZDG634_B680=ZDGcom+z632_633+z633_634+z632_671+z671_680;
ZDG634_B675=ZDGcom+z632_633+z633_634+z632_671+z671_692+z692_675;
ZDG634_B692=ZDGcom+z632_633+z633_634+z632_671+z671_692;

%BARA633te DG tesis edilmesi ihtimali icin butun baralara olan
empedans kombinasyonlari
ZDG633_B646=ZDGcom+z632_633+z646_645+z645_632;
ZDG633_B645=ZDGcom+z632_633+z645_632;
ZDG633_B632=ZDGcom+z632_633;
ZDG633_B650=ZDGcom+z632_633+z650_632;
ZDG633_B633=ZDGcom;
ZDG633_B634=ZDGcom+z633_634;
ZDG633_B671=ZDGcom+z632_633+z632_671;
```

```
ZDG633_B611=ZDGcom+z632_633+z632_671+z611_684+z684_671;
ZDG633_B684=ZDGcom+z632_633+z632_671+z684_671;
ZDG633_B652=ZDGcom+z632_633+z632_671+z684_671+z684_652;
ZDG633_B680=ZDGcom+z632_633+z632_671+z671_680;
ZDG633_B675=ZDGcom+z632_633+z632_671+z671_692+z692_675;
ZDG633_B692=ZDGcom+z632_633+z632_671+z671_692;

%BARA611de DG tesis edilmesi ihtimali icin butun baralara olan
empedans kombinasyonlari
ZDG611_B646=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_671+z611_684+z684_671;
ZDG611_B645=ZDGcom+z645_632+z632_671+z611_684+z684_671;
ZDG611_B632=ZDGcom+z632_671+z611_684+z684_671;
ZDG611_B650=ZDGcom+z632_671+z611_684+z684_671+z650_632;
ZDG611_B633=ZDGcom+z632_633+z632_671+z611_684+z684_671;
ZDG611_B634=ZDGcom+z632_633+z633_634+z632_671+z611_684+z684_671;
ZDG611_B671=ZDGcom+z611_684+z684_671;
ZDG611_B611=ZDGcom;
ZDG611_B684=ZDGcom+z611_684;
ZDG611_B652=ZDGcom+z611_684+z684_652;
ZDG611_B680=ZDGcom+z611_684+z684_671+z671_680;
ZDG611_B675=ZDGcom+z611_684+z684_671+z671_692+z692_675;
ZDG611_B692=ZDGcom+z611_684+z684_671+z671_692;

%BARA684te DG tesis edilmesi ihtimali icin butun baralara olan
empedans kombinasyonlari
ZDG684_B646=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_671+z684_671;
ZDG684_B645=ZDGcom+z645_632+z632_671+z684_671;
ZDG684_B632=ZDGcom+z632_671+z684_671;
ZDG684_B650=ZDGcom+z632_671+z684_671+z650_632;
ZDG684_B633=ZDGcom+z632_633+z632_671+z684_671;
ZDG684_B634=ZDGcom+z632_633+z633_634+z632_671+z684_671;
ZDG684_B671=ZDGcom+z684_671;
ZDG684_B611=ZDGcom+z611_684;
ZDG684_B684=ZDGcom;
ZDG684_B652=ZDGcom+z684_652;
ZDG684_B680=ZDGcom+z684_671+z671_680;
ZDG684_B675=ZDGcom+z684_671+z671_692+z692_675;
ZDG684_B692=ZDGcom+z684_671+z671_692;

%BARA652de DG tesis edilmesi ihtimali icin butun baralara olan
empedans kombinasyonlari
ZDG652_B646=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_671+z684_671+z684_652;
ZDG652_B645=ZDGcom+z645_632+z632_671+z684_671+z684_652;
ZDG652_B632=ZDGcom+z632_671+z684_671+z684_652;
ZDG652_B650=ZDGcom+z632_671+z684_671+z650_632+z684_652;
ZDG652_B633=ZDGcom+z632_633+z632_671+z684_671+z684_652;
ZDG652_B634=ZDGcom+z632_633+z633_634+z632_671+z684_671+z684_652;
ZDG652_B671=ZDGcom+z684_671+z684_652;
ZDG652_B611=ZDGcom+z611_684+z684_652;
ZDG652_B684=ZDGcom+z684_652;
ZDG652_B652=ZDGcom;
ZDG652_B680=ZDGcom+z684_671+z671_680+z684_652;
ZDG652_B675=ZDGcom+z684_671+z671_692+z692_675+z684_652;
ZDG652_B692=ZDGcom+z684_671+z671_692+z684_652;

%BARA671de DG tesis edilmesi ihtimali icin butun baralara olan
empedans kombinasyonlari
ZDG671_B646=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_671;
ZDG671_B645=ZDGcom+z645_632+z632_671;
```

```
ZDG671_B632=ZDGcom+z632_671;
ZDG671_B650=ZDGcom+z632_671+z650_632;
ZDG671_B633=ZDGcom+z632_633+z632_671;
ZDG671_B634=ZDGcom+z632_633+z633_634+z632_671;
ZDG671_B671=ZDGcom;
ZDG671_B611=ZDGcom+z611_684+z684_671;
ZDG671_B684=ZDGcom+z684_671;
ZDG671_B652=ZDGcom+z684_652+z684_671;
ZDG671_B680=ZDGcom+z671_680;
ZDG671_B675=ZDGcom+z671_692+z692_675;
ZDG671_B692=ZDGcom+z671_692;

%BARA680de Master kaynak tesis edilmesi ihtimali icin butun baralara
olan empedans kombinasyonlari
ZDG680_B646=Zmaster+z646_645+z645_632+z632_671+z671_680;
ZDG680_B645=Zmaster+z645_632+z632_671+z671_680;
ZDG680_B632=Zmaster+z632_671+z671_680;
ZDG680_B650=Zmaster+z632_671+z650_632+z671_680;
ZDG680_B633=Zmaster+z632_633+z632_671+z671_680;
ZDG680_B634=Zmaster+z632_633+z633_634+z632_671+z671_680;
ZDG680_B671=Zmaster+z671_680;
ZDG680_B611=Zmaster+z611_684+z684_671+z671_680;
ZDG680_B684=Zmaster+z684_671+z671_680;
ZDG680_B652=Zmaster+z684_652+z684_671+z671_680;
ZDG680_B680=Zmaster;
ZDG680_B675=Zmaster+z671_692+z692_675+z671_680;
ZDG680_B692=Zmaster+z671_692+z671_680;

%BARA675te DG tesis edilmesi ihtimali icin butun baralara olan
empedans kombinasyonlari
ZDG675_B646=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_671+z671_692+z692_675;
ZDG675_B645=ZDGcom+z645_632+z632_671+z671_692+z692_675;
ZDG675_B632=ZDGcom+z632_671+z671_692+z692_675;
ZDG675_B650=ZDGcom+z632_671+z650_632+z671_692+z692_675;
ZDG675_B633=ZDGcom+z632_633+z632_671+z671_692+z692_675;
ZDG675_B634=ZDGcom+z632_633+z633_634+z632_671+z671_692+z692_675;
ZDG675_B671=ZDGcom+z671_692+z692_675;
ZDG675_B611=ZDGcom+z611_684+z684_671+z671_692+z692_675;
ZDG675_B684=ZDGcom+z684_671+z671_692+z692_675;
ZDG675_B652=ZDGcom+z684_652+z684_671+z671_692+z692_675;
ZDG675_B680=ZDGcom+z671_680+z671_692+z692_675;
ZDG675_B675=ZDGcom;
ZDG675_B692=ZDGcom+z692_675;

%BARA692de DG tesis edilmesi ihtimali icin butun baralara olan
empedans kombinasyonlari
ZDG692_B646=ZDGcom+z646_645+z645_632+z632_671+z671_692;
ZDG692_B645=ZDGcom+z645_632+z632_671+z671_692;
ZDG692_B632=ZDGcom+z632_671+z671_692;
ZDG692_B650=ZDGcom+z632_671+z650_632+z671_692;
ZDG692_B633=ZDGcom+z632_633+z632_671+z671_692;
ZDG692_B634=ZDGcom+z632_633+z633_634+z632_671+z671_692;
ZDG692_B671=ZDGcom+z671_692;
ZDG692_B611=ZDGcom+z611_684+z684_671+z671_692;
ZDG692_B684=ZDGcom+z684_671+z671_692;
ZDG692_B652=ZDGcom+z684_652+z684_671+z671_692;
ZDG692_B680=ZDGcom+z671_680+z671_692;
ZDG692_B675=ZDGcom+z692_675;
ZDG692_B692=ZDGcom;
```

```
%%Main grid (bara 650) ile her bara arasindaki hat empedanslari
Ztot_maingrid_652=z684_652+z684_671+z632_671+z650_632;
Ztot_maingrid_680=z671_680+z632_671+z650_632;
Ztot_maingrid_675=z692_675+z671_692+z632_671+z650_632;
Ztot_maingrid_692=z671_692+z632_671+z650_632;
Ztot_maingrid_671=z632_671+z650_632;
Ztot_maingrid_684=z684_671+z632_671+z650_632;
Ztot_maingrid_611=z611_684+z684_671+z632_671+z650_632;
Ztot_maingrid_634=z633_634+z632_633+z650_632;
Ztot_maingrid_633=z632_633+z650_632;
Ztot_maingrid_632=z650_632;
Ztot_maingrid_646=z646_645+z645_632+z650_632;
Ztot_maingrid_645=z645_632+z650_632;
Ztot_maingrid_650=0;



%%Her hattan gecen yonlu kisa devre akimlari
%1 yonu soldan saga yukaridan asagiya
%2 yonu sagdan sola asagidan yukariya

I_kd_650_632_1=0.9*abs((Vmaingrid/Ztot_maingrid_632)/sqrt(3));
I_kd_650_632_2=0.9*abs(((VDG_646/sqrt(3)/ZDG646_B650*c646+cl646*b646)+
(VDG_645/sqrt(3)/ZDG645_B650*c645+cl645*b645)+(VDG_632/sqrt(3)/ZDG632_
B650*c632+cl632*b632)+(VDG_633/sqrt(3)/ZDG633_B650*c633+cl633*b633)+(V
DG_634/sqrt(3)/ZDG634_B650*c634+cl634*b634)+(VDG_611/sqrt(3)/ZDG611_B6
50*c611+cl611*b611)+(VDG_684/sqrt(3)/ZDG684_B650*c684+cl684*b684)+(VDG
_652/sqrt(3)/ZDG652_B650*c652+cl652*b652)+(VDG_671/sqrt(3)/ZDG671_B650
*c671+cl671*b671)+(VDG_675/sqrt(3)/ZDG675_B650*c675+cl675*b675)+(VDG_6
92/sqrt(3)/ZDG692_B650*c692+cl692*b692)+(VDG_680/sqrt(3)/ZDG680_B650*c
680+cl680*b680)));
I_kd_646_645_1=0.9*abs((VDG_646/sqrt(3)/ZDG646_B645*c646+cl646*b646));
I_kd_646_645_2=0.9*abs(((Vmaingrid/Ztot_maingrid_646)+(VDG_645/ZDG645_
B646/sqrt(3)*c645+cl645*b645)+(VDG_632/ZDG632_B646/sqrt(3)*c632+cl632*
b632)+(VDG_633/ZDG633_B646/sqrt(3)*c633+cl633*b633)+(VDG_634/ZDG634_B6
46/sqrt(3)*c634+cl634*b634)+(VDG_611/ZDG611_B646/sqrt(3)*c611+cl611*b6
11)+(VDG_684/ZDG684_B646/sqrt(3)*c684+cl684*b684)+(VDG_652/ZDG652_B646
/sqrt(3)*c652+cl652*b652)+(VDG_671/ZDG671_B646/sqrt(3)*c671+cl671*b671
)+(VDG_675/ZDG675_B646/sqrt(3)*c675+cl675*b675)+(VDG_692/ZDG692_B646/s
qrt(3)*c692+cl692*b692)+(VDG_680/ZDG680_B646/sqrt(3)*c680+cl680*b680))
);
I_kd_645_632_1=0.9*abs((VDG_646/ZDG646_B632/sqrt(3)*c646+cl646*b646)+(
VDG_645/ZDG645_B632/sqrt(3)*c645+cl645*b645));
I_kd_645_632_2=0.9*abs(((Vmaingrid/Ztot_maingrid_645)+(VDG_632/ZDG632_
B645/sqrt(3)*c632+cl632*b632)+(VDG_633/ZDG633_B645/sqrt(3)*c633+cl633*
b633)+(VDG_634/ZDG634_B645/sqrt(3)*c634+cl634*b634)+(VDG_611/ZDG611_B6
45/sqrt(3)*c611+cl611*b611)+(VDG_684/ZDG684_B645/sqrt(3)*c684+cl684*b6
84)+(VDG_652/ZDG652_B645/sqrt(3)*c652+cl652*b652)+(VDG_671/ZDG671_B645
/sqrt(3)*c671+cl671*b671)+(VDG_675/ZDG675_B645/sqrt(3)*c675+cl675*b675
)+(VDG_692/ZDG692_B645/sqrt(3)*c692+cl692*b692)+(VDG_680/ZDG680_B645/s
qrt(3)*c680+cl680*b680)));
I_kd_633_634_1=0.9*4.16/0.48*abs(((Vmaingrid/Ztot_maingrid_634)+(VDG_6
46/ZDG646_B634/sqrt(3)*c646+cl646*b646)+(VDG_645/ZDG645_B634/sqrt(3)*c
645+cl645*b645)+(VDG_632/ZDG632_B634/sqrt(3)*c632+cl632*b632)+(VDG_633
/ZDG633_B634/sqrt(3)*c633+cl633*b633)+(VDG_611/ZDG611_B634/sqrt(3)*c61
1+cl611*b611)+(VDG_684/ZDG684_B634/sqrt(3)*c684+cl684*b684)+(VDG_652/Z
DG652_B634/sqrt(3)*c652+cl652*b652)+(VDG_671/ZDG671_B634/sqrt(3)*c671+
cl671*b671)+(VDG_675/ZDG675_B634/sqrt(3)*c675+cl675*b675)+(VDG_692/ZDG
```

```
692_B634/sqrt(3)*c692+cl692*b692)+(VDG_680/ZDG680_B634/sqrt(3)*c680+cl
680*b680)));
I_kd_633_634_2=0.9*4.16/0.48*abs((VDG_634/ZDG634_B633/sqrt(3)*c634+cl6
34*b634));
I_kd_632_633_1=0.9*abs(((Vmaingrid/Ztot_maingrid_633)+(VDG_646/ZDG646_
B633/sqrt(3)*c646+cl646*b646)+(VDG_645/ZDG645_B633/sqrt(3)*c645+cl645*
b645)+(VDG_632/ZDG632_B633/sqrt(3)*c632+cl632*b632)+(VDG_611/ZDG611_B6
33/sqrt(3)*c611+cl611*b611)+(VDG_684/ZDG684_B633/sqrt(3)*c684+cl684*b6
84)+(VDG_652/ZDG652_B633/sqrt(3)*c652+cl652*b652)+(VDG_671/ZDG671_B633
/sqrt(3)*c671+cl671*b671)+(VDG_675/ZDG675_B633/sqrt(3)*c675+cl675*b675
)+(VDG_692/ZDG692_B633/sqrt(3)*c692+cl692*b692)+(VDG_680/ZDG680_B633/s
qrt(3)*c680+cl680*b680)));
I_kd_632_633_2=0.9*abs((VDG_634/ZDG634_B632/sqrt(3)*c634+cl634*b634)+(
VDG_633/ZDG633_B632/sqrt(3)*c633+cl633*b633));
I_kd_632_671_1=0.9*abs(((Vmaingrid/Ztot_maingrid_671)+(VDG_646/ZDG646_
B671/sqrt(3)*c646+cl646*b646)+(VDG_645/ZDG645_B671/sqrt(3)*c645+cl645*
b645)+(VDG_632/ZDG632_B671/sqrt(3)*c632+cl632*b632)+(VDG_633/ZDG633_B6
71/sqrt(3)*c633+cl633*b633)+(VDG_634/ZDG634_B671/sqrt(3)*c634+cl634*b6
34)));
I_kd_632_671_2=0.9*abs(((VDG_611/ZDG611_B632/sqrt(3)*c611+cl611*b611)+
(VDG_684/ZDG684_B632/sqrt(3)*c684+cl684*b684)+(VDG_652/ZDG652_B632/sqr
t(3)*c652+cl652*b652)+(VDG_671/ZDG671_B632/sqrt(3)*c671+cl671*b671)+(V
DG_675/ZDG675_B632/sqrt(3)*c675+cl675*b675)+(VDG_692/ZDG692_B632/sqrt(
3)*c692+cl692*b692)+(VDG_680/ZDG680_B632/sqrt(3)*c680+cl680*b680)));
I_kd_611_684_1=0.9*abs((VDG_611/ZDG611_B684/sqrt(3)*c611+cl611*b611));
I_kd_611_684_2=0.9*abs(((Vmaingrid/Ztot_maingrid_611)+(VDG_684/ZDG684_
B611/sqrt(3)*c684+cl684*b684)+(VDG_652/ZDG652_B611/sqrt(3)*c652+cl652*
b652)+(VDG_671/ZDG671_B611/sqrt(3)*c671+cl671*b671)+(VDG_680/ZDG680_B6
11/sqrt(3)*c680+cl680*b680)+(VDG_692/ZDG692_B611/sqrt(3)*c692+cl692*b6
92)+(VDG_675/ZDG675_B611/sqrt(3)*c675+cl675*b675)+(VDG_646/ZDG646_B611
/sqrt(3)*c646+cl646*b646)+(VDG_645/ZDG645_B611/sqrt(3)*c645+cl645*b645
)+(VDG_632/ZDG632_B611/sqrt(3)*c632+cl632*b632)+(VDG_633/ZDG633_B611/s
qrt(3)*c633+cl633*b633)+(VDG_634/ZDG634_B611/sqrt(3)*c634+cl634*b634))
);
I_kd_684_671_1=0.9*abs((VDG_611/ZDG611_B671/sqrt(3)*c611+cl611*b611)+(
VDG_684/ZDG684_B671/sqrt(3)*c684+cl684*b684)+(VDG_652/ZDG652_B671/sqrt
(3)*c652+cl652*b652));
I_kd_684_671_2=0.9*abs(((Vmaingrid/Ztot_maingrid_684)+(VDG_671/ZDG671_
B684/sqrt(3)*c671+cl671*b671)+(VDG_680/ZDG680_B684/sqrt(3)*c680+cl680*
b680)+(VDG_692/ZDG692_B684/sqrt(3)*c692+cl692*b692)+(VDG_675/ZDG675_B6
84/sqrt(3)*c675+cl675*b675)+(VDG_646/ZDG646_B684/sqrt(3)*c646+cl646*b6
46)+(VDG_645/ZDG645_B684/sqrt(3)*c645+cl645*b645)+(VDG_632/ZDG632_B684
/sqrt(3)*c632+cl632*b632)+(VDG_633/ZDG633_B684/sqrt(3)*c633+cl633*b633
)+(VDG_634/ZDG634_B684/sqrt(3)*c634+cl634*b634)));
I_kd_684_652_1=0.9*abs(((Vmaingrid/Ztot_maingrid_652)+(VDG_611/ZDG611_
B652/sqrt(3)*c611+cl611*b611)+(VDG_684/ZDG684_B652/sqrt(3)*c684+cl684*
b684)+(VDG_671/ZDG671_B652/sqrt(3)*c671+cl671*b671)+(VDG_680/ZDG680_B6
52/sqrt(3)*c680+cl680*b680)+(VDG_692/ZDG692_B652/sqrt(3)*c692+cl692*b6
92)+(VDG_675/ZDG675_B652/sqrt(3)*c675+cl675*b675)+(VDG_646/ZDG646_B652
/sqrt(3)*c646+cl646*b646)+(VDG_645/ZDG645_B652/sqrt(3)*c645+cl645*b645
)+(VDG_632/ZDG632_B652/sqrt(3)*c632+cl632*b632)+(VDG_633/ZDG633_B652/s
qrt(3)*c633+cl633*b633)+(VDG_634/ZDG634_B652/sqrt(3)*c634+cl634*b634))
);
I_kd_684_652_2=0.9*abs((VDG_652/ZDG652_B684/sqrt(3)*c652+cl652*b652));
I_kd_692_675_1=0.9*abs(((Vmaingrid/Ztot_maingrid_675)+(VDG_646/ZDG646_
B675/sqrt(3)*c646+cl646*b646)+(VDG_645/ZDG645_B675/sqrt(3)*c645+cl645*
b645)+(VDG_632/ZDG632_B675/sqrt(3)*c632+cl632*b632)+(VDG_633/ZDG633_B6
75/sqrt(3)*c633+cl633*b633)+(VDG_634/ZDG634_B675/sqrt(3)*c634+cl634*b6
34)+(VDG_611/ZDG611_B675/sqrt(3)*c611+cl611*b611)+(VDG_684/ZDG684_B675
/sqrt(3)*c684+cl684*b684)+(VDG_652/ZDG652_B675/sqrt(3)*c652+cl652*b652
```

```
)+(VDG_671/ZDG671_B675/sqrt(3)*c671+cl671*b671)+(VDG_680/ZDG680_B675/s
qrt(3)*c680+cl680*b680)+(VDG_692/ZDG692_B675/sqrt(3)*c692+cl692*b692))
);
I_kd_692_675_2=0.9*abs((VDG_675/ZDG675_B692/sqrt(3)*c675+cl675*b675));
I_kd_671_692_1=0.9*abs(((Vmaingrid/Ztot_maingrid_692)+(VDG_646/ZDG646_
B692/sqrt(3)*c646+cl646*b646)+(VDG_645/ZDG645_B692/sqrt(3)*c645+cl645*
b645)+(VDG_632/ZDG632_B692/sqrt(3)*c632+cl632*b632)+(VDG_633/ZDG633_B6
92/sqrt(3)*c633+cl633*b633)+(VDG_634/ZDG634_B692/sqrt(3)*c634+cl634*b6
34)+(VDG_611/ZDG611_B692/sqrt(3)*c611+cl611*b611)+(VDG_652/ZDG652_B692
/sqrt(3)*c652+cl652*b652)+(VDG_684/ZDG684_B692/sqrt(3)*c684+cl684*b684
)+(VDG_671/ZDG671_B692/sqrt(3)*c671+cl671*b671)+(VDG_680/ZDG680_B692/s
qrt(3)*c680+cl680*b680)));
I_kd_671_692_2=0.9*abs(((VDG_675/ZDG675_B671/sqrt(3)*c675+cl675*b675)+
(VDG_692/ZDG692_B671/sqrt(3)*c692+cl692*b692)));
I_kd_671_680_1=0.9*abs(((Vmaingrid/Ztot_maingrid_680)+(VDG_646/ZDG646_
B680/sqrt(3)*c646+cl646*b646)+(VDG_645/ZDG645_B680/sqrt(3)*c645+cl645*
b645)+(VDG_632/ZDG632_B680/sqrt(3)*c632+cl632*b632)+(VDG_633/ZDG633_B6
80/sqrt(3)*c633+cl633*b633)+(VDG_634/ZDG634_B680/sqrt(3)*c634+cl634*b6
34)+(VDG_611/ZDG611_B680/sqrt(3)*c611+cl611*b611)+(VDG_684/ZDG684_B680
/sqrt(3)*c684+cl684*b684)+(VDG_652/ZDG652_B680/sqrt(3)*c652+cl652*b652
)+(VDG_671/ZDG671_B680/sqrt(3)*c671+cl671*b671)+(VDG_692/ZDG692_B680/s
qrt(3)*c692+cl692*b692)+(VDG_675/ZDG675_B680/sqrt(3)*c675+cl675*b675))
);
I_kd_671_680_2=0.9*abs((VDG_680/ZDG680_B671/sqrt(3)*c680+cl680*b680));


%%Bara_650'den yuklere dogru selektivite hesabi (KZP eklenen
noktalarda yeni t hesaplandi)

Tp_684_652_1=0.05;
Tp_611_684_2=0.05;
t684_652_1=0.14*Tp_684_652_1/((I_kd_684_652_1/I_n_mg_684_652_1)^0.02-
1);
t611_684_2=0.14*Tp_611_684_2/((I_kd_611_684_2/I_n_mg_611_684_2)^0.02-
1);
t684_671_2=max(t684_652_1,t611_684_2)+KZP;
%%maximum t lerden hangisini kullanacagimizi anlamak icin
if t684_671_2-KZP==t684_652_1
    a1=1;
    b1=0;
else
    a1=0;
    b1=1;
end
Tp_684_671_2=t684_671_2*((I_kd_684_671_2/I_n_mg_684_671_2)^0.02-
1)/0.14;
if Tp_684_671_2<=0.05
    Tp_684_671_2=0.05;
end
t684_671_2_=0.14*Tp_684_671_2/(((I_kd_684_652_2*a1+I_kd_611_684_2*b1)/
I_n_mg_684_671_2)^0.02-1);
Tp_671_680_1=0.05;
t671_680_1=0.14*Tp_671_680_1/((I_kd_671_680_1/I_n_mg_671_680_1)^0.02-
1);
Tp_692_675_1=0.05;
t692_675_1=0.14*Tp_692_675_1/((I_kd_692_675_1/I_n_mg_692_675_1)^0.02-
1);
t671_692_1=t692_675_1+KZP;
Tp_671_692_1=t671_692_1*((I_kd_692_675_1/I_n_mg_671_692_1)^0.02-
1)/0.14;
```

```
if Tp_671_692_1<=0.05
    Tp_671_692_1=0.05;
end
t671_692_1_=0.14*Tp_671_692_1/((I_kd_671_692_1/I_n_mg_671_692_1)^0.02-
1);
t632_671_1=max(max(t684_671_2_,t671_680_1),t671_692_1_)+KZP;

if t632_671_1-KZP==t684_671_2_
    a2=1;
    b2=0;
    ac2=0;
elseif t632_671_1-KZP==t671_680_1
    a2=0;
    b2=1;
    ac2=0;
else
    a2=0;
    b2=0;
    ac2=1;
end

Tp_632_671_1=t632_671_1*(((I_kd_684_671_2*a2+I_kd_632_671_1*b2+I_kd_67
1_692_1*ac2)/I_n_mg_632_671_1)^0.02-1)/0.14;
if Tp_632_671_1<=0.05
    Tp_632_671_1=0.05;
end
t632_671_1_=0.14*Tp_632_671_1/((I_kd_632_671_1/I_n_mg_632_671_1)^0.02-
1);
Tp_646_645_2=0.05;
t646_645_2=0.14*Tp_646_645_2/((I_kd_646_645_2/I_n_mg_646_645_2)^0.02-
1);
t645_632_2=t646_645_2+KZP;
Tp_645_632_2=t645_632_2*((I_kd_646_645_2/I_n_mg_645_632_2)^0.02-
1)/0.14;
if Tp_645_632_2<=0.05
    Tp_645_632_2=0.05;
end
t645_632_2_=0.14*Tp_645_632_2/((I_kd_645_632_2/I_n_mg_645_632_2)^0.02-
1);
Tp_633_634_1=0.05;
t633_634_1=0.14*Tp_633_634_1/((I_kd_633_634_1/I_n_mg_633_634_1)^0.02-
1);
t632_633_1=t633_634_1+KZP;
Tp_632_633_1=t632_633_1*((I_kd_633_634_1/I_n_mg_632_633_1)^0.02-
1)/0.14;
if Tp_632_633_1<=0.05
    Tp_632_633_1=0.05;
end
t632_633_1_=0.14*Tp_632_633_1/((I_kd_632_633_1/I_n_mg_632_633_1)^0.02-
1);
t650_632_1=max(max(t645_632_2_,t632_633_1_),t632_671_1_)+KZP;

if t650_632_1-KZP==t645_632_2_
    a3=1;
    b3=0;
    ac3=0;
elseif t650_632_1-KZP==t632_633_1_
    a3=0;
    b3=1;
    ac3=0;
```

```
else
    a3=0;
    b3=0;
    ac3=1;
end

Tp_650_632_1=t650_632_1*(((I_kd_645_632_2*a3+I_kd_632_633_1*b3+I_kd_63
2_671_1*ac3)/I_n_mg_650_632_1)^0.02-1)/0.14;
if Tp_650_632_1<=0.05
    Tp_650_632_1=0.05;
end

%%DGlerden Bara_650'ye dogru selektivite hesabi

Tp_650_632_2=0.05;
t650_632_2=0.14*Tp_650_632_2/((I_kd_650_632_2/I_n_mg_650_632_2)^0.02-
1);
t645_632_1=max(max(t632_633_1_,t650_632_2),t632_671_1_)+KZP;

if t645_632_1-KZP==t632_633_1_
    a4=1;
    b4=0;
    ac4=0;
elseif t645_632_1-KZP==t650_632_2
    a4=0;
    b4=1;
    ac4=0;
else
    a4=0;
    b4=0;
    ac4=1;
end
Tp_645_632_1=t645_632_1*(((I_kd_632_633_1*a4+I_kd_650_632_2*b4+I_kd_63
2_671_1*ac4)/I_n_mg_645_632_1)^0.02-1)/0.14;
if Tp_645_632_1<=0.05
    Tp_645_632_1=0.05;
end
t645_632_1_=0.14*Tp_645_632_1/((I_kd_645_632_1/I_n_mg_645_632_1)^0.02-
1);
t646_645_1=t645_632_1_+KZP;
Tp_646_645_1=t646_645_1*((I_kd_646_645_1/I_n_mg_646_645_1)^0.02-
1)/0.14;
if Tp_646_645_1<=0.05
    Tp_646_645_1=0.05;
end
t632_633_2=max(max(t645_632_2_,t650_632_2),t632_671_1_)+KZP;

if t632_633_2-KZP==t645_632_2_
    a5=1;
    b5=0;
    ac5=0;
elseif t645_632_1-KZP==t650_632_2
    a5=0;
    b5=1;
    ac5=0;
else
    a5=0;
    b5=0;
    ac5=1;
```

```
end

Tp_632_633_2=t632_633_2*(((I_kd_645_632_2*a5+I_kd_650_632_2*b5+I_kd_63
2_671_1*ac5)/I_n_mg_632_633_2)^0.02-1)/0.14;
if Tp_632_633_2<=0.05
    Tp_632_633_2=0.05;
end
t632_633_2_=0.14*Tp_632_633_2/((I_kd_632_633_2/I_n_mg_632_633_2)^0.02-
1);
t633_634_2=t632_633_2_+KZP;
Tp_633_634_2=t633_634_2*((I_kd_633_634_2/I_n_mg_633_634_2)^0.02-
1)/0.14;
if Tp_633_634_2<=0.05
    Tp_633_634_2=0.05;
end
t632_671_2=max(max(t632_633_1_,t650_632_2),t645_632_2_)+KZP;

if t632_671_2-KZP==t632_633_1_
    a6=1;
    b6=0;
    ac6=0;
elseif t632_671_2-KZP==t650_632_2
    a6=0;
    b6=1;
    ac6=0;
else
    a6=0;
    b6=0;
    ac6=1;

end

Tp_632_671_2=t632_671_2*(((I_kd_632_633_1*a6+I_kd_650_632_2*b6+I_kd_64
5_632_2*ac6)/I_n_mg_632_671_2)^0.02-1)/0.14;
if Tp_632_671_2<=0.05
    Tp_632_671_2=0.05;
end
t632_671_2_=0.14*Tp_632_671_2/((I_kd_632_671_2/I_n_mg_632_671_2)^0.02-
1);
t684_671_1=max(max(t632_671_2_,t671_692_1_),t671_680_1)+KZP;

if t684_671_1-KZP==t632_671_2_
    a7=1;
    b7=0;
    ac7=0;
elseif t684_671_1-KZP==t671_692_1_
    a7=0;
    b7=1;
    ac7=0;
else
    a7=0;
    b7=0;
    ac7=1;
end

Tp_684_671_1=t684_671_1*(((I_kd_632_671_2*a7+I_kd_671_692_1*b7+I_kd_67
1_680_1*ac7)/I_n_mg_684_671_1)^0.02-1)/0.14;
if Tp_684_671_1<=0.05
    Tp_684_671_1=0.05;
```

```
end
t684_671_1_=0.14*Tp_684_671_1/((I_kd_684_671_1/I_n_mg_684_671_1)^0.02-
1);
t611_684_1=t684_671_1_+KZP;
Tp_611_684_1=t611_684_1*((I_kd_611_684_1/I_n_mg_611_684_1)^0.02-
1)/0.14;
if Tp_611_684_1<=0.05
    Tp_611_684_1=0.05;
end
t684_652_2=t684_671_1_+KZP;
Tp_684_652_2=t684_652_2*((I_kd_684_652_2/I_n_mg_684_652_2)^0.02-
1)/0.14;
if Tp_684_652_2<=0.05
    Tp_684_652_2=0.05;
end

t671_692_2=max(max(t632_671_2_,t684_671_2_),t671_680_1)+KZP;

if t671_692_2-KZP==t632_671_2_
    a8=1;
    b8=0;
    ac8=0;
elseif t684_671_1-KZP==t684_671_2_
    a8=0;
    b8=1;
    ac8=0;
else
    a8=0;
    b8=0;
    ac8=1;
end

Tp_671_692_2=t671_692_2*(((I_kd_632_671_2*a8+I_kd_684_671_2*b8+I_kd_67
1_680_1*ac8)/I_n_mg_671_692_2)^0.02-1)/0.14;
if Tp_671_692_2<=0.05
    Tp_671_692_2=0.05;
end
t671_692_2_=0.14*Tp_671_692_2/((I_kd_671_692_2/I_n_mg_671_692_2)^0.02-
1);
t692_675_2=t671_692_2_+KZP;
Tp_692_675_2=t692_675_2*((I_kd_692_675_2/I_n_mg_692_675_2)^0.02-
1)/0.14;
if Tp_692_675_2<=0.05
    Tp_692_675_2=0.05;
end

t671_680_2=max(max(t632_671_2_,t684_671_2_),t671_692_1)+KZP;

if t671_680_2-KZP==t632_671_2_
    a9=1;
    b9=0;
    ac9=0;
elseif t671_680_2-KZP==t684_671_2_
    a9=0;
    b9=1;
    ac9=0;
else
    a9=0;
    b9=0;
```

```
    ac9=1;
end
Tp_671_680_2=t671_680_2*(((I_kd_632_671_2*a9+I_kd_684_671_2*b9+I_kd_67
1_692_1*ac9)/I_n_mg_671_680_2)^0.02-1)/0.14;
if Tp_671_680_2<=0.05
    Tp_671_680_2=0.05;
end
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yavuz ATEŞ

Doğum Tarihi ve Yeri : 15.11.1983 / Divriği

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : yates@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Tesisleri	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2007
Lise	Fen Bilimleri	Kdz. Ereğli Lisesi (YDA)	2002

YAYINLARI

Makale

1. Ateş, Y., Uzunoglu, M., Boynueğri, A. R., Karakaş, A., Nadar, A. ve Dağ, B. (2016). "Implementation of Adaptive Relay Coordination in Distribution Systems Including Distributed Generation", Journal of Cleaner Production, 112(4): 2697-2705.
2. Ateş, Y., Erdinç, O., Uzunoğlu, M. ve Vural, B. (2010). "Energy management of an FC/UC hybrid vehicular power system using a combined neural network-

wavelet transform based strategy", International Journal of Hydrogen Energy, 35(2): 774-783.

3. Erdinç, O., Vural, B., Uzunoğlu, M., ve Ateş, Y. (2009). "Modeling and Analysis of an FC/UC Hybrid Vehicular Power System Using a Wavelet-Fuzzy Logic Based Load Sharing and Control Algorithm", Int. Journal of Hydrogen Energy, 34(12): 5223-5233.

Bildiri

1. Ates, Y., Boynueğri, A.R., Uzunoglu, M. ve Karakas, A., (2015). "The Transient Reactive Power Regulation Capability of SVC For Large Scale WECS Connected to Distribution Networks", International Conference on Power and Energy Systems Engineering, Waset.
2. Ates, Y., Boynueğri, A.R., Uzunoglu, M. ve Karakas, A., (2014). "The Case Study Based Protection Analysis for Smart Distribution Grids Including Distributed Generation Units", The 12th International Conference on Developments in Power System Protection, DPSP.
3. Dağ, B., Nadar, A., Boynueğri, A. R., Karakaş, A.ve Ateş, Y., (2014). "A fault analysis method for microgrids consisting of inverter interfaced distributed generators", The 12th International Conference on Developments in Power System Protection, DPSP.
4. Ateş, Y., Uzunoğlu, M., Erdinç, O. ve Vural, B., (2009). "A Wavelet-ADALINE Network Based Load Sharing and Control Algorithm for a FC/UC Hybrid Vehicular Power System", International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP).
5. Dağ, B., Nadar, A., Boynueğri, A. R., Ateş, Y. ve Karakaş, A., (2014. "Mikro Ağlar: Genelleştirme ve Koruma Üzerine Çalışmalar", ICSG, İstanbul.
6. Turan, M. T., Ateş, Y., Gökalp, E., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R. ve Karakaş, A., (2011). "Geleneksel Bir Ring Şebekenin Akıllı Şebeke Altyapısına Uygun Hata Analizi Ve Röle Koordinasyonu", Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, FEEB.
7. Ateş, Y., Uzunoğlu, M. ve Yumurtacı, R., (2011). "Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebekeye Entegrasyonunda Akıllı Şebekelerin Rolü ve Gelecek Öngörüleri", 4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, EVK.
8. Ateş, Y., Erdinç, O., Uzunoğlu, M. ve Vural, B., (2008). "Hibrit bir YH/UK Taşıt Güç Sisteminin Yapay Sinir Ağları ile Kontrolü", Elektrik - Elektronik Ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO.
9. Erdinç, O., Ateş, Y., Uzunoğlu, M. ve Vural, B. (2008). "Dalgacık Dönüşümü-Bulanık Mantık Tabanlı Yük Paylaşımı ve Kontrol Algoritması Kullanılarak Taşıt Uygulamaları için Hibrit YH/UK Sisteminin Modellenmesi ve Analizi", II. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir.

Proje

1. Güç Elektroniği Arayüzlü Alçak Gerilim Dağıtık Üretim Şebekelerinin Korunması, Bursiyer, TÜBİTAK(ERANET), 240400 TL, 2013-02-01 – 2015-02-01.
2. Dağıtık Üretim Tesisleri İçeren Şebekeler için Akıllı ve Adaptif Bir Koruma Metodunun Geliştirilmesi, Araştırmacı, BAP, 15000 TL, 2014-06-15 – 2015-10-15.
3. Yakıt Hücreli ve Ultra-Kapasitörlü Hibrit Taşıtlar için Enerji Yönetim Sisteminin Tasarım ve Uygulaması, Bursiyer, TÜBİTAK 1001, 256000, 2007-11-01 – 2010-11-01.

ÖDÜLLERİ

1. Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilimsel Teşvik Ödülü 2007-2009
2. Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilimsel Teşvik Ödülü 2009-2010
3. Yıldız Teknik Üniversitesi, Proje Yarışması Ödülü 2012-2013