

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DAĞITIK ÜRETİM İÇEREN BİR GÜÇ SİSTEMİ İÇİN GERİLİME
BAĞLI YENİ BİR KORUMA KARAKTERİSTİĞİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

HASAN CAN KILIÇKIRAN

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ BEDRİ KEKEZOĞLU**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DAĞITIK ÜRETİM İÇEREN BİR GÜÇ SİSTEMİ İÇİN GERİLİME
BAĞLI YENİ BİR KORUMA KARAKTERİSTİĞİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Hasan Can KILIÇKIRAN tarafından hazırlanan tez çalışması 20.12.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Bedri KEKEZOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Bedri KEKEZOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa BAYSAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ozan ERDİNÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR
İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu alışma, TÜBİTAK BİDEB 2214-A programının 1059B141601327 numaralı ve TÜBİTAK BİDEB 2228-B programının 1059B281400388 numaralı projeleri ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Güç sistemlerinde koruma konusu köklü ve oturmuş bir konu olmasına rağmen, son yıllarda güç sistemlerinde gözlenen değişimler nedeniyle yeniden ele alınması gerekliliği doğmuştur. Bu çalışma, koruma sistemlerinin performanslarının artırılarak güç sistemlerinde ortaya çıkan ve/veya çıkması beklenen değişimlerden etkilenmeden sorunsuz bir şekilde işletilebilmesi için öneriler sunmaktadır. Bu çalışmanın ana hatlarını oluşturan bilgiler ayrıca "Power system protection with digital overcurrent relays: A review of non-standard characteristics" ve "A Non-Standard Characteristic Based Protection Scheme for Distribution Networks" isimli makaleler ile literatüre sunulmuştur.

Tez süreci boyunca desteğini her zaman hissettiren, anlayışlı ve içten tavrını esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Bedri Kekezoğlu'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, kendisiyle çalışmanın bir ayrıcalık olduğunu düşündüğüm, güler yüzü ve ilgili yaklaşımıyla her zaman motivasyonumu yüksek tutmama yardımcı olan Doç. Dr. Ozan Erdiñç'e teşekkür ederim.

Doktora tezimin tüm aşamalarında gösterdiği destek, sabır ve anlayıştan dolayı hayatımdaki en büyük şansım olan biricik eşim, hayat arkadaşım Yağmur Amanvermez-Kılıçkiran'a teşekkür ederim. Kendisine hayatıma yapmış olduğu sınırsız katkıların yanı sıra, mühendislik eğitimim boyunca uzak kaldığım Türkçe'ye dair bilgi dağarcığımı genişletmemde ve dolayısıyla bu tezdeki "de" ve "da" eklerinin doğru yazılmasında büyük bir rol oynadığı için bir kez daha teşekkür ederim.

Yıldız Teknik Üniversitesi'nde çalıştığım yıllar boyunca kendilerinden çok şey öğrendiğim, çalışmalarım sırasında dostluklarını, yardımlarını ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Türker Türker'e, Gürcan Yanık'a, Dr. Ali Ağçal'a ve İbrahim Şengör'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, aynı anabilim dalında görev yaptığımız Hüseyin Akdemir'e göstermiş olduğu çaba ve özveri ile çalışmalarına yaptığı katkı için teşekkür ederim.

Hollanda'da geçirdiğim süre boyunca dostluklarını her an hissettiren çok kıymetli insanlar Mert Turhan'a, Barış Dai'ye, Sultan Çetin-Öztürk'e ve Deniz Tuzcuoğlu'na içtenlikle teşekkür ederim.

Bu çalışma, benim hayatımda çok önemli bir yere sahip olan, eğitim-öğretim süreçlerim boyunca beni her zaman destekleyen ve ne yazık ki çok yakın bir zaman önce kaybettiğim babam Cem Kılıçkiran'a ithaf edilmiştir.

Aralık, 2018

Hasan Can KILIÇKIRAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	5
1.2 Tezin Amacı	9
1.3 Orijinal Katkı	10
BÖLÜM 2	
GÜÇ SİSTEMLERİNDE MEVCUT KORUMA YAKLAŞIMLARI	12
2.1 Dağıtım Sistemlerinde Geleneksel Güç Sistemi Koruması ve Yakın Tarihteki Değişimler	12
2.2 Koruma Karakteristikleri	15
2.2.1 Standart Karakteristikler	16
2.2.1.1 IEC Standart Karakteristiği	16
2.2.1.2 IEEE Standart Karakteristiği	18
2.2.2 Standart Dışı Karakteristikler	19
2.2.2.1 Elektriksel Büyüklükleri Barındıran Yaklaşımlar	20
2.2.2.2 Standart Karakteristikler Kullanılarak Standart Dışı Karakteristikler Elde Eden Yaklaşımlar	28
2.2.2.3 Standart Dışı Karakteristik Oluşturmak İçin Kullanılan Matematiksel Yöntemler	34
2.2.2.4 Diğer Standart Dışı Karakteristikler	38
2.2.2.5 Standart Dışı Karakteristiklerin Kullanıldığı Deneysel Çalışmalar	39
2.3 Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler	40

BÖLÜM 3

ÖNERİLEN KORUMA YAKLAŞIMI VE KORUMA KOORDİNASYON PROBLEMİNİN BİR OPTİMİZASYON PROBLEMİ OLARAK MODELLENMESİ.....45

3.1	Önerilen Koruma Yaklaşımı	45
3.1.1	Önerilen Koruma Karakteristiği	45
3.1.2	Önerilen Koruma Şeması	48
3.2	Koruma Koordinasyon Probleminin Bir Optimizasyon Problemi Olarak Modellenmesi	50
3.2.1	Problemin Kurulması ve Değerlendirilen Durumlar.....	50
3.2.2	Çözüm Yöntemi	53
3.2.2.1	Genetik Algoritma Hakkında Temel Bilgiler	54
3.2.2.2	Genetik Algoritma: Üstünlükler ve Kısıtlamalar	57
3.2.2.3	Genetik Algoritmanın Rôle Koordinasyon Problemine Uygulanması	58

BÖLÜM 4

BENZETİM SONUÇLARI

63

4.1	Test Sistemi ve Senaryolar	63
4.2	Sonuçlar ve Tartışma	66

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER.....

75

KAYNAKLAR

78

EK-A

IEEE 14 BARALI SİSTEMİ İÇİN EK BİLGİLER

91

EK-B

MATLAB KODLARI

93

B-1	Genetik Algoritma Durum 1 için MATLAB Kodu	93
B-2	Genetik Algoritma Durum 2 için MATLAB Kodu	106
B-3	Genetik Algoritma Durum 3 için MATLAB Kodu	121

ÖZGEÇMİŞ

137

SİMGE LİSTESİ

A_i	i rölesinin birincil karakteristiğine ait A katsayısı
A_{b_i}	i rölesinin yedek karakteristiğine ait A katsayısı
$A_{i_{max}}$	i rölesinin birincil karakteristiğine ait en yüksek A katsayısı
$A_{i_{min}}$	i rölesinin birincil karakteristiğine ait en düşük A katsayısı
$A_{b_{i_{max}}}$	i rölesinin yedek karakteristiğine ait en yüksek A katsayısı
$A_{b_{i_{min}}}$	i rölesinin yedek karakteristiğine ait en düşük A katsayısı
B_i	i rölesinin birincil karakteristiğine ait B katsayısı
B_{b_i}	i rölesinin yedek karakteristiğine ait B katsayısı
$B_{i_{max}}$	i rölesinin birincil karakteristiğine ait en yüksek B katsayısı
$B_{i_{min}}$	i rölesinin birincil karakteristiğine ait en düşük B katsayısı
$B_{b_{i_{max}}}$	i rölesinin yedek karakteristiğine ait en yüksek B katsayısı
$B_{b_{i_{min}}}$	i rölesinin yedek karakteristiğine ait en düşük B katsayısı
C_i	i rölesinin birincil karakteristiğine ait C katsayısı
C_{b_i}	i rölesinin yedek karakteristiğine ait C katsayısı
$C_{i_{max}}$	i rölesinin birincil karakteristiğine ait en yüksek C katsayısı
$C_{i_{min}}$	i rölesinin birincil karakteristiğine ait en düşük C katsayısı
$C_{b_{i_{max}}}$	i rölesinin yedek karakteristiğine ait en yüksek C katsayısı
$C_{b_{i_{min}}}$	i rölesinin yedek karakteristiğine ait en düşük C katsayısı
G	Toplam arıza türü sayısı
I_f	Arıza akımı
I_l	Yük akımı
I_{p_i}	i rölesi için açma akım ayarı değeri
$I_{p_i}^{max}$	i rölesi için maximum açma akım ayar değeri
$I_{p_i}^{min}$	i rölesi için minimum açma akım ayar değeri
$I_{arıza_i}^{min}$	i rölesinin gördüğü en düşük arıza akım değeri
$I_{yük_i}^{max}$	i rölesinin gördüğü en yüksek yük akım değeri
i	Röle indeksi
j	Arıza türü indeksi
MR	Belirli bir röle için atanan yedek röle sayısı
r	Yedek röle indeksi
TDS_i	i rölesi için zaman çarpan ayarı değeri
$TDS_{i_{max}}$	i rölesi için en yüksek zaman çarpan ayarı değeri
$TDS_{i_{min}}$	i rölesi için en düşük zaman çarpan ayar değeri

t_{ij}^b	Birincil i rölesinin j türündeki arıza için açma süresi
$t_{ij}^{b_{rij}}$	Birincil i rölesine yedek olarak atanan r. rölenin j türündeki arıza için açma süresi
V_f	Arıza gerilimi
V_{fij}	i rölesinin j türündeki arıza esnasında ölçtüğü gerilim değeri
V_n	Nominal gerilim değeri
V_{set}	Gerilim ayar değeri
Y	Toplam röle sayısı
Y_f	Arıza anında ölçülen admitans
Y_r	Normalize edilmiş admitans değeri
Y_{set}	Admitans ayar değeri

KISALTMA LİSTESİ

AAR	Aşırı Akım Rölesi
AC	Alternatif Akım (Alternating Current)
CS	Çalışma Süresi (Operating Time - OT)
CTI	Koordinasyon Zaman Aralığı (Coordination Time Interval)
DC	Doğru Akım (Direct Current)
DÜ	Dağıtık Üretim (Distributed Generation - DG)
EI	Aşırı Ters (Extremely Inverse)
GA	Genetik Algoritma (Genetic Algorithms)
IAC	Ters Alternatif Akım (Inverse Alternating Current)
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
LP	Doğrusal Programlama (Linear Programming)
MI	Makul Ters (Moderately Inverse)
MILP	Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama (Mixed Integer Linear Programming)
MINLP	Karışık Tamsayılı Doğrusal Olmayan Programlama (Mixed Integer Non-Linear Programming)
MŞ	Mikroşebeke (Microgrid - MG)
NI	Normal Ters (Normal Inverse)
OKKP	Optimal Koruma Koordinasyon Problemi
PSO	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
TDS	Zaman Çarpanı Ayarı (Time Dial Setting)
U.S.	Birleşik Devletler (United States)
VI	Çok Ters (Very Inverse)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Basit bir radyal hat ve koruma koordinasyon eğrileri	13
Şekil 2.2	TDS'nin IEC NI standart karakteristiği üzerindeki etkisi.....	14
Şekil 2.3	Eski IEC 60255-3:1989 standardı tarafından belirlenen ters akım-zaman karakteristikleri (TDS = 1)	18
Şekil 2.4	IEEE C37.112-1996 standardı tarafından belirlenen ters akım-zaman akım karakteristikleri (TDS = 1)	19
Şekil 2.5	Arıza akım değişiminin (2.3) ve (2.4) denklemlerinde $A = 14.5$, $B = 0.5$, $C = 6.5$ ve $TDS = 1$ olduğu düşünülerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi.....	21
Şekil 2.6	Gerilim değişiminin (2.5) denkleminde $A = 0,14$, $B = 0,02$, $k = 1,5$ ve $TDS = 0.1$ olduğu düşünülerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi.....	23
Şekil 2.7	Gerilim değişiminin denklem (2.6)'da $A = 80$, $B = 2$, $k = 1,71$ ve $TDS = 1$ olduğu düşünülerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi.....	24
Şekil 2.8	Gerilim değişiminin (2.8) ve (2.9) denklemlerinde $TDS = 0.5$ olduğu düşünülerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi.....	26
Şekil 2.9	Gerilim değişiminin (2.10) denkleminde $A = 80$, $B = 1,4$, $C = 1$ ve $k = 5$ olduğu düşünülerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi.....	26
Şekil 2.10	Gerilim değişiminin (2.11) denkleminde $A = 0,0047$, $B = 0,08$ ve $C = 0$ olduğu düşünülerek oluşturulan admitans temelli standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi.....	28
Şekil 2.11	Farklı sabitlerin standart karakteristikler üzerindeki etkisi (a) $B = 0,02$ iken farklı A değerlerinin IEC standart karakteriği üzerindeki etkisi, (b) $A = 0,14$ iken farklı B değerlerinin IEC standart karakteriği üzerindeki etkisi, (c) $A = 0,0515$ ve $B = 0,02$ iken farklı C değerlerinin IEEE standart karakteriği üzerindeki etkisi	30
Şekil 2.12	Parametre B 'deki değişimin (2.13) denkleminde $A = -1,05$ olduğu düşünülerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi.....	35
Şekil 2.13	TDS 'deki değişimin (2.14) denklemiyle oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi.....	36
Şekil 2.14	Parametre D 'deki değişimin (2.16) denkleminde $A = 0,14$, $B = 0,02$, $C = 0$ ve $TDS = 1$ kabul edilerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi.....	37

Şekil 2.15	Parametre D 'deki değişimin (2.16) denkleminde $A = 0,0515$, $B = 0,02$, $C = 0,114$ ve $TDS = 1$ kabul edilerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi.....	37
Şekil 3.1	$A = 1,1$, $B = 0,06$ ve $C = 0,1$ değerleri kullanılarak çizdirilen önerilen karakteristik için $TDS = 1$ değeri için çizdirilen IEC normal ters eğrisiyle kıyaslanması.....	47
Şekil 3.2	$A = 1,1$, $B = 0,13$ ve $C = 0,1$ değerleri kullanılarak çizdirilen önerilen karakteristik için $TDS = 1$ değeri için çizdirilen IEEE makul ters eğrisiyle kıyaslanması.....	47
Şekil 3.3	Basit bir radyal hat	48
Şekil 3.4	Geleneksel koruma için uygulanan koruma şeması	49
Şekil 3.5	Önerilen çift karakteristik koruma şeması	49
Şekil 3.6	Genetik Algoritma akış şeması	60
Şekil 3.7	Kromozom yapılarının gösterimi (a) Durum 1'de kullanılan kromozom yapısı, (b) Durum 2'de kullanılan kromozom yapısı, (c) Durum 3'te kullanılan kromozom yapısı	61
Şekil 4.1	Değerlendirmeye alınan IEEE 14 baralı test sistemi.....	64
Şekil 4.2	Rölelerin toplam açma sürelerindeki azalmalar	72

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 IEC 60255-3 standardında belirtilmiş olan katsayılar	17
Çizelge 2.2 IEEE C37.112-1996 standardında belirtilmiş olan katsayılar	19
Çizelge 2.3 Standart dışı karakteristiklerin özeti	43
Çizelge 4.1 Akım transformatörlerinin dönüştürme oranları.....	65
Çizelge 4.2 Benzetim çalışmalarında değerlendirilen senaryolar	66
Çizelge 4.3 Genetik Algortima kullanılarak hesaplanan röle ayar değerleri	67
Çizelge 4.4 Üç-faz-toprak arızasına karşı rölelerin çalışma süreleri	68
Çizelge 4.5 İki-faz-toprak arızasına karşı rölelerin çalışma süreleri	69
Çizelge 4.6 Tek-faz-toprak arızasına karşı rölelerin çalışma süreleri	70
Çizelge 4.7 Faz-faz arızasına karşı rölelerin çalışma süreleri.....	71
Çizelge 4.8 Tüm durumlar ve senaryolar için rölelerin toplam açma süreleri	72

DAĞITIK ÜRETİM İÇEREN BİR GÜÇ SİSTEMİ İÇİN GERİLİME BAĞLI YENİ BİR KORUMA KARAKTERİSTİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Hasan Can KILIÇKIRAN

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bedri KEKEZOĞLU

Güç sistemlerinde son yıllarda yaşanan değişimler koruma sistemlerinin yeniden gözden geçirilmesini gerekli kılmıştır. Güç sistemlerinde daha sık gözlenmeye başlayan dağıtık üretim birimi bağlantıları ve mikroşebeke işletimi gibi etkenler güç akışını etkileyerek koruma sistemleri açısından olumsuz etkiler yaratabilmektedirler. Teknolojik gelişmelerin koruma elemanları üzerindeki etkileri sayesinde bugün mevcut olan sayısal röleler ile standart koruma yöntemlerinden farklı yöntemler izlemek mümkündür. Bu gerçekler göz önüne alınarak bu çalışma güç sistemlerindeki geleneksel koruma yaklaşımına alternatif bir yöntem önermektedir. Bu amaçla, literatürde bu problemi ele alan çalışmalar derlenerek bir standart dışı karakteristiğin taşınması gereken özellikler belirlenmiş ve liste halinde sunulmuştur. Önerilen yöntem, ilk önce bir standart dışı karakteristik ortaya konularak ve daha sonra çift karakteristiğe dayalı bir koruma yaklaşımı sunularak oluşturulmuştur. Yöntemin etkinliği IEEE 14 baralı sistem üzerinde farklı dağıtık üretim senaryoları göz önüne alınarak denenmiş ve standart karakteristik kullanan geleneksel yöntemler ile karşılaştırmalı olarak sonuçlar sunulmuştur. Sonuçlar röle koordinasyon probleminin bir optimizasyon problemi olarak ifade edilmesi ve bu problemin genetik algoritma kullanılarak çözülmesi ile elde edilmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki, önerilen yöntem ile işletilen koruma sistemleri geleneksel yöntem ile işletilenlere göre daha hızlı çalışmakta ve dağıtık üretim birimlerinin sistemde mevcut olması durumunda dahi koruma koordinasyonunu sağlayarak güvenilir bir koruma yapabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Genetik algoritma, güç sistemlerinde koruma, optimal koruma koordinasyonu, sayısal röleler, standart dışı karakteristikler.

ABSTRACT

DEVISING A NEW PROTECTION CHARACTERISTIC DEPENDING ON VOLTAGE FOR POWER SYSTEMS INCLUDING DISTRIBUTED GENERATION

Hasan Can KILIÇKIRAN

Department of Electrical Engineering

PhD Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Bedri KEKEZOĞLU

Re-evaluation of protection systems is now a requisite for the reliable operation of power systems, regarding the structural changes over the last few years. Integration of distributed generations (DGs) connections and microgrid (MG) operation are among the most crucial factors that may pose a threat to protection systems. Fortunately, the emergence of digital relays enabled the opportunities for providing alternative approaches to standard ones as a remedy to mitigate the impact of recent changes. Taking the aforementioned facts into consideration, this study suggests an alternative method to the traditional protection approach in power systems. For this purpose, studies dealing with the protection issues induced by DG connections and MG operation in the literature were reviewed in detail and the indispensable features for constructing a non-standard characteristic were listed. A method was proposed so as to tackle with the protection problems, devising a non-standard characteristic and providing a dual characteristic protection approach. The method was tested on the IEEE 14 bus system regarding various DG scenarios and results were presented in comparison with the conventional protection approach using standard characteristics. Relay coordination problem was cast as an optimization problem and the problem was solved using genetic algorithms. The results showed that a more rapid protection may be achieved utilizing the proposed approach than by using the conventional protection strategy. Furthermore, it is also possible to provide reliable protection by ensuring protection coordination even when the power systems are exposed to the high penetration of DGs, using the proposed method.

Keywords: Digital relays, genetic algorithms, non-standard characteristics, optimal protection coordination, power system protection.

**YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Güç sistemlerinde gözlenen değişimler birçok kavramın yeniden gözden geçirilmesi gerekliliğini doğurmuştur. Bu çalışma bu kavramlar içinden korumayı ele almakta ve güç sistemlerindeki değişimlerden olumsuz şekilde etkilenmeden çalışabilecek bir koruma yaklaşımı oluşturmayı hedeflemektedir. Bu bağlamda, giriş kısmında öncelikle gerçekleştirilen çalışma için teşvik edici unsurlar açıklanmış, sonrasında konu ile ilgili literatür incelenmiş, tez çalışmasının literatürdeki yeri ve özgün değeri ortaya konulmuştur.

Güç sistemlerinin geçirmiş olduğu değişim son yıllarda hızlanmıştır. Geleneksel güç sistemlerinde, merkezi güç santralleri tarafından büyük miktarlarda güç üretildiğinden ve daha sonra iletim ve dağıtım sistemleri üzerinden tüketicilere ulaştırıldığından dolayı planlama ve işletme merkezi bir biçimde gerçekleştirilebilir. Ancak, fosil yakıtların tükeniyor olması, iklim değişikliği üzerine artan endişeler gibi çeşitli nedenlerle ilişkili olarak geleneksel güç sistemleri, küçük miktarlarda güç üretilmesine ve farklı noktalardan güç sistemine bağlanmasına olanak sağlayan dağıtık üretim (DÜ) birimlerinin yaygınlaşmasına maruz kalmıştır [1]. Artan sayıda DÜ bağlantısına ek olarak, yakın zamanda ortaya çıkan mikroşebeke (MŞ) kavramı, özellikle güç sistemlerinin ada MŞ işletilmesi arifesinde olduğu düşünüldüğünde, ek zorluklar getirmektedir [2].

DÜ bağlantısı ile ortaya çıkan zorlukların yanı sıra, güç sistemlerinin daha dinamik bir çalışma biçimine maruz kalması da ihtimaller dahilindedir. Devre kesicilerin sürekli olarak azalan anahtarlama maliyetleri, büyük olasılıkla yakın gelecekte güç sistemlerinin daha sık yeniden yapılandırılması için bir fırsat yaratacaktır [3]. Buna ek olarak, bireysel

tüketicileri elektrik piyasası operasyonlarına dahil etmenin artan önemi, güç kayıplarının en aza indirilmesi veya üretici-tüketici etkileşimi gibi amaçlarla güç sisteminin topolojisinde daha dinamik değişikliklerin hayata geçmesini gerektirecektir [4]. Yukarıda bahsedilen gelişmeler, geleceğin güç sisteminin mevcut şebeke yapısına kıyasla daha dinamik olacağına işaret etmektedir. Gelecekteki güç sistemlerinin öngörülen ana özellikleri aşağıda listelenmiştir:

- DÜ teknolojilerinin artan oranı,
- MŞ'nin yaygınlaşması ile ada modda çalışma gereksinimi,
- Operasyonel amaçlar için dinamik yeniden yapılandırma,
- Elektrik marketlerinin kayda değer rolü.

Sıralanan özellikler; güç sistemlerindeki koruma, kararlılık, güç akışı yönetimi gibi oturmuş kavramların mevcut algılarının bu özellikleri yansıtmama ve taşıma becerileri açısından uygunlukları konusunda endişeler doğurmakta ve bu kavramların gözden geçirilmesini zorunlu kılmaktadır. Değişen yapıları nedeniyle güç sistemlerinin karşılaştığı en önemli zorluklardan biri, yük ve arıza akımlarındaki değişim nedeniyle koruma konusudur. Hem hesaplanan yük hem de arıza akımlarına dayanan güç sistemi korumasındaki geleneksel yaklaşım, değişen topoloji altında artık geçerli değildir. Dağıtım sistemlerinin farklı türdeki koruyucu ekipmanlar içeren çok sayıda hatta sahip olduğu ve dağıtım sistemlerinin DÜ bağlantısı, MŞ operasyonu, gibi yapısal değişikliklere müsait olduğu düşünüldüğünde, geleneksel koruma sistemlerinin dağıtım sistemi uygulamalarında işlevsiz olacağı çıkarımı yapılabilir. Sonuç olarak, özellikle dağıtım sistemlerinde koruma sistemlerinin sorgulanması gerekliliği gündeme getirilmiştir [5]. Dağıtım sistemlerinde kullanılan en yaygın koruma elemanı aşırı akım rölesidir (AAR). Bir aşırı akım rölesi, içinden geçen akımı ölçen ve bir kesiciyi açmak için bir sinyal gönderilip gönderilmeyeceğini belirleyen bir cihazdır [6]. Mesafe röleleri, yönlü röleler, sabit zaman aşırı akım röleleri gibi çeşitli röle sınıfları bulunmaktadır. Bununla birlikte, ters zaman aşırı akım rölesi bazı özel yüklerin kısa bir süre için daha yüksek akımlar çekmesine izin verebilme yeteneğinden dolayı dağıtım sistemlerinde en çok tercih edilen koruma rölesi tipidir [7]. Adından da anlaşılacağı üzere, ters-zamanlı aşırı akım rölelerinin

Çalışma süreleri (S), rölenin gördüğü arıza akımı ile ters orantılı olarak belirlenirler. Hem sayısal hem de elektromekanik olmak üzere iki ayrı AAR eşidi vardır. Yirmi yıl öncesine kadar, elektromekanik AAR'leri, ucuz olmaları ve uzun yıllara dayanan uygulamaların bir sonucu olarak performanslarının iyi bilinmesi nedenleriyle piyasaya hkim olmuşlardır. Ancak, aşağıda listelenen nedenlerden dolayı, sayısal AAR'lerinin ilerleyen yıllarda elektromekanik aşırı akım röleleriyle değiştirilme olasılığı artık daha yüksektir [8], [9]:

- Ekonomik uygunluk: maliyetleri elektromekanik AAR'lerinininki kadar düşüktür.
- Artan güvenilirlik: kendi içlerindeki sorunları tespit ederek ve raporlayarak olası arızaların önüne geçmeyi başarırlar.
- Akıllı şebekelerin doğal parçası: sayısal yapıları akıllı şebeke kavramıyla uygun bir şekilde işletilmelerine olanak sağlar.
- Çok fonksiyonluluk: gerilim ve akım ölçümü gibi farklı görevleri de üstlenebilme kabiliyetine sahiptirler.

Dağıtım sistemlerinde koruma, güç sistemlerindeki son yapısal değişikliklere kadar standart karakteristikler kullanılarak sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmekteydi. Ancak, standart karakteristikler güç akışının tek yönlü olduğu geleneksel güç sistemlerini korumak için tasarlanmışlardır; bu nedenle D, Mş operasyonu, daha dinamik yeniden yapılandırma, vb. gibi yeni kavramları içeren güç sistemlerinde uygulamaları koruma açısından sorun teşkil edebilir. Standart karakteristiklerin sağlıklı çalışmasını tehlikeye sokan ana neden, D birimleri mevcut olduğunda gözlenen iki yönlü g akışıdır. Dahası, yeni nesil güç sistemlerinde Mş işletiminden dolayı hata karakteristiklerinde önemli değişiklikler gözlenebilir. Üstelik, ucuz anahtarlama maliyetinin bir sonucu olarak g sistemi operatörleri, güç sistemi kayıplarını azaltmak ya da elektrik piyasası taleplerini karşılamak için sistemin yeniden yapılandırılma sıklığını artırmak isteyebilirler. Bu nedenler araştırmacıları, standart olanların aksine bu çalışmanın geri kalanında standart dışı karakteristikler olarak adlandırılan diğer koruma şemaları üzerine çalışmaya itmiştir [10]. Sonuç olarak, standart dışı karakteristikler kullanılarak yukarıda bahsedilen değişimlere karşı koruma sistemlerinin sağlamlaştırılması için önemli miktarda çaba harcanmıştır. Dikkat çeken bazı girişimler, son dönemdeki teknolojik gelişmeler sayesinde

artık sayısal röleler tarafından gerçekleştirilme olasılıkları daha yüksek olan standart dışı karakteristikleri kullanarak yeni nesil dağıtım sistemlerinin özelliklerinden kaynaklanan teknik sorunların üstesinden gelmeyi amaçlamışlardır [11], [12], [13]. Sayısal rölelerin, sigortalar veya tekrar kapayıcılar gibi programlanamayan cihazlarla koordinasyonu sağlamak adına elektromekanik benzerleri ile aynı karakteristiği yansıtacak şekilde programlanması oldukça yaygındır [14]. Bununla birlikte, dağıtım sistemlerindeki gelişimlere bağlı olarak özellikle sayısal rölelerle tam olarak donatılmış olan dağıtım sistemlerinde bu durum yakın gelecekte değişebilir [15].

Koruma sistemleri, güç sisteminin arızalı kısmını tespit edip temizleyerek arızanın sistemin geri kalanına yayılmasını önlemekle sorumludurlar. Güç sistemi ekipmanlarının maruz kaldığı ısı zorlanma koruma ekipmanının tepki süresiyle beraber azaldığından, çalışma süresi koruma sistemlerinde hayati konulardan biridir [16]. Ayrıca koruma sistemlerinin güvenilirliği, koruma koordinasyonu olarak da adlandırılan birincil ve yedek koruyucu ekipmanlar arasındaki koordinasyon ile artırılır. Bununla birlikte, koordinasyon gereksinimleri geleneksel koruma yaklaşımının doğası gereği koruyucu ekipmanların birincil tepki süresini artırmaktadır [17]. Aynı zamanda, dağıtım sistemlerinde DÜ birimlerinin artan payı, koruma sistemlerinin koordineli bir şekilde çalışması adına bir tehlike oluşturmaktadır [18]. Genel olarak dağıtım sistemleri, ağ şebekeye yapısına sahip olsalar bile koruma kolaylığı için radyal olarak çalıştırılmaktadırlar [19]. Geleneksel koruma şeması, arıza akımı yönünün ve büyüklüğünün koruma sistemi tasarımından önce bilindiği varsayımı üzerine kurulmuştur [20]. Bununla birlikte, dağıtım sistemlerine DÜ bağlanması radyal hatlarda iki yönlü güç akışına neden olarak geleneksel koruma sistemlerinin inşa edildiği mantıkla çalışmaktadır. Diğer bir deyişle, DÜ birimleri koruma sistemlerine koruma koordinasyonu açısından bir tehdit oluşturmaktadır.

Yukarıda bahsedilenler göz önüne alındığında, DÜ bağlantısının koruma sistemleri üzerindeki etkisini sınırlandıracak ve yoğun DÜ altında bile hızlı bir şekilde açma yapabilen bir koruma sisteminin geliştirilmesi yönünde çalışmalara ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasında söz konusu açığı giderecek nitelikte bir koruma karakteristiği ve koruma şeması ortaya konulması hedeflenmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Optimal koruma koordinasyon problemi (OKKP) literatürde birçok farklı yaklaşım sergilenerek modellenmiştir. Koruma çalışmalarında kullanılan standart karakteristiğın doğrusal olmayan yapısı nedeniyle OKKP doğrusal olmayan optimizasyon problemi olarak formülize edilebilir. Bu yaklaşım [21]'de kullanılmış olup OKKP doğrusal olmayan bir optimizasyon problemi olarak ifade edilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada yönlü aşırı akım röleleri kullanılmış olup bu tip rölelerin Zaman Çarpanı Ayarlarının (Time Dial Setting (*TDS*)) sürekli ve I_p ayarlarının ayrıık şekilde düzenlenebilmesi, problemin karışık tam sayılı doğrusal olmayan programlama (Mixed Integer Non-linear Programming - MINLP) kullanılarak da modellenenebilmesini sağladığı belirtilmiştir. Yine de yaklaşım I_p ayarını sürekli kabul edip en yakın ayrıık değere yuvarlamak şartıyla doğrusal olmayan bir şekilde uygulanmıştır. OKKP doğrusal olmayan bir optimizasyon problemi olarak [22]'de modellenmiştir. Bu çalışmada *TDS* sürekli bir değişken olarak düşünülmüşken I_p ise belirli ayrıık değerler barındıran bir küme içerisindeinden seçilmiştir. OKKP için MINLP modelleri [22], [23] ve [24]'te geliştirilmiştir. Ne yazık ki, doğrusal olmayan programlama yaklaşımlarının her zaman global optimum sonuçları vermesi garanti edilememektedir. Bu nedenle, OKKP [25]'te doğrusal bir karmaşık tam sayılı programlama modeli (Mixed Integer Linear Programming - MILP) olarak ifade edilerek CPLEX ve GUROBI çözücülerinin global optimal sonuçları kesin bir şekilde verebiliyor olmasının üstünlüğünden yararlanılmıştır. Doğrusal olmayan yaklaşımların hesaplama yükünü hafifletmek ve verimliliklerini artırmak için [26]'da kuadratik sınırlara sahip kuadratik programlama (Quadratically Constrained Quadratic Programming - QCQP) tekniğı kullanılarak OKKP modellenmiştir. Doğrusal olmayan programlama yaklaşımı problem çözümünde daha kesin sonuçlar verebilse de, genellikle karmaşık hesaplamalara yol açar. Buna alternatif olarak iki tane değişkenden bir tanesinin önceden bilindiğı yöntemler geliştirilmiştir. Bu sayede OKKP için doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Bu yaklaşımın gözlendiğı çalışmalar olan [27], [28] ve [29]'da I_p değerinin önceden hesaplandığı kabul edilmiş ve OKKP doğrusal programlama olarak modellenmiştir. Doğrusal yöntemler kullanılarak problemin karmaşıklık seviyesi azaltılrsa

bile sonuçların kalitesinden de feregat edilmiştir. Bu yöntemlere ek olarak, şebeke topolojisindeki değişimleri dikkate alabilmek için [30]'da bir aralık doğrusal programlama (interval linear programming) yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen aralık doğrusal programlama yönteminin ana amacı farklı şebeke topolojileri göz önüne alındığında artan koruma koordinasyon kısıtlarını azaltmaktır. Fakat bu yöntem uygulanırken sadece tek hattın olmadığı durumlar ele alınmıştır ve bu yaklaşım geleneksel şebekelerde yapılan koruma çalışmalarında genellikle uygulanan yaklaşım ile benzerdir. Günümüzdeki şebekelerin değişmekte olan yapıları nedeniyle sınırsız sayıda (veya değerlendirmeye alınamayacak kadar büyük bir sayıda) senaryonun ortaya çıkması ile bu yöntemin kullanışlılığı tehlikeye girecektir.

OKKP'nin çözümü için literatürde farklı yöntemler kullanılmıştır. Bunların başında doğrusal modellerin çözümü için kullanılan Yüzey Yöntemi (Simplex Method) gelmektedir. Bu yöntem [28] ve [31]'de kullanılarak OKKP çözülmüştür. Bu yöntemde I_p , kullanıcının daha önceki uygulamalarda edindiği bilgilere dayalı olarak seçildiğinden en uygun açma sürelerinin elde edilmesi gibi bir sonuç alınması beklenmemektedir. I_p değerinin bilindiği varsayılarak çözülen problem, yalnızca seçilen I_p değerlerine göre TDS değerlerinin en uygun olanlarını verebilmektedir. Doğrusal olmayan OKKP modelinin çözümü için ise [21]'de iteratif bir yöntem olan Gauss-Seidel yöntemi kullanılmıştır. Buna alternatif olarak ise Ardışık Kuadratik Programlama (Sequential Quadratic Programming - SQP) tekniği [10]'da ve [32]'de kullanılarak OKKP çözülmüştür. Bahsedilen yöntemlere ek olarak, arama temelli algoritmalar da OKKP çözümü için sıkça kullanılan yöntemler arasındadırlar. En bilindik arama temelli yöntemlerden biri olan Genetik Algoritma (GA) yöntemi [33], [34], [35] ve [36]'da OKKP'e uygulanmıştır. Ayrıca, Sürekli Genetik Algoritma Yöntemi (Continuous Genetic Algorithms - CGA) de [37]'de OKKP'ye uygulanmıştır. GA yöntemi doğrusal olmayan programlama ile birleştirilerek ortaya çıkartılan melez genetik algoritma doğrusal olmayan programlama (Hybrid Genetic Algorithms Non-linear Programming (Hybrid GA-NLP)) yöntemi kullanılarak [38]'de OKKP çözülmüştür. GA ile doğrusal programlama yöntemlerinin karışımından oluşan melez genetik algoritma doğrusal programlama (Hybrid Genetic

Algorithms Linear Programming - Hybrid GA-LP) yöntemi ise [22]'de oluşturulmuştur. Bir başka arama temelli algoritma olan Parçacık Sürüsü Optimizasyon (Particle Swarm Optimization - PSO) yöntemi [39], [40] ve [41]'de kullanılmıştır. Parçacık Sürüsü Optimizasyon yönteminin farklı bir çeşidi olan Laplace Çaprazlama Parçacık Sürüsü Optimizasyon (Laplace Crossover Particle Swarm Optimization - LXPSO) yöntemi ise [42]'de sunulmuştur. Parçacık Sürüsü Optimizasyon yöntemi daha sonraki çalışmalarda Nelder-Mead Yüzey Arama yöntemi (Hybrid Nelder-Mead Simplex Search and Particle Swarm Optimization - Hybrid NM-PSO) ile birleştirilerek kullanılmıştır [43], [44]. Benzer bir algoritma olan evrimsel algoritma ise [45]'te kullanılmıştır. Bunlar haricinde, uygulanan diğer algoritmalar ise şu şekildedir: Öğretme Öğrenme Temelli Algoritma (Teaching Learning Based Algorithm - TLBO) [46]'da, Farksal Evrim (Differential Evolution - DE) [47]'de, Düzenlenmiş Evrimsel Algoritma (Modified Evolutionary Programming (MEP)) [48]'de, Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) yöntemi [49]'da, Melez Karışık Kurbağa Sıçraması ve Doğrusal Programlama (Hybrid Shuffled Frog Leaping Algorithm and Linear Programming (SFL-LP) algoritması [50]'de, Arama Optimizasyon Tekniği (Seeker Optimization Technique - SOT) [23]'te, Harmoni Arama Algoritması (Harmoni Search Algorithm - HSA) [51]'de, Kaotik Farksal Evrim Algoritması (Chaotic Differential Evolution Algorithm - CDEA) [52]'de, Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization - ACO) [53]'te, Biocoğrafya Temelli Optimizasyon Algoritması (Biogeography-based Optimization Algorithms - BBO) [54]'te uygulanmıştır. Bu algoritmalar kullanılarak global en uygun çözümü elde etme şansı bulursa da yüksek miktarda işlem gücü gereklidir ve yerel en uygun noktalara yakınsama riski bulunmaktadır.

Dağıtık üretim birimlerinin koruma sistemleri üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak ve daha güvenilir bir koruma sistemi sağlayabilmek adına, literatürde standart yaklaşımlardan farklı olarak standart dışı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar arasında elektriksel büyüklükleri kullanarak farklı koruma karakteristikleri oluşturmayı amaçlayan çalışmalar mevcuttur. Standartlardaki yaklaşımlar haricinde bir yaklaşım [55], [56] ve [57]'de akım büyüklüğünü yeniden yorumlayarak ortaya konulmuştur. Benzer

şekilde yönlü aşırı akım rölelerinin gerilim ölçme kabiliyetlerine dayalı olarak gerilim ölçümü [10], [58], [59], [60], [61], [62], [63], [64] ve [65]'te direkt olarak kullanılmış ve standart dışı bir yaklaşım oluşturulmuşken, [66], [67], [68], [69] ve [70]'te dolaylı olarak kullanılarak admitansa dayalı bir standart dışı karakteristik önerilmiştir. Bu çalışmalar haricinde, bütünüyle yeni bir karakteristik inşa etmek yerine var olan standart karakteristikler üzerinde oynamalar yaparak farklı koruma karakteristikleri elde etmeyi amaçlayan çalışmalar da literatürde bulunmaktadır. Bu çalışmalardan standart karakteristiklerdekinden farklı sabit değerleri kullanarak [71], [72], [73], [74], [75], [76], [77], [78], [79], [80], [81], [82], [83], [84], [85], [86], [87], [88], [89], [90], [91], [92], [93] ve [94]'te standart dışı bir yaklaşım oluşturulmuştur. Bu çalışmalarda standart karakteristiklerde bulunan A ve B (ve bazen C) olarak isimlendirilen ve karakteristiğin şeklini belirlemekte kullanılan sabitler tıpkı TDS ve I_p değişkenleri gibi değişken olarak düşünülmüştür. Standart dışı yaklaşımların elde edilebildiği bir diğer yöntem ise var olan eğrilerin kendi içlerinde veya kesin zamanlı eğriler ile birleştirilmesidir. İki standart eğrinin birleşiminden oluşan bir eğrinin kullanımı [94]'te ele alınmıştır. Bunun haricinde standart bir eğri ile kesin zamanlı eğrilerin birleşiminden oluşan eğriler ile ilgili araştırmalar da [95], [96] ve [97]'de mevcuttur. Bunlara ek olarak [98]'de iki tane standart karakteristiğin birleşiminde oluşan bir karakteristik, dağıtık üretim birimlerinin kararlı bir şekilde çalışmasını sağlamak için kullanılmıştır. Yönlü aşırı akım rölelerinin ikili karakteristik (ileri ve geri yönde olmak üzere iki tane standart karakteristik) ile çalıştırıldığı bir çalışma ise [99]'da sunulmuştur. Standart dışı karakteristikleri farklı matematiksel ifade kullanarak oluşturmak adına literatürde muhtelif çalışmalar mevcuttur. Standart yaklaşımlara alternatif olarak logaritma fonksiyonu [100]'de kullanılarak bir eğri elde edilmişken [101]'de logaritma fonksiyonunun içine TDS değeri de alınarak bir önceki çalışmadan farklı bir yaklaşım sergilenmiştir. Standart karakteristikteki sabitlerin açma zamanına bağlı olarak değiştiği varsayılarak [102]'de yeni bir standart dışı karakteristik tanımlanmıştır. Standart karakteristiğin başına ek olarak ayrı bir sabit [103]'te eklenerek bir karakteristik önerilmiştir. Standart eğrilerin ve standartlardakilerden başka eğrilerin benzetimine imkan veren bir yazılım ise [104]'te oluşturulmuştur. Koruma

literatüründe, standart dışı karakteristik oluşturmayı hedefleyen fakat herhangi bir sınıflandırmaya tabi tutulamayacak biçimde kendine has yöntemler izleyen araştırmalar da bulunmaktadır. Rölenin bağlı bulunduğu iletken sıcaklığındaki değişime bağlı olarak izin verilen maksimum akıma göre değişen bir yaklaşım [105]'te ortaya atılmıştır. Rölelerin birincil ve yedek olmasına bağlı olarak açma akımlarını ve ilgili süreleri bir tablo halinde sıralayarak açma karakteristiğinin parçalı doğrusal eğriler olacak şekilde oluşturulduğu bir çalışma [106]'da sunulmuştur. Bunlara ek olarak, başka bir çalışma ise [107]'de ortaya konulmuş ve sürekli bir eğri yerine eğrinin belirli akım aralıkları için dilimlere ayrılması ve her bir dilim için en uygun açma zamanının tayin edilmesi yöntemiyle basamaklı bir eğri oluşturulması önerilmiştir. Standart dışı yaklaşımlar Bölüm 2.2'de sınıflandırılmış ve detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Şu ana kadar yapılmış çalışmalar değerlendirildiğinde, geleneksel koruma yaklaşımının birincil çalışma süresinin bozulmasına ve çok sayıda DÜ bağlantısı altında koordinasyon kaybı riskine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, güç sistemlerinin işletiminin yakın gelecekte gerek enerji piyasası ihtiyaçları, gerek MŞ uygulamalarına bağlı olarak köklü bir şekilde değişime açık olması da koruma sistemlerindeki mevcut anlayışın sorgulanması gerekliliğini doğurmaktadır. Bununla birlikte, geleneksel koruma felsefesindeki yeni nesil güç sistemlerinde yaşanabilecek zorluklar standart dışı karakteristikler ve geleneksel olmayan bir koruma şeması kullanarak aşılabilir. Standart olmayan yaklaşımların uygulanmasına izin veren mikroişlemci tabanlı AAR'ler, dağıtım şebekelerindeki DÜ birimlerinin mevcudiyetine bağlı olarak koordinasyon problemlerini çözmek için ya da birincil çalışma süresi üzerindeki koordinasyon etkisini ortadan kaldırmak için uygun araçlar olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, sadece ölçülen akıma bağlı olarak değil, aynı zamanda ölçülen gerilime bağlı olarak çalışan röle karakteristiklerinin kullanılması, gerilim trafoları ile donatılmış yönlü AAR'ler ile gerçekleştirilebilir. Bu mevcut durum göz önüne alınarak bu çalışma, koruma koordinasyonuna çözüm olabilecek bir koruma yaklaşımını ortaya koymayı hedeflemektedir. Önerilen bu yaklaşım, akım ve gerilim

ölçümünü aynı anda değerlendirip rölelerin çalışma sürelerinin şebeke topolojisi kaynaklı olası akım değişimlerinden etkilenmemelerini amaçlamaktadır. Böylece, sadece akım ölçümüne dayalı olarak rölelerin çalışmasına imkan veren standart karakteristiklerin bir olumsuz yönünün ortadan kaldırılması hedeflenmektedir. Çalışmanın bir başka amacı ise, güç sistemi korumasının güvenilirlik seviyesini arttırmak için izlenen koruma koordinasyonu yaklaşımı gereği rölelerin hem birincil hem de yedek koruma görevlerinin bulunmasından ve bu iki görevin geleneksel koruma sistemlerinde tek bir karakteristik kullanılarak yapılmasından kaynaklı olarak birincil çalışma sürelerindeki artışı ortadan kaldırmaktır. Bu nedenle, sayısal rölelerin sunmuş olduğu programlanabilme imkanını değerlendirerek rölelerin birincil ve yedek koruma görevleri için iki ayrı karakteristik kullanıldığı bir koruma şemasını oluşturmak amaçlanmaktadır. Böylelikle, koruma sistemlerinin arızaları daha hızlı temizlemesi, bir başka deyişle güç sistemi elemanlarının maruz kaldıkları ısı ve mekanik zorlanma seviyelerinin düşürülmesini de hedeflemektedir.

1.3 Orijinal Katkı

Yukarıda bahsedilen çalışmalar, dönüşüm geçiren dağıtım sistemlerinde koruma koordinasyonu konusuna artan bir aciliyet ve ilgi olduğunu kanıtlamaktadır. Bu çalışmaların odak noktası, koruma sistemlerinin mevcut durumunu belirlemek ve çözüm önerileri sunmaktır. Literatürdeki çok sayıda çalışma, özellikle DÜ birimlerinin güç sistemine bağlantısında ortaya çıkan sorunlara çözüm oluşturabilmek adına standart dışı karakteristikler kullanılarak koruma koordinasyonu gerçekleştirilmesi fikrine odaklanmıştır. Genel olarak bu çalışmalar, DÜ bağlantıları ve koruma şemaları arasında bir ilişki olduğunu saptamışlardır. Ancak literatürde, standart dışı bir koruma stratejisi üzerinde bir görüş birliği sağlanamadığı gibi, şu ana kadar standart dışı karakteristik tasarlanırken dikkat edilmesi gereken temel unsurları belirten bir çalışma da bulunmamaktadır. Bu bilgi boşluğunu doldurmayı hedefleyen bu çalışma aşağıdaki katkıları içermektedir:

- Sayısal aşırı akım rölelerindeki ilerlemeye bağlı olarak standart dışı karakteristiklerin uygulanabilmesi ile ortaya çıkan fırsatları araştırmayı amaçlayan son çalışmaların özetlenmesi.

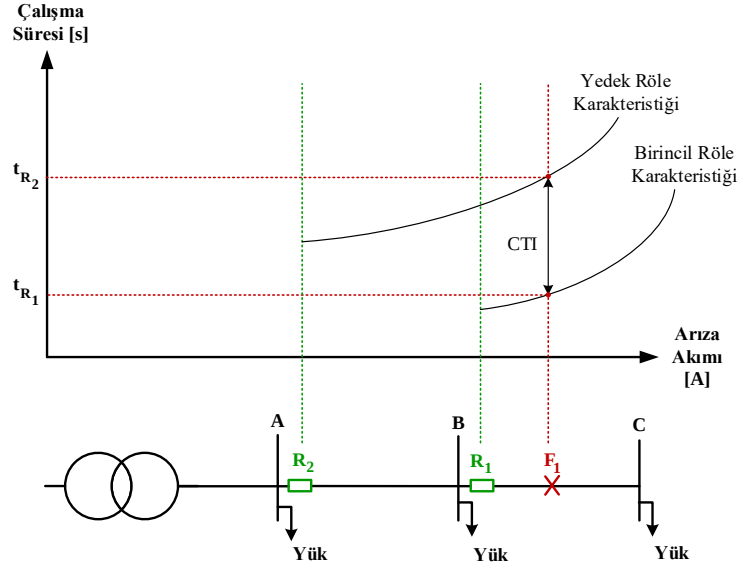
- Literatürdeki boşlukları tanımlayacak ve gelecekteki araştırmalara yön verecek şekilde araştırılması gereken noktaların belirlenmesi.
- Dayanıkl bir standart dışı karakteristik oluşturabilmek için gerekli olan temel özelliklerin bir araya getirilmesi.
- DÜ bağlantısının etkisini azaltmak için arıza sırasında hem akım hem de gerilim ölçümlerine bağı olan yeni bir standart dışı karakteristiğın oluşturulması.
- Röleler için koruma koordinasyonundan bağımsız bir birincil çalışma süresini elde etmeyi amaçlayan çift karakteristiğe dayalı yeni bir koruma şemasının oluşturulması.
- Önerilen koruma karakteristiğı ile IEC normal standart karakteristiğı arasında DÜ birimlerinin konumlarını ve büyüklüklerini dikkate alan karşılaştırmalı sonuçların sağlanması ve oluşturulan koruma şemasının etkinliğininin sınanması.

GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ MEVCUT KORUMA YAKLAŞIMLARI

Bu bölümde, güç sistemlerindeki uygulanmakta olan koruma yaklaşımları standart ve standart dışı yaklaşımlar olmak üzere iki gruba ayrılarak detaylandırılmıştır. Buna ek olarak, güç sistemlerinde son yıllarda yaşanan değişimler ve bu değişimlerin koruma sistemleri üzerindeki etkisi açıklanmıştır. Ayrıca bu bölüm, standart dışı karakteristikler ile ilgili yapılan çalışmaların sınıflandırılmasını da içermektedir.

2.1 Dağıtım Sistemlerinde Geleneksel Güç Sistemi Koruması ve Yakın Tarihteki Değişimler

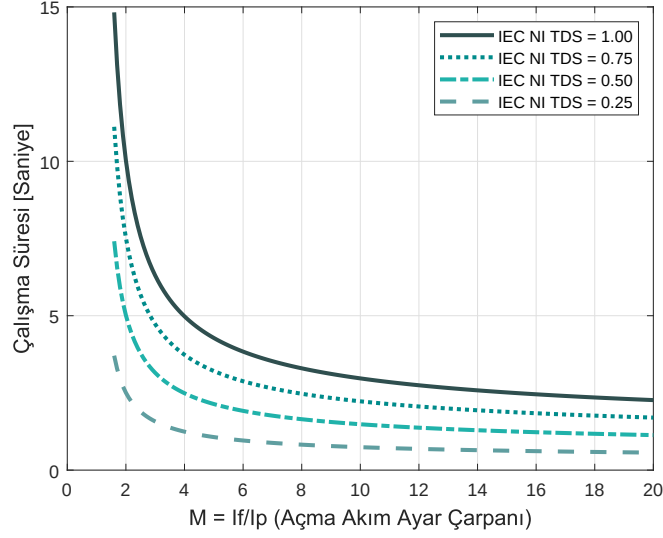
Güç sistemi koruması, bir güç sistemindeki normal olmayan durumların tespiti ve bu durumların sistemin geri kalanı için kararsızlık, ekipman tahribatı gibi tehlikeler yaratmaması adına mümkün olduğu kadar kısa bir süre içerisinde temizlenmesi olarak tanımlanır. Bu nedenle, koruma elemanı güç sistemi parametrelerini ölçebilmeli ve anormal koşulları ayırt edebilmelidir. Bu özellik koruma literatüründe "hassasiyet" olarak tanımlanır [16]. Ek olarak, koruma sistemi sistemin mümkün olan en az parçasını enerjisiz bırakacak şekilde arızaları temizlemek için tasarlanır, bu özellik ise "seçicilik" olarak isimlendirilir [108]. Örneğin, Şekil 2.1'de görülen F1 arızası ya röle R1 ya da röle R2 tarafından temizlenebilir. Ancak, koruma sistemi bara B'deki yükü beslemeye devam edebilmek amacıyla bu arızayı röle R1 ile temizlemelidir. Genel koruma terminolojisinde, "birincil" terimi bir arızayı temizlemek için çalışmak zorunda olan ilk koruma elemanına atıf yaparken "yedek" terimi aynı arıza için görev yapması gereken ikinci koruma elemanını temsil eder [109]. Ayrıca, her bir birincil koruma elemanına bir yedek koruma elemanı atanarak koruma sisteminin güvenilirlik seviyesi artırılabilir [110]. Bu şekilde,



Şekil 2.1 Basit bir radyal hat ve koruma koordinasyon eğrileri

koruma sistemi birincil koruma elemanının çalışmasını engelleyecek bir durum olsa dahi çalışmaya devam edebilir. Koruma sisteminin bir uyum içerisinde işletilmesi de ayrıca önemlidir. Bu nedenle, yedek koruma rölesi kendi ikinci bölgesindeki bir arızaya karşı faaliyete geçmeden önce belirli bir zaman beklemek zorundadır. Bu bekleme süresi Koordinasyon Zaman Aralığı (Coordination Time Interval - (CTI)) olarak adlandırılır. Şu ana kadar, CTI değeri literatürde genellikle 0,2 - 0,5 saniye arasında alınmıştır [53].

Dağıtım şebekelerindeki koruma sistemleri tipik olarak aşırı akım röleleri, tekrar kapayıcılar, sigortalar ve ayırıcılar gibi çeşitli cihazların bir arada görüldüğü bir yapıya sahiptirler [111]. Ters akım-zaman karakteristiğine sahip olması aşırı akım rölelerini dağıtım sistemlerinde en yaygın kullanılan koruma elemanlarından bir tanesi yaparken, diğer ekipmanlarla da koordineli olmasına olanak tanır [112]. Bu durumu görselleştirmek adına iki tane aşırı akım rölesi içeren basit bir hat Şekil 2.1’de verilmiştir. Bu durumda, rölelerin ters akım-zaman eğrileri rölelerin gördükleri arızalar için koordine edilirler. Geleneksel koruma felsefesinde, koordinasyon Bölüm 2.2’de açıklanmış olan standart karakteristiklerdeki *TDS* ve açma akım ayarı (pickup current setting - I_p) düzenlenerek gerçekleştirilir [113]. Farklı *TDS* değerlerine bağlı olarak karakteristik eğride meydana gelen değişimler Şekil 2.2’de görülebilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, düşük *TDS* değerlerinin düşük çalışma süreleri sağladığı, ancak aynı zamanda eğrinin düşük arıza akımlarına karşı esnekliğini yitirmeye başladığıdır. Son yıllarda, koruma cihazlarının



Şekil 2.2 TDS'nin IEC NI standart karakteristiği üzerindeki etkisi

koordinasyonunu sağlamak için analitik yöntemler veya graf teorisi gibi yöntemler yerine optimizasyon tekniklerinin kullanımı için gözle görülür bir çaba sarf edilmiştir [114]. Başka bir deyişle, optimal röle koordinasyon problemi, TDS ve I_p kendi aralıklarında kısıtlara sahip optimizasyon değişkenleri olmak üzere ve röle çiftleri arasında istenen CTI'yı sağlamak koşuluyla beraber bir sınırlı optimizasyon problemi olacak şekilde ifade edilmiştir [115].

Geleneksel koruma yaklaşımı tamamıyla önceden bilinen akım yönü ve büyüklüğü üzerine kurulmuştur [116]. DÜ birimlerinin güç sistemleri üzerindeki etkileri düşünüldüğünde, DÜ bağlantısından dolayı bara kısa devre gücünün arttığı; bu nedenle akım yönü ve büyüklüğünde değişimler meydana geldiği görülmektedir [117]. Koordinasyon çalışmalarında kesin arıza akım büyüklüğünün bir önkoşul olması gerçeğinden hareketle, DÜ bağlanması durumlarında dağıtım sistemlerinin korunması yeniden gözden geçirilmelidir. Buna ek olarak, koruma elemanlarının koordinasyonu dağıtım sistemlerinin güvenilirliklerini artırmak için gücün tek yönde aktığı radyal yapıda çalıştırıldığı kabul edilerek yapılır [118]. Koruma açısından DÜ bağlantısının bir diğer önemli etkileri ise, perdeleme (blinding) [119], yanlış açma (false tripping, nuisance (sympathetic) tripping [120], tekrar kapayıcı arızaları ve istenmeyen adalama olarak sıralanabilir [121]. Tekrar Şekil 2.1'deki aynı basit radyal hat düşünülür ve B barasına bir DÜ birimi bağlantısı kabul edilirse, bu durumda, F1 arızası esnasında R1 rölesi tarafından

görülen arıza akımı artarken, R2 rölesi tarafından görülen akım arızanın tipine bağlı olarak değişmez veya artar. Bu ise röle çiftlerinin arasındaki koordinasyonun zedelendiğine işaret eder [122]. Üstelik, bir DÜ birimin arıza akımına yaptığı katkı DÜ tipine fazlasıyla bağlıdır. Senkron temelli DÜ birimleri ve dönüştürücü temelli DÜ birimleri olmak üzere sıkça kullanılan iki ayrı DÜ birimi çeşidi bulunmaktadır. Bu DÜ birimlerinin arıza akımlarına yaptıkları katkı seviyeleri sırasıyla 6-7 p.u. [123] ve 1,5 - 2 p.u. [124] civarındadır. Bunlara ek olarak, koruma üzerinde tehlikelere sebebiyet veren daha karmaşık güç akış durumlarının ağ şebeke çalışma modunda gözlenmeleri daha büyük bir olasılık değerine sahiptir.

Koruma açısından bir başka sorun ise MŞ'lerin dağıtım sistemlerinde uygulanmasında gündeme gelir [125]. Genellikle, MŞ'lerde birleşik ısı ve güç, fotovoltaik, rüzgar ve enerji depolama birimleri gibi çeşitli DÜ tipleri yerel tüketicileri beslemek için bulunmaktadır. Üstelik, MŞ'ler hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız halde çalıştırılabilirler [126]. İkinci durumda sınırlı uygun kaynak sayısına bağlı olarak, özellikle DÜ birimlerinin dönüştürücüler üzerinden bağlı oldukları durumlarda, şebekeye bağlı çalışma durumuna kıyasla arıza akımlarında bir azalma gözlenir [127]. Sonuç olarak, koruma elemanı bu arıza akım seviyelerini ölçme ve tepki verebilme kapasitesine sahip olmalıdır. Buna ek olarak, şebekeye bağlı haldeyken şebeke tarafında bir arıza olması durumunda, MŞ sağlıklı adanın içinde bulunan DÜ birimlerini kaybetmeden ada çalışma haline geçebilmelidir. Benzer şekilde, koruma sistemlerinden MŞ içindeki bir arıza durumunda seçici bir tutumla sadece sorunlu bölgeyi devre dışı bırakması beklenir [128]. Güç sistemlerinde bahsedilen bu işletme değişimleri göz önüne alındığında, geleneksel koruma felsefesinin yeni güç sistemi karakteristiğiyle uyumlu bir hale getirilmesi açısından gözden geçirilmesi gereklidir.

2.2 Koruma Karakteristikleri

Bu bölümde koruma çalışmalarında kullanılan röle karakteristikleri özetlenmiştir. Bu karakteristikler, koruma alanında uzun yıllardır kabul gören standart karakteristikler ve son zamanlarda standart karakteristiklere bir alternatif olarak ortaya çıkan standart dışı

karakteristikler olarak iki ana alt başlık altında toplanarak detaylı şekilde analiz edilmişlerdir.

2.2.1 Standart Karakteristikler

Bu alt bölüm koruma çalışmalarında genel olarak kabul görmüş ve kullanılmış olan standart röle karakteristikleri, yani IEC standart karakteristikleri ve IEEE standart karakteristikleri, ile ilgili temel bilgiler vermeyi amaçlamaktadır.

Elektromekanik rölelerin geçmişi yaklaşık olarak güç sistemlerinin ortaya çıkış tarihine kadar uzansa bile, bu röleler halen güç sistemlerinin aktif olarak kullanılan elemanları olarak görev yapmaktadırlar. 1960'lı yıllarda mikroişlemci temelli rölelerin ortaya çıkması ise röle karakteristiklerini matematiksel formüller kullanarak ifade etmeyi amaçlayan çalışma sayısının artmasındaki temel motivasyon olmuştur. Bu çalışmaların amacı, koruma alanının yeni oyuncusunun elektromekanik ataları, tekrar kapayıcılar ve koruma sistemi içindeki sigortalar ile koordine edilmesini sağlayacak bir röle karakteristiğinin isabetli bir şekilde ifade edilmesiyle koruma sisteminin doğru şekilde işletilmesini sağlamaktır. Elektromekanik rölelerin çalışma karakteristiklerini yansıtmayı amaçlayan standartlar öncesi çalışmalar, ağırlıklı olarak üreticiden elde edilen verilere veya laboratuvar deneylerine dayanmaktadırlar. Bu veriler, daha sonra denklemlerin veya grafiklerin yardımı ile uygun koordinasyonu sağlamak için analitik bir şekilde işlenmişlerdir. Bu ise evrensel bir yöntemin geliştirilmesini engellemiş ve belirli koruma cihazlarına dayanan özelleştirilmiş karakteristiklerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu nedenle, IEC tarafından 1989 yılında yayınlanan [129] ve IEEE tarafından 1996 yılında yayınlanan [130] standartlar mikroişlemci temelli röleler kullanılarak elektromekanik rölelerin karakteristiklerinin yansıtılması adına evrensel bir yaklaşım oluşturmak amacıyla ortaya konulmuşlardır.

2.2.1.1 IEC Standart Karakteristiği

Eski IEC 60255-3:1989 standardında [129] belirtildiği üzere, çalışma süresi ve bu süreyi etkileyen bir karakteristik büyüklüğü arasındaki ilişki bir karakteristik eğri kullanılarak

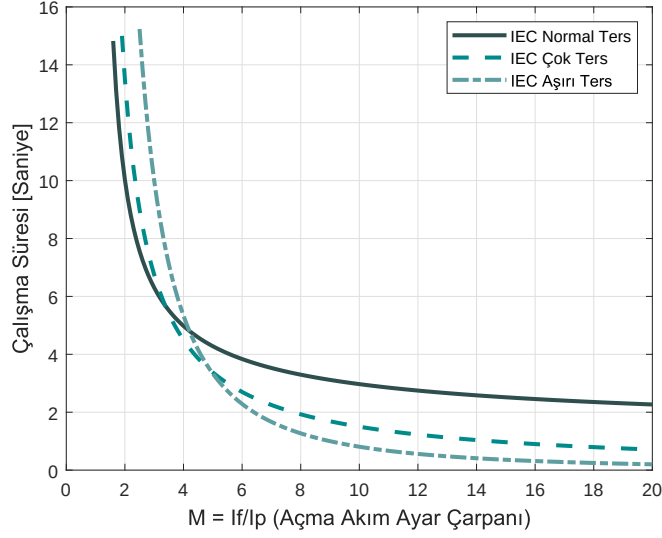
Çizelge 2.1 IEC 60255-3 standardında belirtilmiş olan katsayılar

	Normal Ters (NI)	Çok Ters (VI)	Aşırı Ters (EI)
A	0.14	13.5	80
B	0.02	1	2

gösterilebilir. Bu karakteristiğin şekline ya bir eşitlik ya da bir grafiksel yöntem kullanılarak karar verilebilir. Eski IEC 60255-3:1989 standardında kullanılmak üzere önerilen matematiksel ifade (2.1)'de verilmiştir. Yaygın uygulamanın sadece giriş akım değeri kullanılması yönünde olmasına rağmen, IEC standardında giriş değeri olarak giriş akım değerinin, giriş gerilim değerinin, AC sinyalin içindeki DC geçici bileşenin denklem (2.1)'de giriş değeri olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Eski IEC 60255-3:1989 standardının yerini IEC 60255-151:2009 standardı almıştır [131]. Bu standartta, IEEE C37.112-1996 standardında kullanılan bağıntı kullanılmıştır. Bu yeni standartta altı farklı eğri A, B, C, D, E ve F isimleriyle tanımlanmış olup bu eğrilerden ilk üçü eski IEC 60255-3:1989 standardındaki eğrilerle aynı sabitleri kullanacak şekilde düzenlenmişken, geri kalan üçü ise IEEE C37.112-1996 standardındaki eğrilerle aynı sabitleri kullanacak şekilde oluşturulmuştur. Bu tez çalışmasının geri kalan kısmında IEC 60255-3:1989 standardı, IEC standardı olarak anılmıştır.

$$t = \frac{A}{\left(\frac{I_f}{I_p}\right)^B - 1} \cdot TDS \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'de, A ve B sabitleri Çizelge 2.1'de verilen değerler arasından bir normal ters (normal inverse - NI) karakteristik, bir çok ters (very inverse - VI) karakteristik veya bir aşırı ters (extremely inverse - EI) karakteristik elde etmek için seçilirler. Açma akım ayarı (I_p), bir tasarım parametresi iken, I_f ise arıza anında röle tarafından ölçülen arıza akımını temsil eder. Farklı arıza akımı büyüklükleri için IEC standart karakteristiklerinin grafiksel gösterimleri Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3 Eski IEC 60255-3:1989 standardı tarafından belirlenen ters akım-zaman karakteristikleri (TDS = 1)

2.2.1.2 IEEE Standart Karakteristiği

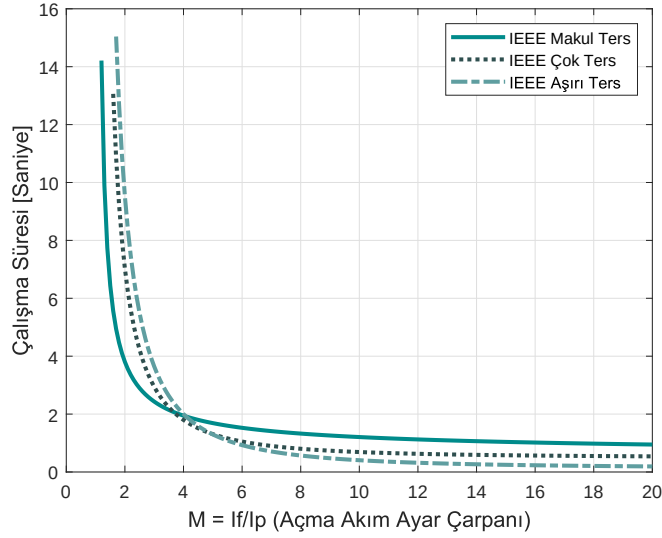
Elektromekanik rölelerin çıkış karakteristiklerini isabetli bir biçimde temsil etmeyi hedefleyen ve geniş çapta uygulama alanı bulan bir diğer standart karakteristik IEEE C37.112-1996 standardında sunulmuştur [130]. Önerilen karakteristik (2.2) eşitliği ile verilmiştir. Bu karakteristiğin IEC karakteristiğinden ayrıldığı nokta fazladan bir " $C \times TDS$ " ifadesinin eklenmesidir.

$$t = \left[\frac{A}{\left(\frac{I_f}{I_p} \right)^B - 1} + C \right] \cdot TDS \quad (2.2)$$

Fazladan parametre eklenmesinin sebebi, giriş akımı ve elektromekanik rölenin nüvesindeki akı arasındaki doğrusal olmayan ilişkidir. Bu nedenle, IEEE standart karakteristik denklemi giriş akım değerinin bir eşik değerden büyük olduğu durumlarda meydana gelen endüktans doyumunun sebep olduğu sabit açma zamanını yansıtabilmek için bir C parametresi içermektedir. Pratik koruma uygulamalarında kullanılmak üzere, IEEE komitesi IEC standartlarındakilere benzer olarak üç farklı karakteristik belirlemiş ve bu karakteristikleri makul ters (moderately inverse - MI) karakteristik, çok ters (very linverse - VI) karakteristik ve aşırı ters (extremely inverse - EI) karakteristik olarak isimlendirmiştir. Çizelge 2.1 farklı IEEE standart röle karakteristiklerini elde etmek için

Çizelge 2.2 IEEE C37.112-1996 standardında belirtilmiş olan katsayılar

	Makul Ters (NI)	Çok Ters (VI)	Aşırı Ters (EI)
A	0.0515	19.61	28.2
B	0.02	2	2
C	0.1140	0.491	0.1217



Şekil 2.4 IEEE C37.112-1996 standardı tarafından belirlenen ters akım-zaman akım karakteristikleri (TDS = 1)

gerekli A , B ve C değerlerini özetlemektedir. Farklı arıza akım büyüklüklerine üç farklı IEEE standart karakteristiğinin verdiği cevapların görselleştirilmiş hali Şekil 2.4'te görülmektedir.

2.2.2 Standart Dışı Karakteristikler

Bu alt başlık, güç sistemlerinde koruma koordinasyonunu sağlamak için standart dışı karakteristikler oluşturmayı amaçlayan çalışmalar hakkında ayrıntılı bilgi vermeye ayrılmıştır. Bu geleneksel olmayan yaklaşımlar dört gruba ayrılmıştır:

1. Elektriksel büyüklükleri barındıran yaklaşımlar,
2. Standart karakteristikler kullanılarak standart dışı karakteristikler elde eden yaklaşımlar,
3. Matematiksel yaklaşımlar,
4. Diğer yaklaşımlar.

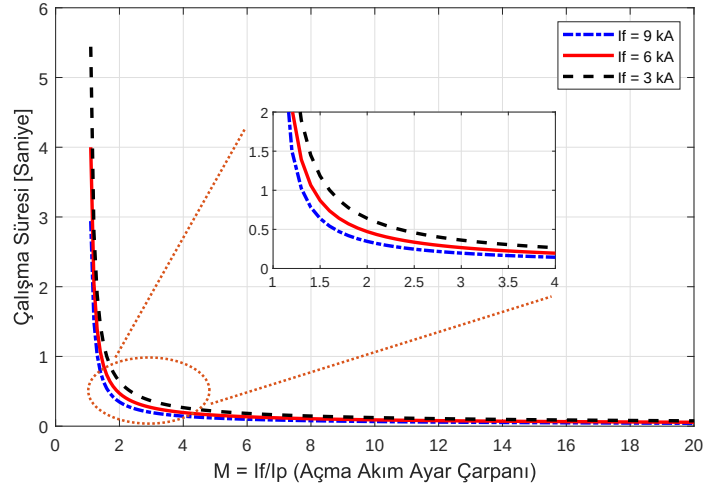
2.2.2.1 Elektriksel Büyüklükleri Barındıran Yaklaşımlar

Geçmişte bir arızayı tespit etmek ve temizlemek için kullanılan röleler sadece arıza akım değerine bağlıydılar. Bununla birlikte günümüzde, yönlü aşırı akım rölelerinin üzerlerinde bulunan akım ve gerilim transformatörleri yardımıyla akım ve gerilim ölçebilme yeteneklerinin olduğu ve daha erişebilir oldukları gibi gerçeklere bağlı olarak, sistemin arızalı kısmını tespit edebilmek için gerilim değeri de kullanılabilir. Bununla ilişkili olarak literatürdeki çalışmalar da yönlü aşırı akım rölelerinin bu özelliklerinin standart dışı karakteristik uygulamalarının sadece akım değerine bağlı kalarak değil, aynı zamanda gerilim değerini kullanarak gerçekleştirilme imkanı olduğunu göstermektedir [10], [58], [59], [69]. Bazı araştırmacılar DÜ bağlantısı, MŞ işletme, vb. tarafından kaynaklanan etkileri ortadan kaldırmak için standart karakteristiklere gerilim parametresi ekleyerek gerilim ölçümünün kullanılmasını önerirken, diğerleri ters-zaman karakteristiğinin korunması şartıyla admitansa bağlı karakteristikler kullanılmasını önermişlerdir. Bu alt başlıkta, ölçülen akım ve gerilim değerlerinin çeşitli kombinasyonları kullanılarak röle koordinasyonunun sağlanmasına yönelik araştırmalar gözden geçirilmiştir.

Akım Temelli Karakteristikler

Ölçülen akım değeri standart karakteristiklerde hali hazırda kullanılmasına rağmen, yine de sadece mevcut akım ölçümüne dayalı olarak standart dışı karakteristikler üretmek mümkündür. Bu alt bölümde, akım değerini standart karakteristiklerden farklı biçimde kullanan çalışmalar özetlenmiştir.

Endüstriyel güç sistemleri, koruyucu cihazlar açısından çok zengin bir ortam oluşturmaktadırlar. Sayısal röleler, elektromekanik röleler ve sigortalar gibi çeşitli koruyucu cihazlar aynı endüstriyel güç sistemi içinde gözlemlenebilirler. Bununla birlikte, çeşitliliğin fazla olduğu böylesine bir ortamda standart yaklaşımlar kullanıldığı zaman farklı koruma cihazlarının koordinasyonunu gerektiren durumlar (örneğin rölelerin sigortalar ile koordine edilmesi gibi) başarılması zor bir görev haline gelebilirler. Oldukça karmaşık bir endüstriyel güç sistemindeki koordinasyon problemleriyle baş edebilmek



Şekil 2.5 Arıza akım değişiminin (2.3) ve (2.4) denklemlerinde $A = 14.5$, $B = 0.5$, $C = 6.5$ ve $TDS = 1$ olduğu düşünülerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi

adına [132]'de bir standart dışı karakteristik önerilmiştir. Bu karakteristikte, A değerinin sabit kalmak yerine ölçülen akım değerine bağlı bir şekilde dinamik olarak değiştiği düşünülmüştür. [132]'de kullanılan karakteristik (2.3) ve (2.4) eşitlikleri ile verilmiştir. Ancak, $A(I_f)$ fonksiyonunun belirlenmesi ele alınan özel koruma problemine bağlıdır. Değişen arıza akımının denklemler (2.3) ve (2.4) ile verilen standart karakteristik üzerindeki etkisi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

$$A(I_f) = A \cdot e^{-\frac{I_f}{C}} \quad (2.3)$$

$$t = \left[\frac{A(I_f)}{\left(\frac{I_f}{I_p}\right)^B - 1} \right] \cdot TDS \quad (2.4)$$

Denklemler (2.3)'teki A değeri bir sabit olarak tanımlanmıştır; fakat A değerini seçerken standartlarda belirtilen değerlerden farklı değerler göz önüne alınmıştır. Aynı yaklaşım C sabiti için de geçerli kabul edilmiştir. Bu durum, C sabitinin de serbestçe seçilebildiği anlamına gelmektedir. Buna ek olarak, denklemler (2.3)'teki fonksiyonun tipi sistemin ayar parametrelerine bağlı olacak şekilde eğri uydurma yöntemi ile belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, endüstriyel güç sistemlerinde yukarıda bahsedilen standart dışı karakteristiği kullanarak rölelerin çalışma zamanlarında kayda değer bir azalma elde edilebileceğini göstermiştir. Ancak, yeni sabitlerin her bir özel durum için ayrıca ayarlanması gerekmektedir. Çalışma göz önüne alındığında, çözümün genelleştirilmesi için başka

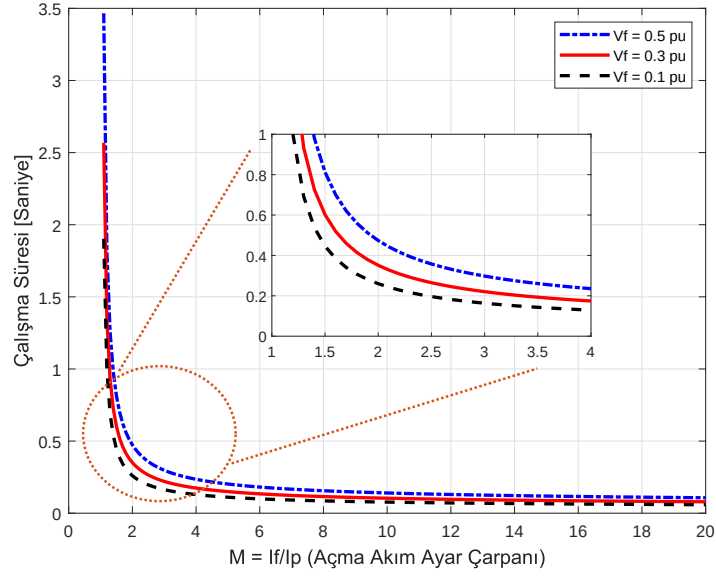
tipteki güç sistemi koruma zorluklarının üstesinden gelecek şekilde bir formül ortaya konması adına daha fazla araştırma yapılmalıdır.

Standart dışı karakteristik elde etmek adına yapılmış adaptif röle ve standart dışı yaklaşımı birlikte benimseyen diğer çalışmalar [55] ve [56]'da sunulmuştur. Bu çalışmalarda, açma akım ayarı yük akımının bir fonksiyonu ($I_p(I_L)$) olarak düşünülmüştür. Ancak, açık bir denklem kullanmak yerine [57]'de sunulan bir polinomik denkleme dayalı eğri uydurma yöntemi, röle koordinasyon çalışmaları için kullanılmak üzere hususi olarak geliştirilen bir yazılım tarafından kullanılmıştır. Çıktı olarak çok karmaşık bir yapıya sahip bir denklem verilmiş olmasına rağmen, otomatik koordine olabilmesi ve ayar parametreleri gerektirmemesi bu yöntemin üstün özellikleri arasındadır.

Gerilim Temelli Karakteristikler

Rölenin gördüğü gerilim değerinin kullanılmasının arkasında yatan ana fikir, DÜ birimlerinin güç sistemi içerisinde fazla sayıda bulunması durumunda güvenilir röle koordinasyonunu sağlamaktır. DÜ birimleri arıza akımına katkıda bulunduğu için, sistemdeki bara gerilimleri değişen arıza akım değerlerinden dolayı bir şekilde etkilenirler. Ölçülen gerilim değerini kullanan ilk çalışmalardan biri [10]'da gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada önerilen karakteristik denklem (2.5)'te verilmiştir. Bu denklem incelendiğinde, gerilim değerinin IEC standart karakteristik denklemine, her olası arıza için rölenin çalışma süresini azaltan bir çarpan olacak şekilde eklendiği görülmektedir. Ayrıca, ölçülen gerilim değeri sıfır olduğunda, yani rölenin temas noktasında bir hatanın meydana geldiği durumda, rölenin çalışma süresinin bir minimum değer aldığı görülmektedir. Gerilimin katkısını ayarlamak için yeni bir sabit, k , kullanılırken ölçülen gerilimin (V_f) birim değeri (per-unit) de bu denklemde kullanılmıştır. Ayrıca, [10]'da k sabitinin nasıl hesaplandığına dair kesin bir yaklaşımın ortaya konulmadığı; bu nedenle bu noktanın daha fazla araştırılmasına ihtiyaç olduğu vurgulanmalıdır. Ölçülen gerilim değerinin önerilen standart dışı karakteristik üzerinde nasıl bir etkisinin olduğu Şekil 2.6'da görselleştirilmiştir.

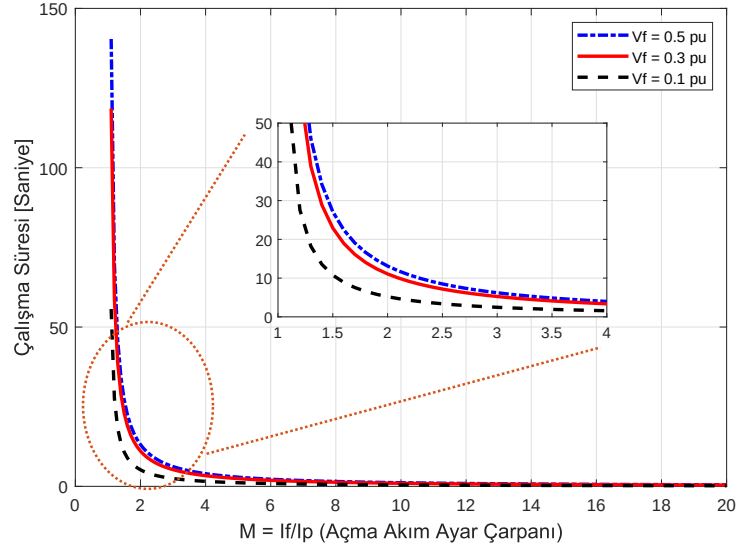
$$t = \left(\frac{1}{e^{(1-V_f)}} \right)^k \frac{A}{\left(\frac{I_f}{I_p} \right)^B - 1} \cdot TDS \quad (2.5)$$



Şekil 2.6 Gerilim değişiminin (2.5) denkleminde $A = 0,14$, $B = 0,02$, $k = 1,5$ ve $TDS = 0.1$ olduğu düşünülerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi

[10]'da önerilen denklem [58]'de rüzgar santrali barındıran bir iletim sisteminin koruma uygulamasında kullanılmıştır. Rüzgar santralinin ortak bağlantı noktasındaki gerilim değeri ve türbinlerin arıza sonrası bağlı kalabilme becerileri arasındaki ilişkiye dayalı olarak, çalışma bir rüzgar santralini uygun röle ayar değerlerini sağlayarak işletmeyi hedeflemiştir. Normalde, bir rüzgar türbininin herhangi bir arıza durumunda şebekeye bağlı olup olmayacağı şebeke kurallarında tanımlanmış olan kritik bir gerilim değeri ve bu gerilim değerinin gözlendiği süreye dayalı olarak belirlenir. Bu bağlamda, [58]'de bu maksimum izin verilen bağlı kalabilme süresi, denklem (2.5)'e göre çalıştırılan yedek röleler için bir üst sınır olarak kabul edilmiştir. Besleme hattı koruma rölelerini rüzgar türbinlerinin düşük gerilim rölelerinden daha önce çalıştırarak generatörlerin bir arıza anında şebekeye bağlı kalma olasılığı arttırılmıştır. Bu çalışmanın başka bir önemli özelliği ise, standart dışı yaklaşımları değerlendiren çalışmaların önemli bir bölümünün sadece dağıtım seviyesindeki uygulamaları dikkate almasının aksine, bu çalışmanın standart dışı yaklaşımların iletim seviyesindeki koruma ihtiyaçlarını karşılamak adına başarılı bir örnek ortaya koymuş olmasıdır. Eşitlik (2.5) ayrıca [59]'da enerji kesintilerini takiben gerçekleşen değişken şebeke topolojileri altında test edilmiştir.

Yeni bir karakteristik oluştururken standart karakteristiklerin var olan yararlı özelliklerinden faydalanma eğilimi [60]'da da devam etmiştir. Bu çalışmada, DÜ



Şekil 2.7 Gerilim değişiminin denklem (2.6)'da $A = 80$, $B = 2$, $k = 1,71$ ve $TDS = 1$ olduğu düşünümlere oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi

birimlerinin sistemde bulunması durumunda sigorta-röle koordinasyonunun iyileştirilmesi için gerilim parametresi kullanılmıştır. Çalışmada önerilen karakteristik denklem (2.6) ile verilmiştir. Denklem (2.5)'e benzer olarak önerilen karakteristik denklemde de birim gerilim değeri (V_f) ve bir k sabiti bulunmaktadır. Gerilim değerindeki değişim ile tasarlanan standart dışı karakteristik arasındaki ilişki Şekil 2.7'de görülmektedir. Ayrıca, k parametresinin nasıl hesaplandığına dair detaylı bir anlatım [60]'da sunulmuştur. Burada, monoton azalan bir eğri karakteristiğinin sadece k sabitinin 2'den küçük değerleri için elde edilebildiği ifade edilmiştir. Bu çalışmadaki k parametresi hesaplanırken DÜ etkisinin göz önüne alınmadığının ve 3-faz-toprak ya da tek-faz-toprak ve iki faz-toprak arızaları için olmak üzere iki ayrı denklemin kullanıldığının altı çizilmelidir. Herhangi bir iletişim altyapısına ihtiyaç duymadan koruma koordinasyonunu sağlayabilmesi [60]'da sunulan çalışmanın katkılarlarından bir tanesidir.

$$t = \frac{A}{\left(\frac{I_f}{I_p}\right)^B - 1} \left(\frac{V_f}{e^{k \cdot V_f}} \right) \cdot TDS \quad (2.6)$$

Gerilim büyüklüğünün kullanımı açısından benzer bir yaklaşım [61]'de sergilenmiştir. Bu yaklaşım önerdiği denklemin paydasında kullanmış olduğu logaritmik fonksiyon ile gerilim büyüklüğünü kullanan standart dışı karakteristik çalışmalarına yeni bir bakış açısı kazandırmıştır. Bu nedenle, denklemlerin standart dışı karakteristik bakımından

sınıflandırılması yapılırken denklem (2.7)'de verilen bu karakteristik, koruma çalışmaları düşünüldüğünde hem "alışık olunmadık" bir matematiksel ifade hem de "alışık olunmadık" elektriksel büyüklüğü içeren bir ifade olarak sınıflandırılabilir. Denklem (2.7)'de görüldüğü üzere, gerilim değeri sıfıra düştüğü anda rölelerin çalışma süreleri sadece D sabitine bağlı olmaktadır. Ayrıca, arıza akım ve gerilim büyüklüklerindeki aşırı dalgalanmalar logaritmik fonksiyon kullanılarak sınırlandırılmışlardır. Son olarak, ortaya konan denklem ile çalışan röleler haberleşme altyapısına ihtiyaç duymadan çalışabilirler bile, denklemin karmaşık yapısı kullanıcılar için üstesinden gelmesi güç bir durum ortaya çıkarmaktadır.

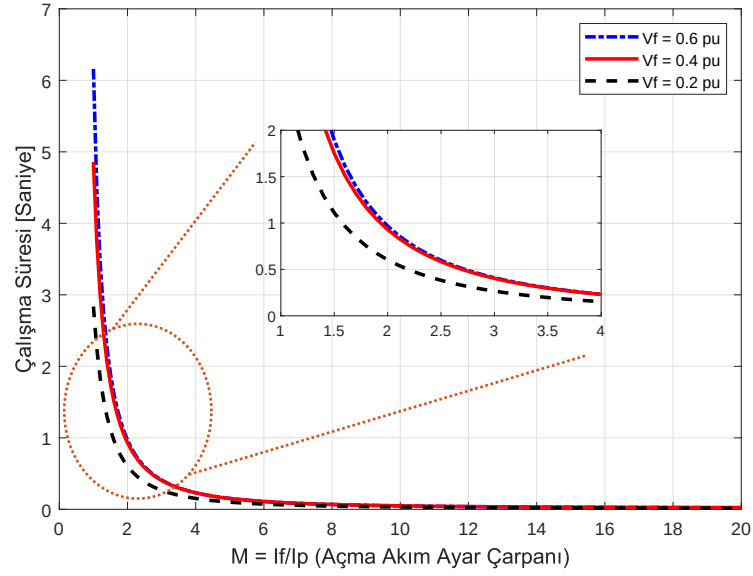
$$t = TDS \cdot \frac{(V_f)^k}{e^{V_f}} \left[\frac{A}{(\ln(V_n \frac{I_f}{V_f}))^B - (\ln(V_n \frac{I_{set}}{V_{set}}))^B} + C \right] + D \quad (2.7)$$

Bir diğer gerilim temelli yapıya sahip olan karakteristik [62]'de (2.8) ve (2.9) denklemleri kullanılarak oluşturulmuştur. Standart dışı karakteristik, DÜ birimi barındıran bir dağıtım sisteminde tekrar kapayıcı ve sigorta koordinasyonunu iyileştirmek için kullanılmıştır. Sunulan bu standart dışı yöntem [61] ile benzer olumlu ve olumsuz özellikleri taşımaktadır. Röle tarafından ölçülen gerilim sıfır olduğu zaman kesicinin zarar görmesini engellemek için başlangıç arıza akımının azalmasını beklemeksizin $t = 0$ anında açma sinyali üretilir. Önerilen karakteristikteki gerilime bağlı değişiklikler Şekil 2.8'de görülmektedir.

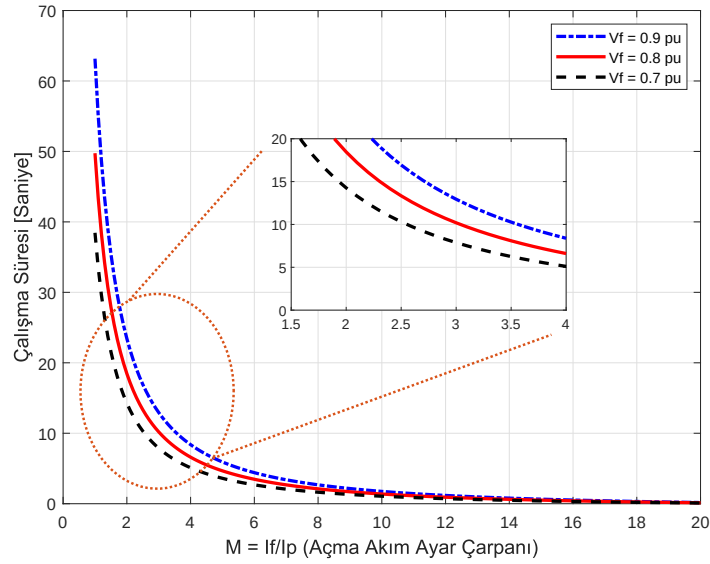
$$A = V_f \cdot (1 - V_f) \quad (2.8)$$

$$t = A \cdot \left[\frac{28.2}{\left(\frac{I_f}{I_p}\right)^2 - \left(\frac{1}{e^{(1-V_f)}}\right)^2} + 0.1217 \right] \cdot TDS \quad (2.9)$$

Gerilimin koruma karakteristiğinde kullanılmasını hedefleyen çalışmalar sonucunda denklem (2.10) ortaya konulmuştur [63], [64]. Bu karakteristik denklem, (2.5) ile büyük benzerlik göstermekle birlikte gerilimden faydalanmak adına logaritmik fonksiyonun kullanımıyla farklı bir yaklaşım sergilemektedir. Burada, ölçülen gerilimin birim değeri karakteristik denkleme eklenmiştir ve k parametresi kullanılarak gerilim katkısı denetim altına alınmıştır. Denklem (2.10) ile öne sürülen standart dışı karakteristiğin farklı gerilim



Şekil 2.8 Gerilim değişiminin (2.8) ve (2.9) denklemlerinde $TDS = 0.5$ olduğu düşünülerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi



Şekil 2.9 Gerilim değişiminin (2.10) denkleminde $A = 80$, $B = 1,4$, $C = 1$ ve $k = 5$ olduğu düşünülerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi

değerlerine karşı verdiği cevaplar Şekil 2.9’da görülmektedir.

$$t = \left(\frac{1}{1 - (\log V_f)^C} \right)^k \frac{A}{\left(\frac{I_f}{I_p} \right)^B - 1} TDS \quad (2.10)$$

Admitans Temelli Karakteristikler

Yeni nesil güç sistemlerinin yapısal özelliklerinden kaynaklanan koruma sorunlarını gidermenin bir başka yolu olarak admitansa bağlı bir karakteristik kullanımı [66]’da

özüm olarak sunulmuştur. Önerilen denklem (2.11) ile verilmiş ve Şekil 2.10’da görselleştirilmiştir.

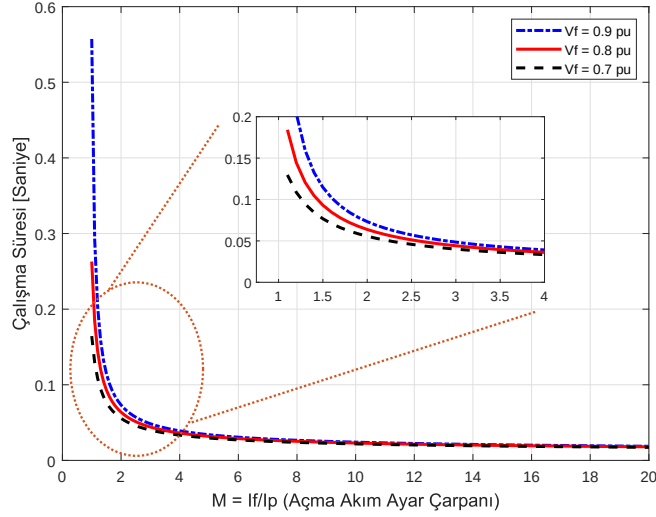
$$t = \frac{A}{Y_r^B - 1} + C \quad (2.11)$$

Önerilen admitans temelli standart dışı karakteristiğın yapısı, I_f/I_p değerinin Y_r ile değıştirilmesi ve herhangi bir TDS ayarı bulundurmaması gibi yapılan bazı değışiklikler dışında standart eşitliklere oldukça benzerdir. Denklem (2.11)’de görülen Y_r değeri, denklem (2.12)’ye göre hesaplanan normalize edilmiş admitans değeriştir. Ek olarak, röleler arasındaki koordinasyonu sağlamak için akım ve zaman ayar parametreleri kullanmak yerine Y_{set} değerin ve A , B ve C değışkenlerinin kullanılması önerilmiştir.

$$Y_r = \left| \frac{Y_f}{Y_{set}} \right| \quad (2.12)$$

Burada, Y_f arıza anında ölçülen admitans değeri ve Y_{set} ise röle için admitans ayar değeri temsil etmektedir. Bu denklem incelendiğinde, rölenin sadece $|Y_f| > |Y_{set}|$ olduğu zaman açma sinyalini üreteceğı sonucuna ulaşılabilir. Y_{set} değeriine bağılı olarak korunması planlanan hat, tıpkı genellikle iletim sistemlerinde görülen mesafe koruma uygulamalarında olduğu gibi farklı alanlara bölünür ve daha sonra, her bir alan için bir ters zaman karakteristiğı atanır. TDS değeriilerinin kullanılmaması fikri, kaynak tarafına yakın rölelerin çalışma sürelerindeki istenmeyen artışın önlenmesi için bir fırsat yaratır. Ancak, her bir alan için özel birer A , B ve C değeri atanması kullanıcılar için zorluk yaratabilir. Buna ek olarak dağıtım sistemleri, iletim sistemlerine kıyasla daha kısa hatlara sahip olduğundan dolayı, admitans değeriinin ölçümü ve hesaplanması dikkat edilmesi gereken önemli bir noktadır. Üstelik, bu yöntem için belirlenen koruma alanının sonunda meydana gelen yüksek resistif bir arızanın yerininin tespit edilmesi röle için oldukça güçtür. Son olarak, azalan arıza akımına bağılı olarak CTI değeriinde meydana gelen değışimler koruma hattını daha fazla alana bölerek bir miktar azaltılabilir. Fakat, bu durum fazladan bir hesaplama yükünü de beraberinde getirir. Bu yöntemin olumlu özelliklerinden bir tanesi de, yöntemin herhangi bir haberleşme altyapısına ihtiyaç duymadan çalışmasıdır.

Önerilen admitans temelli standart dışı karakteristik, [67] ve [68]’de oldukça sınırlı arıza



Şekil 2.10 Gerilim değişiminin (2.11) denkleminde $A = 0,0047$, $B = 0,08$ ve $C = 0$ olduğu düşünülerek oluşturulan admitans temelli standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi

akım katkısına sahip güç dönüştürücüsü temelli DÜ birimleri içeren MŞ uygulamaları için değerlendirilmiştir. Çalışmalar göstermiştir ki, admitans temelli karakteristik sayesinde MŞ uygulamalarında sistemin arızalı kısmının tespit edilip ayrılması ve geriye kalan sağlıklı kısmının ada modda çalıştırılması konularında rölelerin beklentileri karşılayacak şekilde çalışabilmeleri sağlanabilmektedir. Ayrıca, MŞ'nin ana şebekeden ayrılmasından sonra dahi MŞ korumasının sağlanabildiği de belirtilmiştir. Bu çalışmalardan ayrı olarak, önerilen karakteristik dağıtım sistemi uygulamaları için de denenmiştir [69], [70]. Bu çalışmalarda, admitans temelli karakteristik kullanılarak şebeke empedansındaki değişimlerden bağımsız olacak şekilde bir ters zaman karakteristiği sağlanabileceği başarılı bir şekilde gösterilmiştir. Ancak, şebekeden ve DÜ birimlerinden sağlanan arıza akımı etkileşimi nedeniyle sistemdeki rölelerden ana kaynağa uzak olan rölenin ana kaynağa yakın olan röleden her zaman daha sonra çalışması hala aşılması gereken bir sınırlamadır [133].

2.2.2.2 Standart Karakteristikler Kullanılarak Standart Dışı Karakteristikler Elde Eden Yaklaşımlar

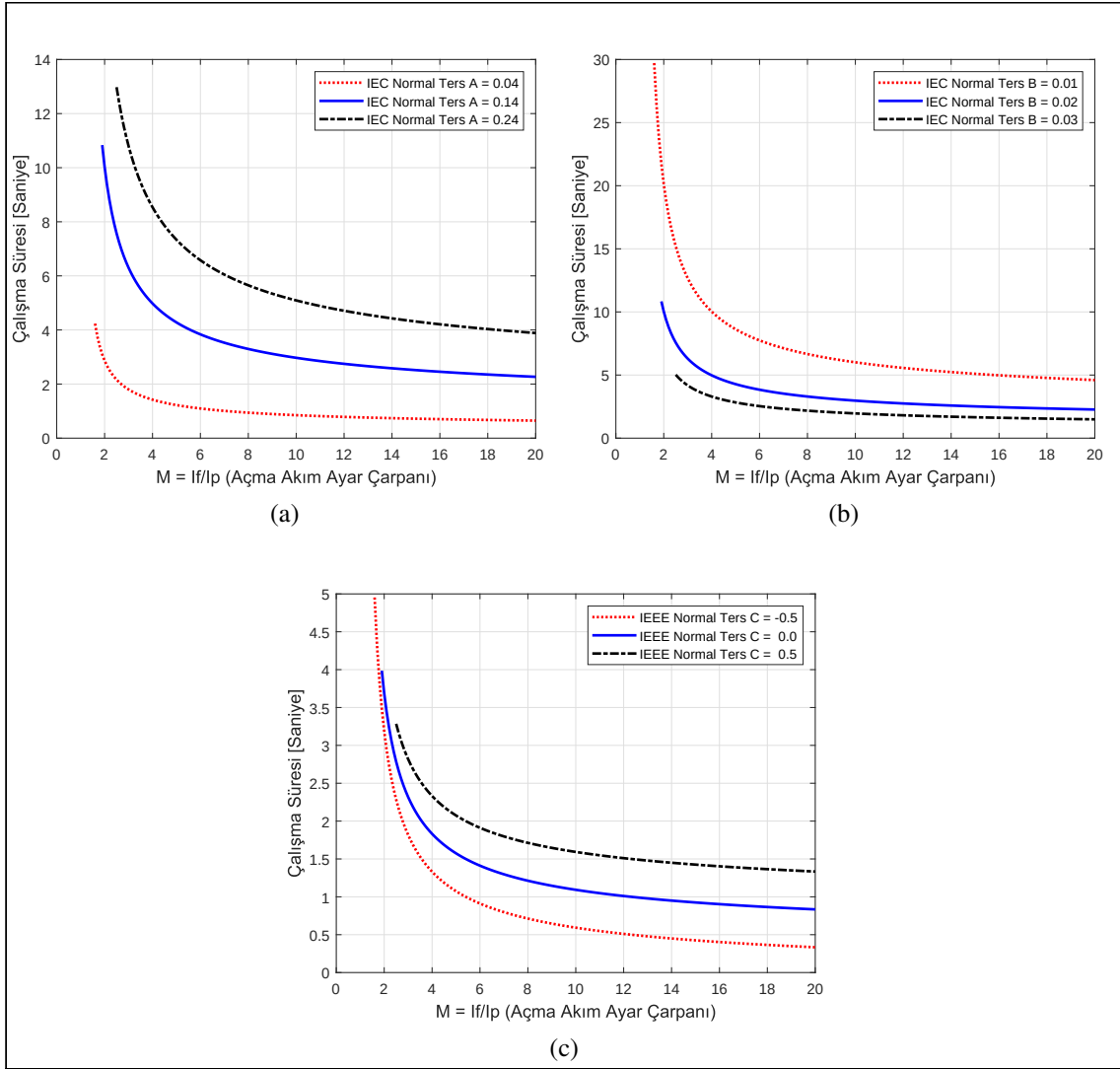
Bu alt bölümde, halihazırda bulunan standart karakteristikler değiştirilerek oluşturulan standart dışı karakteristikler hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Bu alt bölüm iki ayrı alt kısımdan oluşmaktadır: Birinci kısım, sadece standart karakteristiklerde bulunan sabit

veya sabitlerden farklı değerde sabitler kullanarak yeni bir karakteristik elde etmeyi hedefleyen çalışmaları; ikinci kısım ise, farklı standart karakteristikler kullanarak standart dışı karakteristikler elde etmeyi amaçlayan çalışmaları kapsamaktadır.

Standart Karakteristiklerden Farklı Değerlere Sahip Sabit(ler) Kullanan Yaklaşımlar

Standart dışı karakteristikler, başka bir deyişle daha esnek standart karakteristikler, elde etmenin başka bir yolu standart karakteristiklerde kullanılan sabitlerin değerlerini değiştirmektir. Standart karakteristiklerde kullanılan genel matematiksel ifadeyi olduğu gibi muhafaza etmek, bir röle karakteristiğinden beklenen genel şekle bağlı kalmak adına faydalı bir yaklaşımdır. Sonuç olarak, koruma alanındaki literatürde bu tür standart dışı karakteristikler uygulamayı hedefleyen birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde, genel yaklaşımın standart karakteristik sabitlerini tıpkı TDS ve I_p gibi birer optimizasyon değişkeni olarak kullanmak şeklinde olduğu görülmektedir. Görselleştirmek amacıyla, ilgili sabitlerdeki değişimlerin standart karakteristikler üzerindeki etkileri Şekil 2.11’de gösterilmiştir.

IEEE standart karakteristiği kullanılarak bir çift yönlü karakteristik [71]’de elde edilmiştir. Çift yönlü karakteristik sadece bir tane yönlü aşırı akım rölesinin hem ileri yöndeki hem de geri yöndeki arızaları algılayabilecek ve temizleyebilecek şekilde iki tane farklı eğriye sahip olması anlamına gelmektedir. Ayrıca, burada her bir röle için A , B ve C sabitlerinin her iki yöndeki eğrileri oluşturmak adına ayrı ayrı optimize edildiğinin vurgulanması gereklidir. Çalışmanın sonuçları göstermiştir ki, standart karakteristiklerde bulunan sabitleri birer optimizasyon değişkeni gibi ayarlayarak DÜ bağlantı içeren bir ağ yapılı dağıtım sistemindeki rölelerin çalışma sürelerinde bir azalma elde edilebilir. Bir çift yönlü karakteristiği koordine edebilmek adına [71]’de dağıtım sisteminde bir iletişim altyapısının mevcut olduğu kabul edilmiştir. Ancak, bazı durumlarda bu yaklaşımın maliyeti sınırlayıcı bir etkisi olabilir. Çift yönlü karakteristik yaklaşımı sadece tek bir yön için başarıyla uygulanarak rölelerin toplam çalışma zamanları [72] ve [73]’te azaltılmıştır. İlave olarak, sabit değerlerin aralıkları arasında bir kıyaslama [73]’te yapılmıştır. Bu kıyaslama, bu yeni değişkenler için daha geniş bir aralığın tanımlanmasının daha iyi



Şekil 2.11 Farklı sabitlerin standart karakteristikler üzerindeki etkisi (a) $B = 0,02$ iken farklı A değerlerinin IEC standart karakteriği üzerindeki etkisi, (b) $A = 0,14$ iken farklı B değerlerinin IEC standart karakteriği üzerindeki etkisi, (c) $A = 0,0515$ ve $B = 0,02$ iken farklı C değerlerinin IEEE standart karakteriği üzerindeki etkisi

ve rölelerin çalışma süreleri arasındaki ilişkiyi açıklamak adına yapılacak yeni çalışmalar hala üzerine emek harcamaya değer niteliktedir. Göreceli olarak büyüktür küçüğe değişen çeşitli güç sistem boyutları göz önüne alınarak A , B ve C sabitleri [74]'te ayrı ayrı optimize edilmiştir. Ayrıca çalışma, sabitlerin artan limitlerinin çözüm kalitesini azalttığını işaret etmektedir. IEC standart karakteristiğindeki A ve B sabitleri [75], [76], [77], [78], [79], [80], [81], [82] ve [134]'te değişkenler olarak ele alınmıştır. Bu çalışmalar DÜ etkisini değerlendirirken aynı zamanda rölelerin çalışma zamanlarında da bir azalma elde etmeyi başarmışlardır. Daha güvenilir bir röle koordinasyonu sunabilmek adına bir koruma alanında üç ayrı arıza noktasını ele almaları [75] ve [76]'nın değerli birer

koruma alanında üç ayrı arıza noktasını ele almaları [75] ve [76]'nın değerli birer katkısıdır. Ayrıca, tüm röleler için evrensel bir sabit değer kümesi seçmek yerine her bir röle için özel sabit değerleri seçerek toplam açma süresi anlamında bir iyileştirme sağlanabileceği sonucuna ulaşan önemli bir karşılaştırma [77]'de ortaya konmuştur. Aynı yaklaşım, aşırı akım rölelerini mesafe rölelerine yedek röle olacak şekilde çalıştırabilmek adına [134]'te iletim sistemlerinin koruması için kullanılmıştır. Bu şekilde, DÜ birimlerinin sisteme bağlı olduğu durumlarda bile güvenilir bir koruma sağlanmaktadır. Benzer şekilde, yönlü aşırı akım rölelerinin iletim sistemi arızalarında yedek röle olarak çalışma performanslarını arttırmak adına [78]'de ayrı optimal A ve B değerleri kullanılmıştır. Her iki yön için de ayrı olarak optimize edilen A ve B değerleri, yönlü aşırı akım rölelerine standart karakteristikler üzerinde bir esneme sağlamak için [79]'da atanmışlar ve toplam açma süresi azaltılmıştır. DÜ'nün istenmeyen etkisiyle başa çıkılması, her bir röle için farklı A ve B değerleri kullanılarak [80]'de başarılmıştır. Röle çiftleri arasındaki koordinasyon eksikliği problemine bir çözüm olarak röle çiftlerinin aynı A ve B değerleriyle çalıştırılması [81]'de önerilmiştir. Dahası, MŞ'lerde şebekeye bağlı ve ada çalışma durumlarından kaynaklanan koruma koordinasyon sorunlarının giderilmesi amacıyla A ve B parametrelerinin optimize edilmesi fikri [82]'de ortaya atılmıştır. Son olarak, A ve B parametreleri için farklı değerleri hafızasında tutabilen bir röle [83]'te tasarlanmış ve uygulanmıştır. Ayarlanabilir sabitlerin sayısını arttırmak ve daha geniş aralıklar kullanmak bu tür yaklaşımlar için daha iyi sonuçlar vermektedir. Yine de, bu durum kayda değer bir hesaplama yükünü beraberinde getirir ve hatta bazen, büyük boyutlu şebekelerde yakınsama sorunlarına yol açabilir. Özellikle bu durum, DÜ içeren ve nispeten daha sık yeniden yapılandırmaya maruz kalan büyük boyutlu sistemlerde bir sorun teşkil edebilir. Tüm arıza akım aralığı boyunca sabit bir CTI sağlayabilmek dikkatle değerlendirilmelidir, çünkü röleler arasında A , B ve C sabitleri için farklı değer kümeleri kullanmak rölelerin farklı karakteristikler ile çalıştırılması anlamına gelmektedir. Bu durumda, röle çiftleri arasında her bir arıza akım değeri için aynı CTI değerini elde etmek mümkün olmadığı gibi bazı arıza akım değerleri için yedek rölelerin birincil rölelerden önce çalışması, bir başka deyişle röle çiftlerinin karakteristiklerinin kesişmesi, büyük

koordinasyon sorunlarına yol açabilir.

Her bir sabiti optimizasyon değişkeni olarak düşünmek yerine, bazı araştırmacılar güç sistemleri korumasında kullanmak üzere var olan standart karakteristikleri bir arada kullanmayı amaçlamışlardır. Bu çalışmalarda temel yaklaşım sistem içerisindeki bir rölenin bir standart karakteristik kullanmasına izin verilirken (örneğin normal ters eğri) yine sistem içerisindeki bir başka rölenin bir başka standart eğri kullanmasına (örneğin çok ters eğri) müsaade edilmesidir. Bu tip çalışmalarda genel uygulama, röle koordinasyon problemini optimizasyon problemi olarak ifade ederken her bir röle için seçilecek karakteristiği temsil edecek şekilde ayrı bir değişken daha formülizasyona dahil etmektedir. İlgili değişkenler kümesi standart karakteristikler kullanılarak tanımlanırlar. Örneğin, karakteristiklerin seçileceği küme [84], [85], [86], [87], [88] ve [89]'da sadece IEC standart eğrilerinden oluşacak biçimde tanımlanmışken, [90] ve [91]'de optimizasyon algoritması bir röle için sekiz farklı standart karakteristik içinden bir tanesini seçebilmektedir. Benzer şekilde, sadece IEC ve IEEE standart karakteristikleri kullanılarak [92]'de bir havuz oluşturulmuşken, bu havuz [93]'te IAC ve U.S. eğrileri de dahil edilerek genişletilmiştir. Bu çalışmalar incelendiğinde görülmektedir ki, toplam açma süresinde bir azalma elde edilmesine rağmen farklı karakteristikler ile çalışan röle çiftleri arasındaki korunması gereken CTI değerini sabit tutmak neredeyse imkansızdır. Ancak, bu yaklaşım güç sisteminin farklı alanlara bölündüğü ve bir alan içinde aynı karakteristiğin kullanıldığı standart dışı karakteristik uygulamalarında fayda sağlayabilme potansiyeline sahiptir. Yine de, bu yöntemle tüm arıza akım aralığı boyunca gözlenen CTI değişiminin azaltılabilmesi söz konusu olsa bile tamamen ortadan kaldırılabilmesinin mümkün olmadığı vurgulanmalıdır.

Farklı Standart Karakteristik Kullanarak Standart Dışı Karakteristikler Elde Etmeyi Amaçlayan Çalışmalar

Standart dışı karakteristikler iki veya daha fazla standart eğrinin kullanımıyla elde edilebilir. Bu yaklaşım, toprak arızalarına karşı koruma yapması beklenen bir röle ile bir sigorta arasındaki koordinasyonu sağlamak için [94]'te kullanılmıştır. Temel olarak, düşük arıza akımlarında ve sigortaların gereksiz yere kullanım dışı kalmalarını önlemek için geçici

yüksek arıza akımlarında ilk önce rölelerin açma işlemini yapması istenmekteyken, yüksek arıza akımları için sigortaların birincil olarak çalışması tercih edilmektedir. Ancak, her iki koruma cihazının da seçici olmadan çalışabileceği kayda değer genişlikte bir arıza akım aralığı vardır. Röle-sigorta çiftlerini seçici bir şekilde işletebilmek için, bu aralığı en aza indirecek şekilde iki tane IEC standart karakteristiğinin birleştirilmesiyle ve tamamen bir standart dışı karakteristik uygulanmasıyla oluşturulan standart dışı yaklaşım [94]'te ortaya konulmuştur. Hangi standart karakteristiğin kullanılması gerektiğine, önceden tanımlanmış akım değerleri ile ölçülen akım değerleri arasında yapılan bir karşılaştırma sonucunda karar verilmiştir. Bu çalışma, standart dışı karakteristik kullanan toprak aşırı akım röleleri ile sigortaların aynı anda çalışmasını engelleyerek toprak aşırı akım röleleri ile sigorta koordinasyonu için tatmin edici bir çözüm sunmuştur. Bu sonuçlara dayalı olarak, ilgili yaklaşım farklı tipteki arıza akımlarını algılamak adına farklı standart dışı karakteristikler kullanılması düşünülmüş ve genişletilip uygulanabilir. Ancak, yeni bir standart dışı karakteristik belirlerken aşırı derecede düşük olan açma akım ayarı gibi toprak arıza akımlarının hususi özellikleri dikkate alınmalıdır. Ek olarak, önerilen karakteristik yüksek I_f/I_p oranları için bile taşıdığı ters karakteristik özelliğinden ödün vermemelidir. Bu tür uygulamalarda ele alınması gereken bir diğer konu ise oluşturulan karakteristiğin dinamik davranışdır. Bu nedenle, sunulan karakteristiğin özellikle farklı standart eğrilerin birleşme noktalarındaki arıza akımları için dinamik cevabı dikkatlice değerlendirilmelidir.

Ana şebekeden ayrıldıktan sonra sistemin adalanan kısmında kalan kısmın kararlı bir biçimde çalışmasını sürdürebilmek için, DÜ birimlerinin kritik temizleme zamanını dikkate alarak iki farklı IEC standart karakteristik [98]'de kullanılmıştır. Çalışma koruma ve kararlılık konularının birleştirilmesi adına gerekli formülasyonu sağlamıştır. Yine de, farklı standart dışı eğriler kullanılarak DÜ birimleri üzerindeki etkiler araştırılmaya açık bir alandır. Standart karakteristiklerden farklı karakteristikler uygulamayı hedefleyen başka bir çalışma ise bir standart karakteristik ile kesin zaman karakteristiğini bir arada kullanmayı hedeflemiştir [95]. Bu çalışmada, DÜ bağlantısına bağlı olarak röle koordinasyonun kaybolduğu durumlar için röle koordinasyonunu tekrar sağlamak adına sadece bir kesin zaman karakteristiği ayarlayarak birleşik bir karakteristik kullanmanın

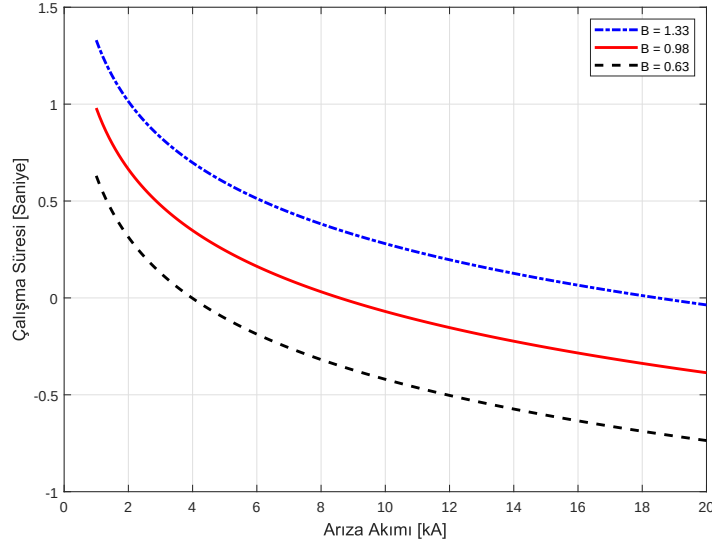
düşük maliyetli bir seçenek olacağı gösterilmiştir. Bu yaklaşımın geliştirilmiş bir versiyonu [96] ve [97]'de fazladan zaman adımları eklenerek uygulanmıştır. Ortaya çıkan eğri bir tane ters zaman karakteristiği ve iki veya üç tane kesin zaman karakteristiğinin birleşimidir. Pratik ve esnek koruma koordinasyonunun bu yöntemler izlenerek elde edilebileceğinin not edilmesi gerekir. Ancak, sabit bir CTI sağlanmasının ve şebekeye yakın rölelerin çalışma sürelerinde gözlenen artışın giderilmesi için daha fazla araştırma yapılması gereklidir.

Birden farklı sayıda arıza noktası dikkate alındığı durumlarda bile koruma koordinasyonunu sağlarken rölelerin çalışma süresini azaltmak için arıza akım aralığının iki eşit kısma bölünmesi [99]'da hedeflenmiştir. Bu çalışmada, IEC normal ters eğrisinin denklemi kullanılmıştır. Arıza akım aralığını bölmek, röle başına ayar değişkenlerinin sayısını arttırmıştır. Bu nedenle, röle başına iki çift TDS ve I_p değeri optimize edilmiş ve birden çok arıza noktası göz önüne alınırken düşük röle çalışma süreleri de elde edilmiştir. Yine de arıza akım aralığının kısımlara ayrılması, beraberinde hesaplama yükünü de getirmektedir. Bu nedenle, arıza akım aralığı dilimlenerek arttırılan optimize edilecek ayar çifti sayısı ve rölelerin çalışma sürelerindeki azalma arasındaki tercih yönetilebildiği sürece, yaklaşım ileriki araştırmalar için faydalı olacaktır.

2.2.2.3 Standart Dışı Karakteristik Oluşturmak için Kullanılan Matematiksel Yöntemler

Bu alt bölüm, standart karakteristiklerde kullanılan matematiksel yöntemlerden farklı matematiksel ifadeler kullanarak standart dışı karakteristikler oluşturmayı amaçlayan yayınları sunmak için düzenlenmiştir. Her ne kadar her bir standart dışı karakteristik "matematiksel olarak farklı" sayılabilse bile, ekponansiyel yapıdan farklı bir iskelet kullanan yaklaşımlar bu alt bölümde ele alınmıştır.

Logaritmik fonksiyonlar, sigortaların karakteristiklerini matematiksel olarak ifade edilmek için yaygın bir şekilde kullanılırlar. Bu temel güç sistemi koruma karakteristiğinden esinlenilerek yeni bir röle karakteristiği [100]'de oluşturulmuştur. Önerilen karakteristik denklem (2.13)'te verilmiştir. Dahası, farklı B değerleri için ortaya atılan standart dışı



Şekil 2.12 Parametre B 'deki değişimin (2.13) denkleminde $A = -1,05$ olduğu düşünülerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi

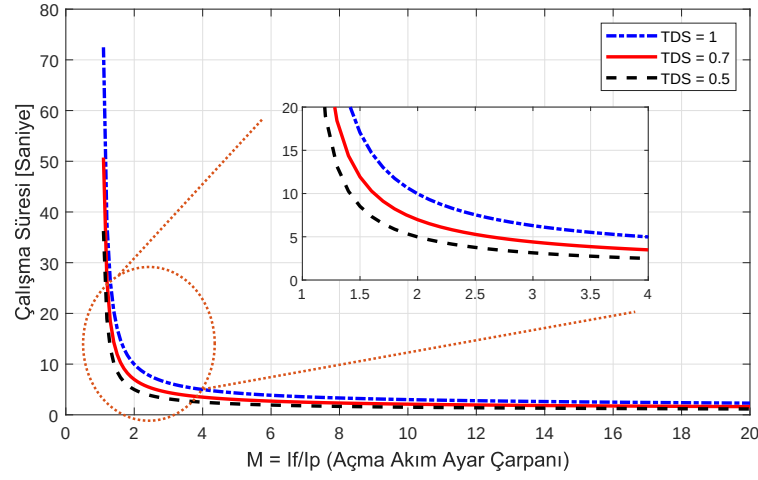
karakteristiğin değişimi Şekil 2.12'de görülebilir. Standart karakteristiklerdeki denklemler zıt olarak A ve B sabit olarak düşünülmemiş ve ikisinin de değerleri röleleri koordine etmek için hesaplanmıştır.

$$t = A \log(I_f) + B \quad (2.13)$$

Denklem (2.13)'te sunulan logaritmik yaklaşıma benzer bir yaklaşım, denklem (2.14)'te MŞ'lerdeki koruma zorlukları düşünülerek sunulmuştur. Önerilen karakteristik denklem düşük arıza akımlarını algılayabilse de, dağıtım ve iletim sistemleri gibi daha büyük arıza akım seviyelerinde çalışabilmesi kaygısıyla denklemin geliştirilmesi veya yeniden yapılandırılması gerekebilir. Şekil 2.13'te, TDS değerindeki değişimlere bağlı olarak [101]'de önerilen standart dışı karakteristikteki değişimler çizdirilmiştir.

$$t = TDS \frac{3}{\log(I_f)} \quad (2.14)$$

Rölenin çalışma sıcaklık aralığını genişletmek ve mikroişlemci tabanlı rölelerin düşük bakım sıklığından faydalanmak amacıyla [102]'de bir aşırı akım rölesi geliştirilmiştir. Sunulan rölenin karakteristik denklemi (2.15)'te verilmiştir. Önerilen denklemin genel yapısı standart denklemlere oldukça benzemesine rağmen, bu denklemdeki sabitler ilgili röle çalışma süresinin on katına eşit olacak şekilde, t_{10} parametresi tanımlanmıştır. Çalışmada denklem (2.15) farklı A ve B çiftleriyle kullanılarak üç ayrı karakteristik elde

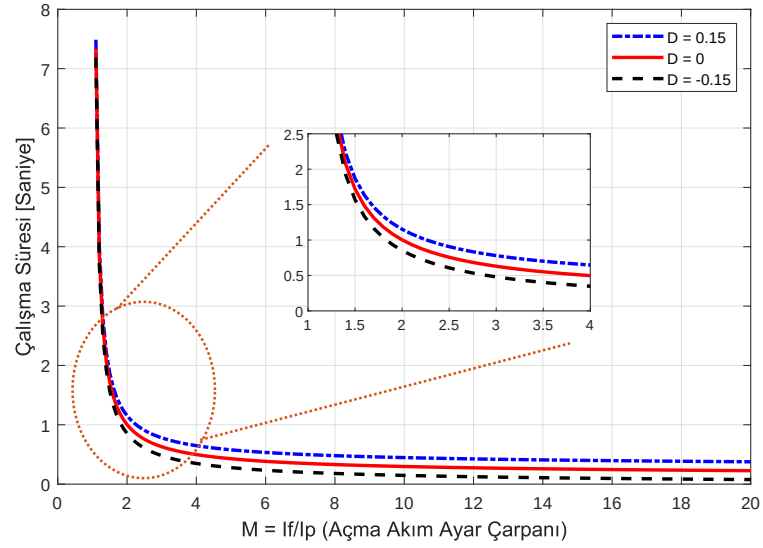


Şekil 2.13 TDS 'deki değişimin (2.14) denklemiyle oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi

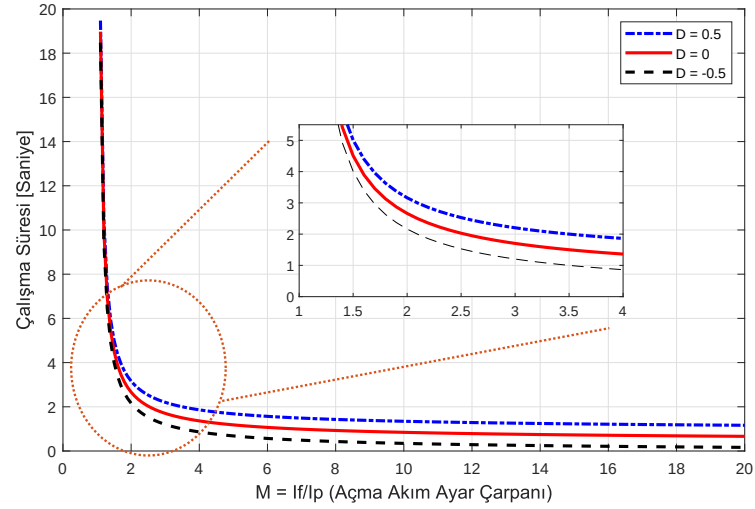
edilmiştir. Anlatımın yalınlığı bozulmaması adına, önerilen denklemdeki sabitlerin oldukça karmaşık ampirik hesaplamaları ilgili detaylara burada yer verilmemiştir. Yine de, [102]'de belirtildiği gibi tüm koruma durumları için geçerli olabilecek tek bir denklem yoktur ve bu da bazı durumlarda istenilen koruma gereksinimlerine dayalı olarak sabitlerin kullanılmasının uygun olacağı anlamına gelmektedir.

$$t = \frac{A(t_{10})}{\left(\frac{I_f}{I_p}\right) - 1} + B(t_{10}) \quad (2.15)$$

Standart karakteristiklerin genel şekli korunarak bir kaydırma yaklaşımı [103] ve [104]'te uygulanmıştır. Bu çalışmalarda standart karakteristiktekilere benzer bir iskelet kullanılmış olup, mevcut A ve B sabitleri değişkenmiş gibi kabul edilmiştir. Önerilen karakteristik denklem (2.16)'da verilmiştir. Denklem (2.16)'daki C sabiti [103]'te sıfır olarak alınmıştır. Denklem (2.16) kullanıcıya, denklemin orijinal şeklini koruyarak karakteristiği x-ekseni boyunca kaydırabilecek bir şekilde D parametresine arzu edilen değerin atanması imkanını sunar. Teoride C değerinin sıfır olduğu ([103]'te olduğu gibi) ve arıza akımının sonsuz olduğu düşünüldüğünde denklemin değişken içeren kısmı sıfıra gideceğinden, görece yüksek bir arıza akımı için istenen röle çalışma süresi D için bir alt sınır olarak alınabilir. Aynı denklem sadece elektro-mekanik röle karakteristiklerini yansıtmak için değil, aynı zamanda özel karakteristikleri de yansıtabilecek bir yazılım modelinin geliştirilmesi amacıyla [104]'te de kullanılmıştır.



Şekil 2.14 Parametre D 'deki değişimin (2.16) denkleminde $A = 0,14$, $B = 0,02$, $C = 0$ ve $TDS = 1$ kabul edilerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi



Şekil 2.15 Parametre D 'deki değişimin (2.16) denkleminde $A = 0,0515$, $B = 0,02$, $C = 0,114$ ve $TDS = 1$ kabul edilerek oluşturulan standart dışı karakteristik üzerindeki etkisi

Dört farklı sabit değeri ile standart dışı karakteristik ayarlanmıştır; ancak bu durum büyük boyutlu problemlerde hesaplama yükünün artmasına yol açabilir. Dahası, [103]'te önerilen standart dışı karakteristiğin farklı C değerlerine vermiş olduğu tepki Şekil 2.14'te görülebilirken, [104]'te oluşturulan standart dışı karakteristiğin farklı D değerleri için tepkisi Şekil 2.15'te görülmektedir.

$$t = \left[\frac{A}{\left(\frac{I_f}{I_p} \right)^B - 1} + C \right] \cdot TDS + D \quad (2.16)$$

2.2.2.4 Diğer Standart Dışı Karakteristikler

Bu bölümde, ya standart dışı karakteristiklerin oluşturulması için "geleneksel" olmayan yöntemler kullanan, ya da ayrı bir biçimde sınıflandırılacak kadar literatürde yeterli sayıda benzerine rastlanmamış çalışmalar sunulmuştur.

Röle karakteristiğinin belirli akım ve zaman değerleri kullanılarak ve iletkenin sıcaklık sınırı da dikkate alınarak iletkenin maksimum izin verilen sıcaklık değerine göre ayarlanması [105]'te önerilmiştir. Bu çalışmada, geçici termal iletken eğrileri kullanılarak ters zaman karakteristiği elde edilmiştir. Ayrıca, rüzgar hızı, akım, güneş enerjisi kazanç potansiyeli ve emisivite gibi iletken sıcaklığını etkileyebilecek parametreler de değerlendirilmiştir.

Standart karakteristik ile çalışan bir dizi röle içeren bir radyal hatta, dağıtım transformatörüne yaklaştıkça rölelerin açma sürelerinde CTI değerine bağlı olarak bir artış gözlenir. Ayrıca, düşük arıza akımları için ters akım zaman eğrileri birbirine yakın olduğundan yeterli bir CTI sağlanması bir sorun olabilir. Standart karakteristiklerin bu sorununa bir çözüm olarak, çalışma süreleri ve arıza akımları ile ilgili verileri içeren bir tarama tablosunu kullanan standart dışı bir yaklaşım [106]'da önerilmiştir. Bu standart dışı yaklaşımda ana fikir, her bir röle için yakın ve uzak uç arıza akımlarını ve çalışma sürelerini de kullanarak bir tablo oluşturmaktır. Tarama tablosunu oluşturmak için her bir rölenin, ana koruma bölgesindeki bir yakın uç arızası için mümkün olan en kısa zaman 0,1 saniyede çalıştırılması gerektiği varsayılmıştır. Daha sonra, uzak uç arızaları için çalışma süresi CTI değerinin birincil çalışma süresine eklenmesiyle hesaplanmıştır. Bu şekilde, her bir rölenin ana koruma bölgesi için gerekli olan noktalar elde edilmiştir. Daha sonra, her bir rölenin yedek çalışma bölgesi için gerekli verileri hesaplamak amacıyla yedek olarak kullanılan diğer rölenin uzak uç arızası için çalışma süresi kullanılmıştır. Hesaplama, CTI değerinin birincil rölenin ana koruma bölgesindeki uzak uç arıza için çalışma süresine tekrar eklenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Birincil ve yedek işletim bilgileri her bir röleye girildikten sonra, karakteristiğin geri kalan kısmı rölelerin iç doğrusal enterpolasyon özelliği kullanılarak hesaplanmıştır. Akım zaman karakteristikleri inşa edilirken yüksek

başlangıç akımlarına sahip yükler (örn. elektrik makineleri) dikkate alınmıştır. Sonuç olarak karakteristikler, özel yüklerin görece kısa başlangıç akım periyotlarındaki geçici aşırı akımlara izin verecek şekilde düzenlenmiştir. Bu fikir basit ama sağlam yapısıyla ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte, toplam çalışma süresini azaltması beklenen doğrusal olmayan eğriler kullanılarak bazı iyileştirmeler elde edilebilir. Dahası, önerilen yaklaşımın bir ağ şebeke yapısında test edilmesi gerekmektedir. Ayrıca bu yaklaşım, önerilen arıza karakteristiğinin değişken akım değerlerine nasıl bir tepki verdiğini sınamak adına DÜ bağlantısı içeren güç sistemlerine uygulanmalıdır. Arıza akımındaki değişiklikler nedeniyle çalışma sürelerinde olası bir artış, arıza akımları haricinde başka bir elektrik parametresi (veya elektriksel parametreler) de içeren bir tablo formu kullanılarak önlenebilir.

Arıza akım büyüklüklerinin olasılıksal yapısını incelemek için, [107]'de röle koordinasyonunun stokastik MILP modeli geliştirilmiştir. Arıza akım uzayının ayrık yapıda olduğu varsayılmıştır. Daha sonra, formüle edilmiş problemin çözümüne dayanarak, akım zaman eğrisi her bir arıza akım aralığı için elde edilen optimal çalışma süreleri kullanarak oluşturulmuştur.

2.2.2.5 Standart Dışı Karakteristiklerin Kullanıldığı Deneysel Çalışmalar

Standart dışı karakteristikler oluşturmak için teorik çabaların yanı sıra, literatürde standart dışı karakteristikler ile ilgili sınırlı sayıda deneysel çalışma da yer almaktadır. Denklem (2.11)'de verilen admitans temelli karakteristik [69]'da laboratuvar ortamında test edilmiştir. Önerilen karakteristiğin performansını test etmeyi amaçlayan deneyler, 230V'ta çalıştırılan deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı arıza konumlarını ve kaynak empedanslarını dikkate alarak önerilen karakteristiğin cevabını değerlendirmek için tek faz-toprak arızaları oluşturulmuştur. Röle karakteristiğinin performansı, deney düzeneğinin ayrıca bir DÜ birimi içerdiği durumlar dikkate alınarak incelenmiştir. Sonuçlar, teorik olarak inşa edilmiş olan admitans temelli karakteristiğin gerçek bir koruma sistemine uygulanabileceğini kanıtlamıştır. Bununla birlikte deneysel

araştırmalar, farklı tipte hataları, daha yüksek gerilim seviyelerini veya farklı DÜ bağlantı seviyelerini ve türlerini kapsayacak şekilde genişletilebilir.

Standart dışı karakteristik içeren bir başka deneysel ęalıřma [83]'te sunulmuştur. Bu ęalıřmada, farklı katsayılar kullanılarak bir standart karakteristik üzerinden türetilen standart dışı yaklaşımı test etmek için tek-faz-toprak, iki-faz-toprak ve üç-faz-toprak olmak üzere üç farklı arıza türü dikkate alınmıştır. Testler, röle olarak bir CORDIC işlemcisini ve güç sistemini simüle etmek için Electromagnetic Transient Program (EMTP) adlı bir yazılımı içeren bir deney düzeneği kullanılarak geręekleřtirilmiřtir. Tasarlanan röle, 154 kV ve 60 Hz'de ęalıřtırılan iki adet 75 km'lik iletim hattı modeli kullanılarak test edilmiştir. Sonuçlar, *B* katsayısındaki bir artışın rölenin ęalıřma süresinde bir azalma sağladığını göstermiştir.

IEC standart karakteristiğinde farklı sabitler uygulanarak oluşturulan standart dışı röle karakteristiğinin ęalıřması [78]'de doğrulanmıştır. Testler, güç sistemini simüle etmek için kullanılan geręek zamanlı bir dijital simülatör ve Micom P442 dijital röleleri kullanılarak geręekleřtirilmiřtir. Sunulan devre-iği-donanım benzetim sonuçları 0 ile 50 Ω arasında farklı arıza direnęlerini ve aynı zamanda faz ve toprak arızalarının bir kombinasyonunu kapsamaktadır. Ayrıca, %2, %20, %90 ve %98 gibi ęeřitli uzaklıklarda arıza noktaları da dikkate alınmış ve bu sonuçlar dahilinde hat sonlarına doğru röle karakteristiğinin performansında bir bozulma gözlenmiştir. Bunlara ek olarak, yapılan ęalıřmalar sonucunda deney sonuçları ile benzetim sonuçları arasında bir tutarlılık gözlenmiştir. ęalıřma standart dışı karakteristik uygulamasını korumanın biręok yönünden değerlendirmiştir, ancak yine de daha geniş bir ağ şebekede yoğun DÜ bağlantısı altında oluşturulan standart dışı karakteristiğin geręek zamanlı performansının değerlendirilmesi gelecekteki araştırmalar için ilgi ęekici bir konu olabilir.

2.3 Gelecek ęalıřmalar için Öneriler

Sunulan literatür ęalıřmalarına dayanarak, DÜ bağlantısı, Mş işletmesi, dinamik yeniden yapılandırma gibi güç sistemlerindeki değişikliklerden dolayı standart dışı karakteristiklerin kullanılması açısından koruma sistemlerinin yeniden değerlendirilmesi

gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu bölümde ilgili literatürdeki boşluklar tanımlanmış ve gelecekteki çalışmalar için olası fikirler sunulmuştur. Gelecekteki çalışmalarda üzerine emek harcamaya değecek standart dışı karakteristiklere dayalı koruma yaklaşımı ile ilgili ana konular şu şekildedir:

- Karakteristik denklemlerdeki elektriksel parametrelerin standart olanlardan farklı bir şekilde kullanılması, koruma sistemlerinin modern güç sistemlerinin gereksinimlerine uyarlanması için ümit verici bir çözümdür. Bununla birlikte, hemen hemen tüm önerilen yaklaşımlar senaryolara bağlı çözümlerdir; bu nedenle özel parametrelerle hesaplanmaları gerekmektedir. Dolayısıyla, evrensel bir karakteristik tanımlamayı amaçlayan araştırmalara halen ihtiyaç duyulmaktadır.
- Modern güç sistemlerinde koruma sistemlerinin zorlukları ile başa çıkmak için, standartlarda belirtilen karakteristikleri farklı katsayılar ile ya da birden fazla standart karakteristiği birleştirek bir karakteristik elde etme gibi küçük farklılıklar yaratarak kullanmak literatürde detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bununla birlikte, özellikle yoğun DÜ içeren ve dinamik yeniden yapılandırmaya maruz kalan büyük boyutlu güç sistemlerinde yakınsamama riskini ortadan kaldırmak amacıyla her bir katsayı için makul bir aralığın tanımlanması araştırmaya değerdır. Ayrıca bu kategoride önerilen karakteristikler, özelliklere farklı katsayılar verildiğinde röle çiftleri arasında mümkün olduğu kadar sabit CTI değerklerini koruyabilmelidirler. Dahası, bir karakteristik kombinasyonunun bir sonucu olan karakteristiğin dinamik cevabı bağlantı noktası (noktaları) etrafında doğrulanmalıdır. Birden çok karakteristiğin birleştirilmesiyle oluşturulmuş olan bir karakteristiğin bağlantı noktaları civarındaki arıza akımlarına karşı dinamik cevapları doğrulanmalıdır.
- Matematiksel olarak yenilikçi yapıların uygulanması standart dışı karakteristiklerin oluşturulmasında her zaman değerkli bir yaklaşımdır. Bununla birlikte, hem alışılmamış elektriksel parametreleri hem de yeni bir matematiksel yapıyı içeren bir standart dışı karakteristik yaklaşımı tasarlayarak yeni bir bakış açısı getirilebilir.
- CTI'nin rölelerin ana koruma bölgelerinde dağıtım trafosuna gidildikçe görülen çalışma süresi üzerindeki etkisinin en aza indirilmesi, [66]'dakine veya [106]'dakine benzer

yaklaşımlar sergilenerek başarılabilir. Bununla birlikte, [66]'daki yaklaşım geliştirilebilmesi mümkün olan ayrıntılı bir koordinasyon işlemi gerektirirken, [106]'daki yaklaşım ölçülen arıza akım değerleri haricinde başka bir elektriksel parametre (ya da elektriksel parametleri) de içeren bir tablo kullanılarak DÜ birimleri içeren güç sistemi uygulamaları için doğrulanmalıdır.

- Ayrıca, literatürde endüstriyel güç sistemlerinde standart dışı karakteristik kullanımını araştıran yeterli sayıda koruma çalışması bulunmadığını vurgulamak gereklidir. Sonuç olarak, endüstriyel güç sistemlerinde gözlenen özel durumları (örneğin soğuk-yük-ani akımları) göz önüne alarak standart dışı karakteristiklerin tasarlanması hala açık bir konudur.
- Literatürdeki sınırlı sayıdaki deneysel sonuçlar düşünüldüğünde, özellikle modern güç sistemlerinin özel gereksinimlerini ele alırken standart dışı karakteristik uygulanmasına odaklanan bir deneysel araştırma yapılması da öneriler arasında yer almaktadır.

Çizelge 2.3 Standart dışı karakteristiklerin özeti

Standart Dışı Karakteristikler	Ana Özellik	Olumlu Yönler	Olumsuz Yönler
Akım Temelli [55, 56, 132]	Arıza akımı karakteristikteki A parametresini elde etmek için bir değişken olarak kullanılması.	Karakteristik dinamik olarak güncellenmesi; endüstriyel güç sistemleri için kısmi olarak uygun olması.	Belirli durumlarda geçerli olması; her bir durum için güncellenmesini gerektirmesi.
Elektriksel Büyüklükler İçerenler	Gerilim Temelli [10, 58, 59, 60] [61, 62, 63, 64, 65]	Gerilim içeren bir ifade çarpan olarak haberleşme alt yapısına gerek duymayan ve DÜ etkisini azaltan bir koruma yaklaşımı için kullanılması.	Matematiksel ifadelerin karmaşıklığı; gerilim çarpanını kontrol etmek için gereken ekstra parametre; yetersiz sayıda deneysel çalışmalar.
Admitans Temelli [66, 67, 68, 69, 70]	I_f/I_p yerine admitans değeri kullanılır ve TDS değerini içermezler.	Röle çalışma zamanı azaltılması; DÜ etkisine karşı dayanıklı bir yaklaşım olması.	Her bir röle için özel değerlere sahip ek koruma alanlarının gerekli olması; her alandaki CTI değişimine bağlı artan hesap yükü.
Standart Eğrilerin Değiştirilmesi	Standartlardakilerden farklı sabit değerlerinin uygulanması [71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78] [79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86] [87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 134]	Eğrinin genel şeklini korurken A, B ve C parametrelerinin optimizasyonu.	Sabit olmayan CTI; şebeke topolojisinden kaynaklı arıza akımındaki değişimlere bağlı hatalı çalışmaya açık olması; ek hesaplama yükü; sınırlı sayıda deneysel sonuçlar.
Standart eğrilerin kombinasyonu [94, 95, 96] [97, 98, 99]	İki veya daha fazla standart eğrinin birleştirilmesi.	Standartlardan daha az katı eğrilerin elde edilmesi; pratik koordinasyon.	Elde edilen eğrilerin sabitlerin değerlerinin değiştirilmesiyle elde edilenlere kıyasla daha az esnek olması; şebeke topolojisinden kaynaklı arıza akımındaki değişimlere bağlı hatalı çalışmaya açık olması deneysel çalışmaların olmaması.

Çizelge 2.3 Standart dışı karakteristiklerin özeti (Devamı)

Standart Dışı Karakteristikler	Ana Özellik	Olumlu Yönler	Olumsuz Yönler
Matematiksel Yaklaşımlar [100, 101, 102] [103, 104]	[100, 101, 102] Eksponansiyel fonksiyonlardan farklı fonksiyonlar (logaritmik, polinomik, vs.) kullanılarak oluşturulmaları.	Eğrilerde esneklik; standart eğrilere kıyasla daha düşük açma süreleri.	Ağ şebekede veya fazla sayıda DÜ durumlarındaki zorluklar; koordinasyonsuzluk ihtimali; az sayıda olan veya hiç olmayan deneysel çalışmalar.
	[103, 104] Genellikle IEC veya IEEE standart karakteristiklerine dayanması. Tek farklılığın karakteristik eşitliğe fazladan eklenen bir terim olması.	Daha esnek eğriler; İstenen röle çalışma sürelerini elde etmek için kullanışlı olmaları.	Fazla terimin hesaplama yükünü artırması; Yalnızca akım parametresi kullanılarak şebeke topolojisinden kaynaklı değişimlere bağlı etkilerin azaltılamaması; herhangi bir deneysel çalışma bulunmaması.
	[105] İletkenin değişken sıcaklık değerine bağlı bir eğri elde edilmesi.	İzin verilen iletken sıcaklığı aralığında esnek eğriler sağlanması.	Elektiriksel parametrelerin azlığı; deneysel sonuçların olmaması.
Diğer Standart Dışı Yaklaşımlar [105, 106] [107]	[106] Kısmi doğrusal karakteristik inşa etmek için bir tablo kullanılması.	Her bir röle için kendi birincil koruma alanında mümkün olan en az çalışma zamanında işletme sağlanması; tüm koruma aralığı için sabit CTI.	Güç sistemlerindeki dinamik değişimlere karşı değerlendirilmemiş olması; deneysel sonuçlarla desteklenmemiş olması.
	[107] Akım zaman eğrisi olasılıksal bir yaklaşım kullanılarak ayrık biçimde inşa edilmesi.	İletişim altyapısına ihtiyaç duymaması; düşük çalışma süreleri elde edilebilmesi.	Sadece radyal sistemlerde uygulanabilmesi; diğer elektiriksel parametreleri içermemesi; deneysel çalışmalar bulunmaması.

ÖNERİLEN KORUMA YAKLAŞIMI VE KORUMA KOORDİNASYON PROBLEMİNİN BİR OPTİMİZASYON PROBLEMİ OLARAK MODELLENMESİ

3.1 Önerilen Koruma Yaklaşımı

Bu bölümde, yeni nesil güç sistemlerinin ortaya çıkan özelliklerinden kaynaklanan koruma sorunlarına çözüm olabilmesi amacıyla geliştirilen koruma yaklaşımı detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Önerilen koruma yaklaşımı, yeni bir koruma karakteristiği ve yeni bir koruma şeması olmak üzere iki temel parçadan oluşmaktadır.

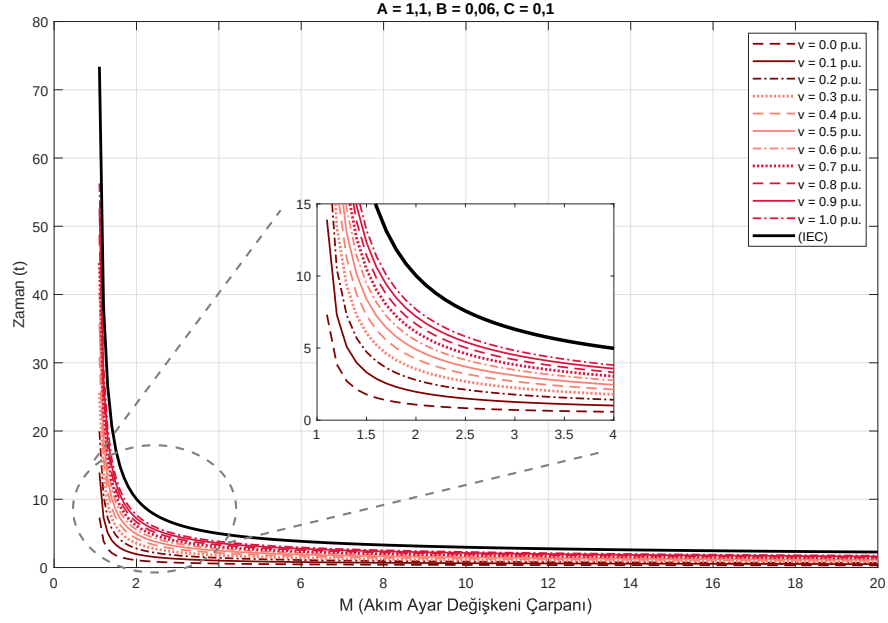
3.1.1 Önerilen Koruma Karakteristiği

DÜ birimlerinin dağıtım sistemlerindeki etkisi, arıza akımlarında meydana gelen değişimler ve bara gerilimlerinde bir artış olarak görülebilmektedir. DÜ birimleri içeren güç sistemlerinde arıza akımları sadece şebekeden değil, aynı zamanda DÜ birimleri tarafında da beslenirler. Bununla birlikte, koruma koordinasyon çalışmaları geleneksel olarak DÜ birimlerinin arıza akımlarına yapmış oldukları katkıların ihmal edilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak, geleneksel koruma stratejisi kullanılarak koordine edilen koruma sistemlerinde standart denklemler sadece arıza akımına bağlı olduğundan, DÜ bağlantısı nedeniyle koordinasyon sorunları gündeme gelebilmektedir. Bu çalışmada, bahsedilen etkiyi ortadan kaldırmak (veya en azından hafifletmek) ve koruma sistemleri için daha güvenilir bir çalışma sağlamak amacıyla standart dışı bir karakteristik geliştirilmiştir. Geliştirilen standart dışı karakteristik denklem (3.1) ile verilmiştir. Denklem (3.1)'de görülebileceği üzere, tasarlanan denklem sadece ölçülen arıza akım

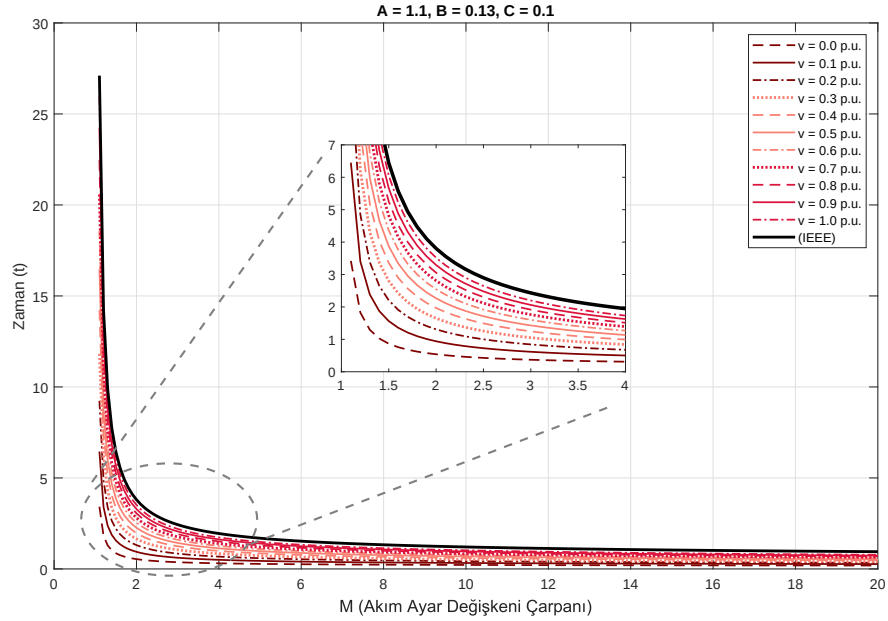
değerini değil aynı zamanda ölçülen gerilim değerini de içermektedir. Önerilen denklem ile geleneksel denklemler arasındaki fark (IEC standart denklemi ve IEEE standart denklemi) gerilim ölçümünün de dikkate alınmasıdır. Ayrıca, ters karakteristiği korurken ölçülen gerilim değeri için logaritmik fonksiyonun kullanılması da geleneksel yöntemlerden farklılık olarak belirtilebilir. Anlatım yalınlığı açısından, bu çalışmanın geri kalan kısmında önerilen denklemin etkinlik derecesini tespit edebilmek adına yapılan grafiksel karşılaştırmalar IEC ve IEEE eğrileriyle yapılırken, benzetim çalışmaları sadece IEC standart karakteristiği dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmalı sonuçların sadece IEC standart karakteristiği kullanılarak verilmesinin nedeni, bu karakteristiğin literatürde en yaygın kullanılan röle karakteristiklerinden bir tanesi olması; bu nedenle literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslanmanın daha somut bir şekilde yapılabilmesine imkan vermesidir.

$$t = \frac{\log(V_{fij} + A)}{M^B - 1} + C \quad (3.1)$$

Denklem (3.1)'de, I_p açma akım noktasındaki asimptotik karakteristik paydadaki ifade olan $M = I_f/I_p$ ile sağlanır. Standart karakteristiklerde sabit olarak ele alınan A, B ve C parametreleri ise koruma koordinasyonunu gerçekleştirmek için ayarlanacak değişkenler olarak düşünülmüştür. Yönlü aşırı akım röleleri bağlı oldukları hat üzerindeki gerilim değerini ölçebilecek donanımına sahip olduğundan, önerilen eşitlikte ayrıca V_{fij} ile sembolize edilmiş bir gerilim parametresi bulunmaktadır. Bu parametre, rölenin bağlı olduğu hattın arıza anındaki birim gerilim değerini yansıtacak şekilde eşitliğe dahil edilmiştir. A parametresinin denklemde kullanılmasının ana nedeni, logaritmik fonksiyon için kesin pozitif bir giriş değeri sağlamaktır. Bu parametrenin kullanılmaması durumunda, logaritma fonksiyonun giriş değeri 1'den küçük değerler alıp negatif çıkış değeri verebilir. Örneğin, rölenin bağlantı uçlarına çok yakın noktalarda meydana gelen arızalarda röle tarafından gerilim değeri sıfır (veya sıfıra oldukça yakın) olarak ölçüleceğinden, bu durumda aslında rölenin çalışması istenirken röle tarafından üretilen negatif değer sonsuz (veya çok büyük) olduğu için çalışmayacaktır. Şekil 3.1'de ve Şekil 3.2'de önerilen karakteristiğin sırasıyla IEC normal ters ve IEEE makul ters standart eğrileriyle

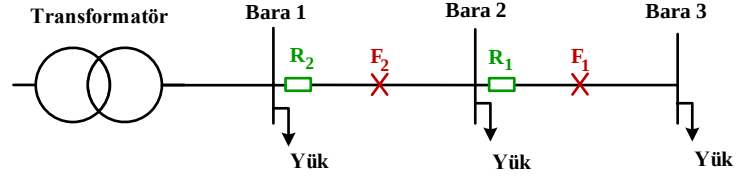


Şekil 3.1 $A = 1,1$, $B = 0,06$ ve $C = 0,1$ değerleri kullanılarak çizdirilen önerilen karakteristiğin $TDS = 1$ değeri için çizdirilen IEC normal ters eğrisiyle kıyaslanması



Şekil 3.2 $A = 1,1$, $B = 0,13$ ve $C = 0,1$ değerleri kullanılarak çizdirilen önerilen karakteristiğin $TDS = 1$ değeri için çizdirilen IEEE makul ters eğrisiyle kıyaslanması

kıyaslanmış halleri görülmektedir. Bu şekillerde görülen IEC normal ters ve IEEE makul ters eğrileri $TDS = 1$ değeri için çizdirilmişken, bu çalışmada sunulan karakteristik sırasıyla $A = 1,1$, $B = 0,06$ ve $C = 0,1$ değerleri ve $A = 1,1$, $B = 0,12$ ve $C = 0,1$ değerleri kullanılarak ve birim gerilim değerlerinin 0 ile 1 arasında 0,1 aralıklarla değiştiği kabul edilerek çizdirilmiştir.

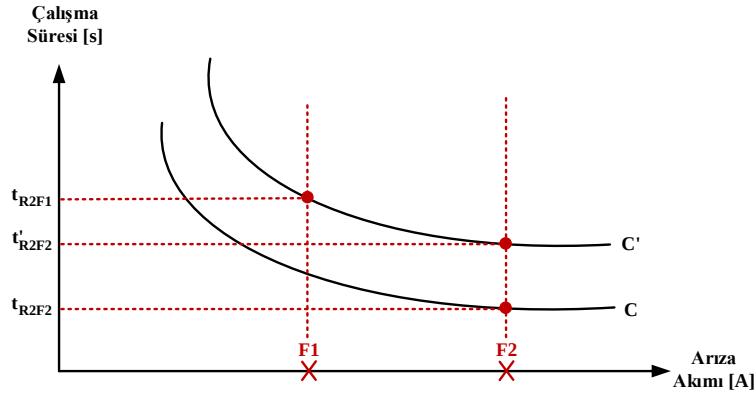


Şekil 3.3 Basit bir radyal hat

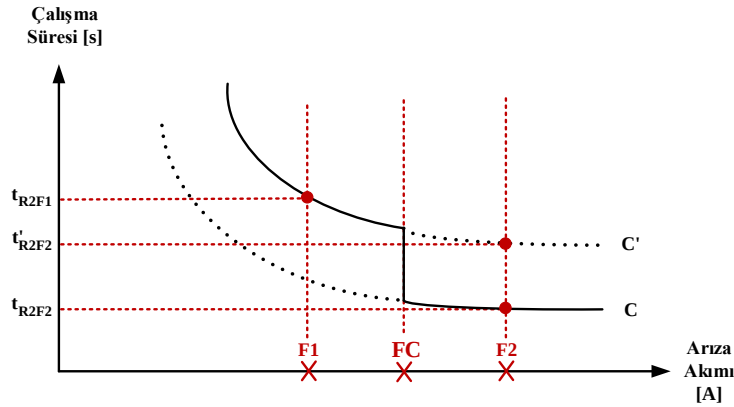
3.1.2 Önerilen Koruma Şeması

Geleneksel koruma yaklaşımında, rölelerin arasındaki koordinasyona bağlı olarak kaynağa doğru yaklaştıkça birincil ve yedek rölelerin çalışma süreleri arasında bırakılması gereken CTI'ya bağlı olarak rölelerin çalışma sürelerinde artışlar gözlenir. Bunun nedeni, her bir rölenin geleneksel koruma anlayışında birincil ve yedek görevlerini sadece bir röle ayar çifti kullanarak gerçekleştirmesidir. Dolayısıyla, rölelerin yedek koruma elemanı olarak görev yaptıkları alanlarda istenen gecikmeyi sağlayabilmek adına birincil koruma alanlarındaki açma sürelerinde de istenmeyen artışlar gerçekleştirilmiş olur. Günümüzdeki koruma rölelerinin mikroişlemci tabanlı olmaları ve programlamaya elverişli yapıları, standart karakteristiklerden bağımsız koruma yaklaşımlarının sergilenmesine zemin oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında bahsedilen bu gerçekler göz önüne alınarak, rölelerin ana koruma alanlarındaki çalışma sürelerini iyileştirmek için çift karakteristikli bir koruma şeması oluşturulmuştur. Önerilen bu çift karakteristikli yaklaşım ayrıca Bölüm 3.1.1'de sunulan koruma karakteristiği ile birleştirilerek kullanılmıştır.

Şekil 3.3'te RL_1 ve RL_2 isimli iki tane rölenin bağlı olduğu basit bir radyal hat görülmektedir. Bu hat göz önüne alındığında, $F2$ arızası durumunda RL_2 'nin birincil röle olarak mümkün olan en kısa sürede işletilmesi gereklidir. RL_2 rölesinin sadece birincil koruma işletiminden sorumlu olduğunu ve Şekil 3.4'te gösterilen K karakteristiğiyle işletildiğini varsayarak, $F2$ arızasına karşı işletme süresinin t_{R2F2} olarak elde edilebilir. Ancak, geleneksel koruma yaklaşımı düşünüldüğünde, RL_2 'nin $F1$ arızası durumunda RL_1 rölesinin çalışmaması riskine karşı yedek röle olarak ayarlanması gerekmektedir. Sonuç olarak, RL_2 rölesi Şekil 3.4'te K' ile gösterilen karakteristik kullanılarak RL_1 rölesiyle koordineli bir şekilde işletilmelidir. Bu durumda, RL_2 rölesinin ayar değerleri RL_1 rölesinin $F1$ arızasına karşı çalışma süresi ve CTI dikkate alınarak hesaplanır. Elde edilen



Şekil 3.4 Geleneksel koruma için uygulanan koruma şeması



Şekil 3.5 Önerilen çift karakteristik koruma şeması

yeni karakteristik, C' , RL_2 rölesinin $F2$ arızasına karşı işletme süresinde artışa neden olur. Bu süre Şekil 3.4'te t'_{R2F2} ile gösterilmiştir.

Bu çalışmada, geleneksel koruma yaklaşımındaki bahsedilen sorunların üstesinden gelmek adına, dijital rölelerin programlanabilir özelliklerinden yola çıkarak çift karakteristikli bir koruma yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda temel amaç, rölelerin iki ayrı karakteristik ile çalıştırılarak koruma koordinasyonunun sağlanmasıdır. Düşünülen şemada çift karakteristikle çalışan bir rölenin, bu karakteristiklerden bir tanesini birincil koruma görevlerini yerine getirmek için kullandığı, diğerini ise yedek koruma görevlerini gerçekleştirmek için kullandığı varsayılmıştır. Burada önemli olan bir nokta, çalışma esnasında bu karakteristikler arasındaki geçişi sağlamak için kritik bir akım değeri (F_c) belirlenmesidir. Tasarlanan çift karakteristikli koruma yaklaşımı Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi RL_2 rölesi K ve K' olmak üzere iki ayrı karakteristiğe sahiptir. RL_2 rölesi önceden belirlenmiş olan F_c değerinden düşük arıza akımlarına karşı (örneğin $F1$ arızasında RL_1 rölesiyle koordinasyonu sağlamak için) yedek koruma karakteristiği

olan K' karakteristiğini kullanırken, F_c 'den daha büyük arıza değerleri için birincil karakteristik olan K karakteristiğini kullanmaktadır. Burada kullanılan F_c değerinin bir nokta için tanımlanmak yerine bir aralık için tanımlanması, arıza esnasında büyüklüğü değişen arıza akımlarının seçici olmayan çalışma durumları yaratmasını önlemek için isabetli bir yaklaşım olabilir.

3.2 Koruma Koordinasyon Probleminin Bir Optimizasyon Problemi Olarak Modellenmesi

Bu bölüm, güç sistemlerinin koruması için kullanılan elemanların koordinasyonunu en iyi şekilde gerçekleştirebilmek adına gereken matematiksel modeli sunmayı amaçlamaktadır. Ek olarak, çalışmada ortaya konulan koruma yaklaşımını değerlendirmek için ele alınan durumlar da bu başlık altında açıklanmıştır. Bu bölümün bir diğer amacı ise, optimizasyon problemi olarak modellenen koruma koordinasyon probleminin çözümü için kullanılan yöntemi detaylandırmaktır.

3.2.1 Problemin Kurulması ve Değerlendirilen Durumlar

Bu çalışmada koruma koordinasyon problemi, ana amacı koordinasyon zaman payı ve röle ayar kısıtlarına uymak koşuluyla sistem içindeki rölelerin toplam çalışma sürelerini en aza indirmek olan bir optimizasyon problemi olarak kullanılmıştır. Bu problemin ana amacı, tek-faz-toprak, iki-faz-toprak, üç-faz-toprak ve faz-faz olmak üzere dört ayrı arıza türü için rölelerin birincil ve yedek çalışma sürelerini azaltacak uygun röle ayar değerlerini bulmaktır. Amaç fonksiyonu şu şekilde ifade edilebilir:

$$\min T = \sum_{i=1}^Y \sum_{j=1}^G \left(t_{ij}^p + \sum_{r=1}^{MR} t_{ij}^{b_{rij}} \right) \quad (3.2)$$

burada

- T , rölelerin toplam çalışma sürelerini,
- Y , i ilgili röle indisi olmak üzere toplam röle sayısını,
- G , j ilgili arıza tipi indisi olmak üzere göz önüne alınan toplam arıza türü sayısını
- MR , her bir birincil röle için gerekli olan toplam yedek röle sayısını

- t_{ij}^p ve t_{ij}^{brj} ise i . rölenin j türünde bir arıza için sırasıyla birincil ve yedek çalışma zamanlarını ifade etmektedir.

Bu çalışmada önerilen denklemin ve koruma şemasının etkinliğini göstermek adına üç ayrı durum oluşturulmuş ve bu durumlara bağlı olarak model içinde farklı kısıtlar değerlendirmeye alınmıştır. Durum 1’de, sistemdeki tüm rölelerin IEC normal ters standart karakteristik ile işletildiği kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak, IEC standart karakteristikte kullanılan I_p ve TDS , optimizasyon değişkenleri olarak düşünülmüştür. Ancak, Durum 2 ve 3’te rölelerin önerilen karakteristik ile işletildikleri varsayılmıştır. Bu durumlarda A , B ve C parametreleri önerilen karakteristikin ayarlanması için kullanılan değişkenler olarak ele alınmıştır. Durum 2 ve 3 arasındaki fark ise, Durum 2’de her bir röle için bir tane A , B ve C kümesi kullanılırken, Durum 3 için her röle başına, rölenin birincil ve yedek çalışma görevleri için kullanılmak üzere iki ayrı A , B ve C kümesi kullanılmasıdır.

Optimizasyon problemlerinin en önemli parçalarından bir tanesi de kısıtlardır. Bu çalışmada ele alınan üç durum için de ortak olarak kullanılan iki tane kısıt vardır. Bu kısıtlardan ilki denklem (3.3) ile verilmiştir ve j türünde bir arıza esnasında yedek rölelerin birincil rölelerden daha önce çalışarak seçiciliği bozmasını engellemek için röle çiftleri arasında gerekli olan CTI’nın bırakılmasını sağlamaktadır. Bu kısıt sayesinde koruma sistemlerinin seçici olarak çalıştırılması gerçekleştirilir. Eşitsizlikte görülen t_{ij}^p , i . rölenin j arıza tipi için birincil çalışma zamanını belirtirken, t_{ij}^{br} yine j arızası için i . röleye yedek röle olarak atanmış olan r . rölenin çalışma zamanını (yani yedek çalışma zamanını) göstermektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde koordinasyon zaman aralığı değerinin 0,2 - 0,5 saniye aralığında değiştiği, röle ve kesici teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak bu değer düşme eğiliminde olduğu görülmektedir. Yine de bu çalışmada optimizasyon problemi çözülürken, sonuçların diğer çalışmalarla kıyaslanabilmesi ve literatürdeki genel yaklaşımla uyumlu olması amaçlarıyla koordinasyon zaman aralığı değeri 0,3 saniye olarak alınmıştır.

Eşitsizlik (3.4) ile I_p ayarı için gerekli olan kısıtlar optimizasyon problemi modeline dahil edilmiştir. Bu eşitsizlik sayesinde röle için seçilecek I_p değerinin, rölenin müsaade edilen en düşük açma akım değeri (I_{pi}^{min}) ile rölenin gördüğü en yüksek yük akımı değerini ($I_{yük_i}^{max}$) göz

önüne alarak bu değerlerden büyük olanından daha büyük olması sağlanır. Aynı zamanda, yine aynı eşitsizlik sayesinde I_p değerinin, rölenin müsaade edilen en yüksek açma akım değeri ($I_{p_i}^{max}$) ile rölenin gördüğü en düşük arıza akım değeri ($I_{ariza_i}^{min}$) değerlendirilerek bu değerlerden düşük olanından daha düşük olması sağlanır. Optimizasyon problemi çözülürken $I_{p_i}^{min}$ ve $I_{p_i}^{max}$ her bir röle için sırasıyla 0 ve 5 [A] olarak alınmıştır.

$$t_{ij}^{br_{ij}} - t_{ij}^p \geq CTI \quad \forall i, j, \{r\} \quad (3.3)$$

$$\max(I_{p_i}^{min}, I_{yük_i}^{max}) \leq I_{p_i} \leq \min(I_{p_i}^{max}, I_{ariza_i}^{min}) \quad (3.4)$$

Durum 1 için kullanılan bir diğer kısıt (3.5) ile verilmiştir. IEC standart karakteristiği ile çalışan rölelerin bir diğer ayar değişkeni olan TDS 'yi sınırlandırmak için kullanılan bu eşitsizlik ile Durum 1 için oluşturulan optimizasyon problemi tamamlanır. TDS değişkeni için alt sınır değeri 0,05 [s] ve üst sınır değeri 1 [s] olarak alınmıştır. Bu değerlerin seçilmesinde yine literatürdeki çalışmalar göz önüne alınmakla birlikte, alt sınırın 0,05 [s] değeri olarak kabul edildiği bütün çalışmalarda görülmüştür. Fakat üst sınır değeri için bazı çalışmalarda 3,2 [s] değeri alınırken, genellikle çözüm yöntemi olarak GA kullanan çalışmaların bu değeri 1 [s] olarak aldığı görülmüştür. TDS üst sınır değerinin azaltılarak çözüm uzayının daraltılması, popülasyon temelli algoritmaların çalışma sürelerini azalttığı gibi bir sonuca yakınsamalarını da kolaylaştırmaktadır. Ek olarak, yüksek TDS değerlerinin rölelere verilmesi röle çalışma sürelerini kabul edilemeyecek düzeylere taşıyabilir. Bu nedenler göz önüne alındığında, literatürde GA ile optimal koruma koordinasyon problemini çözmeyi hedefleyen çalışmalar tarafından TDS değeri için üst limitin 1 [s] olarak alınmasının algoritmanın daha sağlıklı çalışması adına verilmiş bir karar olduğu kanısına varılmıştır.

$$TDS_{i_{min}} \leq TDS_i \leq TDS_{i_{max}} \quad (3.5)$$

Eşitsizlikler (3.6), (3.7) ve (3.8) ile ifade edilen kısıtlar sadece Durum 2 ve 3 için ele alınmıştır. Bu durumlar için, üç ayrı değişken I_p değişkenine ek olarak formülasyona eklenirken TDS değişkeni formülasyondan çıkartılmıştır. Formülasyona eklenen A , B ve C değişkenlerinin alt ve üst değerleri sırasıyla eşitsizlik (3.6), (3.7) ve (3.8) ile

sınırlandırılmıştır. Bu sınırlar eklendikten sonra Durum 2 için oluşturulan formülasyon tamamlanmıştır.

$$A_{i_{min}} \leq A_i \leq A_{i_{max}} \quad (3.6)$$

$$B_{i_{min}} \leq B_i \leq B_{i_{max}} \quad (3.7)$$

$$C_{i_{min}} \leq C_i \leq C_{i_{max}} \quad (3.8)$$

Durum 3'te ele alınan çift karakteristik yaklaşımını optimal koruma koordinasyonunda yansıtabilmek için üç tane daha kısıt eklenerek problem formülizasyonu düzenlenmiştir. Eşitsizlikler (3.9), (3.10) ve (3.11) ile oluşturulan kısıtlar, ikinci karakteristiği ayarlamak için kullanılan değişkenleri sınırlandırmak adına sadece bu durumda kullanılmıştır. Buradaki ikinci karakteristiğin rölelerin yedek çalışma görevlerini gerçekleştirmek için kullanıldığının altı çizilmelidir. Ek kısıtlar şu şekildedir:

$$A_{b_{i_{min}}} \leq A_{b_i} \leq A_{b_{i_{max}}} \quad (3.9)$$

$$B_{b_{i_{min}}} \leq B_{b_i} \leq B_{b_{i_{max}}} \quad (3.10)$$

$$C_{b_{i_{min}}} \leq C_{b_i} \leq C_{b_{i_{max}}} \quad (3.11)$$

A , B ve C değişkenleri için alt ve üst sınır değerler oluşturulurken standart eğri ile uyumlu bir karakteristik izlenilmesine dikkat edilmiştir. Bu nedenle, standart eğrinin alt ve üst değerleriyle mümkün olduğu kadar yakın karakteristikler yansıtılabilmesi amacıyla A , B ve C değişkenlerinin alt sınır değerleri sırasıyla 1, 0 ve 0 olarak belirlenirken, üst sınır değerleri sırasıyla 1,25, 1 ve 0,5 olarak belirlenmiştir.

3.2.2 Çözüm Yöntemi

Bu alt başlıkta, kurulan optimizasyon problemini çözmek için kullanılan yöntemin temelleri ve probleme uygulanış şekli hakkında açıklamalara yer verilmektedir. Bu çalışmada göz önüne alınan durumlar için oluşturulan optimizasyon problemlerini çözmek amacıyla GA yöntemi kullanılmıştır. GA, doğrusal olmayan optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan ve birçok farklı disiplinde kabul görmüş popülasyon temelli çözüm

yöntemlerinden biridir. Bu nedenle, hem Durum 1’de kullanılan IEC normal ters standart karakteristiğinin hem de Durum 2 ve 3’te kullanılan ve bu çalışmada ortaya atılmış olan karakteristiğin doğrusal olmayan yapısından dolayı çözüm yöntemi olarak GA kullanılmıştır.

3.2.2.1 Genetik Algoritma Hakkında Temel Bilgiler

GA popülasyon temelli bir arama algoritmasıdır. GA tüm çözüm uzayını değerlendirmek yerine bu uzay içinden bir örnek teşkil edecek şekilde bir çözüm kümesini rastgele oluşturur. Bu çözüm kümesi popülasyon olarak isimlendirilir. Popülasyonlar bireylerden (kromozomlardan) oluşurlar ve bir çözüm vektörü $x \in X$ bir birey olarak adlandırılır. Bireyler, ayrık birimler olan genlerden yapılmışlardır. Oluşturulan popülasyonun, ilk olarak Charles Darwin tarafından Türlerin Kökeni isimli çalışmada ortaya atılan ilkelere dayalı bir biçimde, nesiller boyunca evrilerek daha iyi bir noktaya doğru yakınsaması beklenir [135].

GA doğada gözlenen ve bir insan yaşamına kıyasla çok uzun bir süreç olan evrim sürecinin kısa bir versiyonunu taklit etmeyi amaçlar. Bu mantığa göre, doğadaki türlerin içindeki bireylerden çevre koşulları ile uyumlu olanlar, genlerini bir sonraki nesle aktarmak açısından popülasyonun geri kalanına göre daha avantajlıdır [136]. Dolayısıyla, genlerinde doğru birleşimi taşıyan türlerin kendi popülasyonları içinde baskın hale gelmeleri beklenir. GA uygulamalarında ise bireylerin çevreleriyle olan uyumları bir uyumluluk fonksiyonu yardımıyla ölçülür. Üstün birey kümesinin kendi içinde çiftleşerek çevreyle uyumlu genlere (uyumluluk seviyesinin bir önceki bireylere göre daha da artması beklenerek) sahip yeni bireyler meydana getirmesi beklenmektedir. İlerleyen evrim sürecinde popülasyon içinde rastgele değişimler de meydana gelebilmektedir. Bu değişimler mutasyon olarak isimlendirilirler ve eğer bu değişimler hayatta kalmak için olumlu bir etki yapıyorlarsa eski bireylerden yeni bireyler evrilebilir. Mutasyon aynı zamanda, ilk popülasyondaki gen değişimlerinin sadece eşleşmelere bağlı olmamasına bir alternatiftir. Başarısız değişimler ise doğal seçim tarafından elenirler ve uzun vadede popülasyonun içinde gözlenmeleri beklenmez [137].

GA, var olan çözümlerden (bireylerden) yeni çözümler üretmek için üç tane işlem kullanır:

- Seçim,
- Çaprazlama,
- Mutasyon.

Seçim İşlemi

Seçim işlemi, bir sonraki nesile aktarılabacak bireylerin seçilmesini sağlar. Bu seçim, bireylerin uyumluluk değerlerine göre gerçekleştirilir. Uyumluluk değerleri yüksek olan bireylerin bir sonraki nesile genlerini aktarma ihtimalleri daha yüksek, uyumluluk değerleri az olanların ise daha düşük olacak şekilde bu seçim işlemi şekillendirilir. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta, seçim yapılırken kesin bir yaklaşımdan ziyade ihtimale dayalı bir yaklaşımın sergilenmesidir. Bu nedenle, bir bireyin her ne kadar uyumluluk değeri düşük olsa da genlerini bir sonraki nesile aktarmak için (az da olsa) bir şansı bulunmaktadır. Bununla birlikte, seçim işlemi sayesinde genellikle "en güçlülerin hayatta kalması" sağlanır. Seçim işleminin girişi, bir önceki popülasyonken, çıktı olarak girişteki popülasyondan seçilmiş ve eşleşmeye hazır bireylerin olduğu bir küme verir. Bu küme literatürde eşleşme havuzu olarak da adlandırılmaktadır [138].

Bu çalışmada seçim işleminin uygulanması için rulet tekeri tekniği kullanılmıştır. Rulet tekeri tekniğinde $s \in [a, b]$ olmak üzere rastgele bir tam sayı üretilir. Bu $[a, b]$ aralığı ise bireylerin bir sonraki nesile genlerini aktarma olasılıklarıyla doğru orantılı olarak bireylere dağıtılır. Bir bireyin bir sonraki nesile genlerini aktarma olasılığı, popülasyon içerisindeki bireylerin uyumluluk değerleri toplamının ilgili bireyin uyumluluk değerine bölünmesiyle gerçekleştirilir. Rastgele üretilen sayı hangi bireyin aralığına denk gelirse o birey bir sonraki nesile aktarılabacak üzere seçilir ve bu işlem eşleşme havuzunun büyüklüğü popülasyon büyüklüğüne eşitleninceye kadar tekrar edilir. Bu teknik rulet oyununda atılan topun çemberin çevresinde belirli bir yol (çemberin çevresi bir doğru olarak ifade edilir) katettikten sonra bir sayının aralığına denk gelmesine benzediği için rulet tekeri şeklinde isimlendirilir [139].

Çaprazlama İşlemi

Çaprazlama işlemi, seçim işlemi ile elde edilen eşleşme havuzunu giriş olarak alır ve bir sonraki nesili oluşturacak bireylerin gen dizilimini çok büyük bir oranda belirler. Bu operatör eşleşme havuzundan iki tane birey seçip eşleştirir. Çaprazlama uygulanacak genlerin aynı u uzunluğuna sahip oldukları düşünülürse, $[1, u - 1]$ arasında rastgele bir g sayısı üretilip çaprazlamanın bu gen temel alınarak gerçekleştirilmesi gerekir [140]. Bir başka deyişle, bireylerin $[1, g]$ arasındaki genleri korunurken $[g + 1, u]$ arasındaki genleri bireyler arasında takas edilir. Bu şekilde iki tane yeni birey oluşturulur. Çaprazlama işlemi her iterasyonda popülasyon sayısının yarısı kadar gerçekleştirilir.

Bu çalışmada, çaprazlama işlemi için bireyler eşleşme havuzundan rastgele olarak seçilmişlerdir. Ayrıca, çaprazlama yapılacak olan geni belirleyen sayı da rastgele olarak belirlenmiştir. Çaprazlama gerçekleşme ihtimali ise 1,0 olarak alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan çaprazlama işlemi, klasik GA yönteminde olduğu gibi tek noktadan çalışan bir işlemdir. Bu işlem iki veya daha noktadan çaprazlama yapabilecek şekilde düzenlenebilir [141]. Daha fazla noktadan çaprazlama yapmak yüzey arama kalitesini yükseltirken hesaplama yükünü de arttıracığından, GA'nın performansı olumsuz yönde etkilenmektedir.

Mutasyon İşlemi

Mutasyon işlemi bireylerin genlerinde bir değişime neden olur. Seçim ve çaprazlama işlemleri birey seviyesinde gerçekleştirilirlerken, mutasyon işlemi gen seviyesinde uygulanır. GA uygulamalarında mutasyon oranı/ihtimali çok küçüktür. Bu nedenle, mutasyon işlemi tarafından üretilen yeni kromozom orijinal kromozomdan çok da farklı olmayacaktır. Dolayısıyla, diğer işlemlerle kıyaslandığında arka planda kalan bir işlem olarak görülebilir. Yine de mutasyon işleminin GA'da oynadığı rol oldukça önemlidir. Çünkü daha önce değinildiği gibi, seçim ve çaprazlama işlemleri uygulandıkça popülasyondaki bireylerin birbirlerine benzemeleri ve popülasyonun optimum noktaya doğru yakınsaması beklenmektedir. Fakat, GA başlangıç popülasyonunu rastgele oluşturduğu için, bu popülasyondaki çözümlerin içindeki bilgiler kullanılarak çözüm

uzayının optimum noktasına erişilmesi garanti edilemez, veya başka bir deyişle algoritma yerel bir optimum noktaya takılabilir. Bununla ilişkili olarak bir başka konu ise, başlangıç popülasyonundaki çözümler (veya daha sonraki iterasyonlarda elde edilmiş çözümler) işe yarar bilgiler içerse dahi eğer sadece seçim ve çaprazlama operatörleri uygulanırsa, önceki iterasyonlarda elde edilmiş iyi bireylere ait verilerin yitirilme olasılığı az da olsa vardır ve bu veriler yitirildiğinde popülasyon optimal noktadan başka bir noktaya doğru yakınsayabilir. Böyle bir durumun önüne geçmek adına kullanılan mutasyon işlemi ile popülasyonun tekrar çeşitlilik kazanması ve aramanın yerel optimum noktadan kurtulmasının olasılığı arttırılmış olur [142]. Mutasyon işleminin gerçekleştirilmesi, genel olarak çok küçük bir ihtimal olarak kullanıcılar tarafından ayarlanır. İkili sistemde kodlanmış bir birey göz önüne alınırsa, bu ihtimal gerçekleştiğinde mutasyon işleminin rastgele bir gen seçmesi ve genin durumunu 1 ise 0 ya da tam tersi yapması beklenir. Bu çalışmada mutasyon değeri 0,05 olarak alınmıştır.

3.2.2.2 Genetik Algoritma: Üstünlükler ve Kısıtlamalar

Arama algoritmaları; hesaplama temelli, tek tek sayma ve rastgele arama algoritmaları olacak şekilde üç başlık altında incelenebilir. Hesaplama temelli algoritmalar arama işlemini yerel olarak gerçekleştirirler. Bu nedenle, başlangıç noktalarına bağlı olarak yerel optimum noktalara takılma riskleri bulunmaktadır. Her ne kadar bu sorun farklı noktalardan arama işlemine başlanarak çözülebilse de, arama işlemi için türevlenebilir fonksiyonlar gereklidir. Bu özelliklerinden dolayı hesaplama temelli algoritmalar sürekli ve türevlenebilir fonksiyonlar içermeyen modeller için uygun değildirler [137]. Bir diğer arama yöntemi olan tek tek sayma yöntemi, ele alınan çözüm uzayındaki her bir noktayı değerlendirerek en uygun olan çözümü tespit etmeyi hedeflemektedir. Bu yöntem ilk bakışta oldukça basit ve makul görünse de, birçok problemdeki çözüm uzayının tek tek ele alınması etkin bir yaklaşım sunmamakta ve problemin boyutları büyüdükçe bu durum daha da büyük bir sorun haline gelmektedir [143]. GA, hesaplama temelli yöntemler gibi arama yapılan fonksiyonun sürekli ve türevlenebilir olmasına ihtiyaç duymadığı gibi birden çok noktadan da arama yapabilmesi ile bu tür yöntemlerden ayrılır. GA'nın optimal çözüme bakış açısı, eldeki en iyi çözümün popülasyon içerisindeki diğer çözümlere karşı

ne kadar iyi olduğunun kıyaslanması şeklindedir [144]. Çözüm uzayının çok büyük olduğu; bu nedenle tüm uzayın taranmasının zor olduğu (uygulama açısından anlamsız olduğu) problemlerin çözülmesi için GA kullanılabilir [145]. Bu gibi problemlerde, GA çözüm uzayının bütünüyle değil sadece bir bölümünden aldığı örnekler ile çalıştığından dolayı istenen nitelikte bir sonuç görece hızlı bir şekilde elde edilebilir [146]. Ayrıca, GA'nın kullanılması için amaç fonksiyonunun doğrusallaştırılması da gerekli değildir [147]. Bunun yanında, GA ayrık değişkenlerin kullanılmasına olanak sağlar ve bu da elektrik mühendisliğindeki bazı uygulamaların matematiksel olarak ifadesini kolaylaştırır. Örneğin transformatörlerin kademe ayarı, anahtarlanabilir kapasite veya endüktans gibi değişkenlerin ayrık olarak modellenmesi algoritma açısından sorun yaratmaz [148].

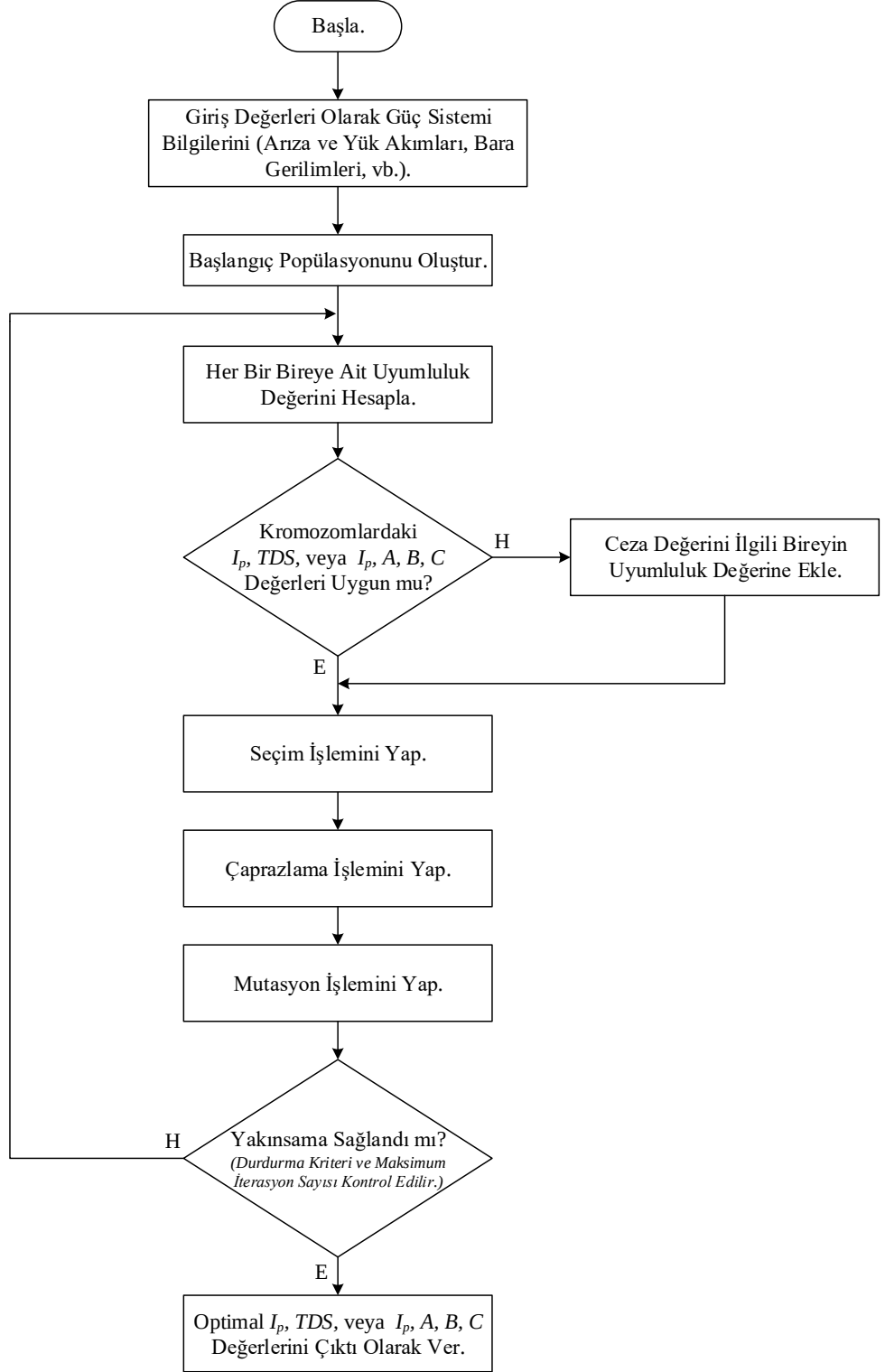
GA'nın olumsuz yönlerinden bir tanesi, çözüm için gereken sürenin algoritmaya eklenen her yeni değişken için eksponansiyel olarak artmasıdır [147]. Ayrıca, GA arama yüzeyiyle doğrudan bir ilişki içinde olmadıkları için arama yüzeyinin olası avantajlarından da yararlanamazlar ve hesaplama temelli arama algoritmalarına göre daha uzun sürede bir çözüme ulaşabilirler [149]. GA global optimum noktaya "yaklaşık" çözümleri kabul edilebilir sürelerde verirken, global optimum noktanın bulunabilmesi garanti edilemez [141]. Bunlara ek olarak, GA herhangi bir hafızaya sahip olmadığı ve rastlantısallık üzerine kurulu olduğu için popülasyon içinde var olan bir bilginin ilerleyen popülasyonlarda kaybedilebilme riski vardır.

3.2.2.3 Genetik Algoritmanın Röle Koordinasyon Problemine Uygulanması

Optimal röle koordinasyonu için uygulanan GA'nın çalışma mantığı Şekil 3.6'da verilen akış şeması üzerinden açıklanmıştır. Daha sade bir anlatım için akış şeması üzerinden yapılan açıklamalar Durum 1 üzerinden yapılmıştır. Algoritma, giriş verisi olarak güç sistemi bilgilerini (arıza ve yük akımları, gerilim değerleri, vb.) almaktadır. Daha sonra sistemde yer alan her bir röle için bir tane I_p ve bir tane TDS barındıracak şekilde bireyler rastgele olarak oluşturulmuştur. Ardından, bu rastgele olarak oluşturulan popülasyondaki her bir bireyin uyumluluk değeri hesaplanmıştır. Bu uyumluluk değerini hesaplamak için

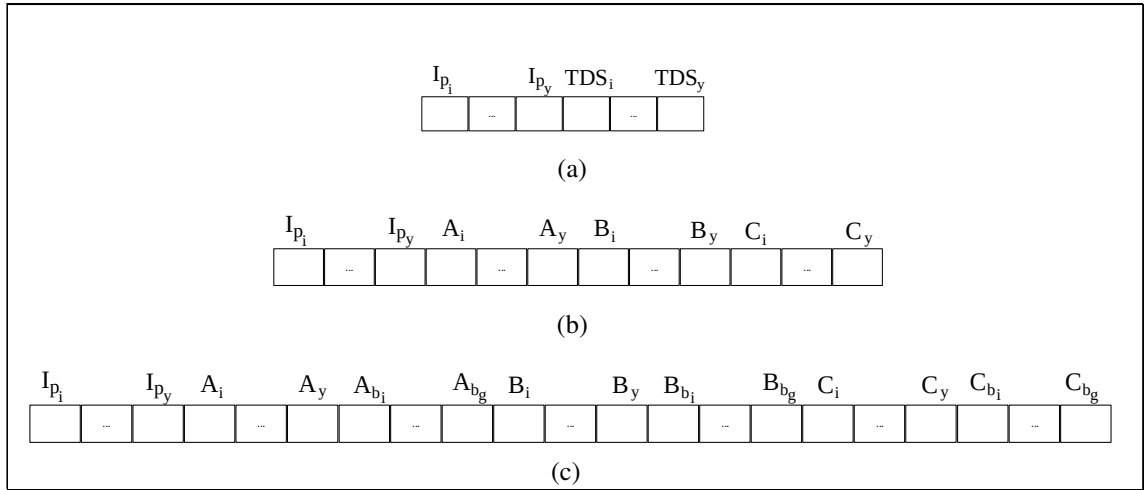
uyumluluk fonksiyonu olarak amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Bu işlemten sonra, popülasyon içinde kısıtları aşan bireyler tespit edilmiş ve bir sonraki nesile bu istenmeyen bireylerin aktarılması ihtimalini düşürmek adına uyumluluk değerlerini azaltacak biçimde bir ceza değeri eklenmiştir. Bu ceza değeri ile aşılacak kısıt sayısı arasındaki ilişki için doğrusal bir fonksiyon kullanılmıştır. Daha sonra elde edilen son uyumluluk değerlerine bağlı olarak rulet tekeri tekniği kullanılmış ve bir sonraki nesile aktarılacak olan bireyler seçim işlemi yardımıyla eski popülasyon içinden seçilmiştir. Ardından, çaprazlama işlemi ile elde edilen yeni nesil içinden ikişer ikişer seçilen bireyler birbiriyle eşleştirilmiş ve aralarında gen alışverişi yapılmıştır. Böylelikle, eski popülasyon içinden seçilen iki tane bireyden (ebeveyn bireyler) iki tane yeni birey oluşturularak yeni bir popülasyon elde edilmiştir. Çaprazlama işleminin ardından mutasyon işlemi gen seviyesinde olacak şekilde işletilmiştir. Bu şekilde her bir çevrimde daha iyi bir nesil elde etmek adına işlem, kullanıcı tarafından girilen bir iterasyon sayısına ulaşıncaya veya elde edilen eski ve yeni popülasyon arasındaki fark yine kullanıcı tarafından girilen bir değerden küçük oluncaya ve bu kullanıcının belirlediği bir iterasyon sayısı kadar tekrar edinceye dek sürdürülmüştür. Girilen bu durdurma kriterlerinden herhangi birinin karşılanması durumunda algoritma çalışmayı bitirip elde ettiği son popülasyonu (en uygun çözümün olduğu popülasyonu) çıktı olarak vermektedir.

Bu çalışmada GA, MATLAB yazılımı kullanılarak kodlanmıştır. GA'nın bulundurduğu seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan olduğu gibi programlanmışken, uyumluluk fonksiyonu röle koordinasyon problemini yansıtacak şekilde değiştirilmiştir. Burada, uyumluluk fonksiyonu olarak rölenin çalıştırıldıkları karakteristik denklemler kullanılmış ve ilgili ayar çiftleri için çalışma zamanları hesaplanmıştır. Ayrıca, GA ikili kodlama yöntemine göre kodlanmış olup popülasyon içindeki tüm bireyler gerçek değerlerinin virgülden sonra iki hanesini yansıtacak şekilde ikili kodlarla ifade edilmiştir. Durum 2 ve 3 için algoritmanın çalışma mantığı genel anlamda aynıdır. Sadece Durum 2 ve 3'te kullanılan amaç fonksiyonu ve buna bağlı kullanılan değişkenlerin farklı olmaları nedeniyle algoritmadaki ilgili detaylar değiştirilerek çalıştırılmıştır.



Şekil 3.6 Genetik Algoritma akış şeması

Değerlendirilen her üç farklı durumda da farklı sayıda değişkenler düşünüldüğü için farklı kromozom yapıları kullanılmıştır. Durum 1’de kullanılan kromozom yapısı Şekil 3.7a’da görülmektedir. Bu şekilden görüldüğü üzere, röle başına iki farklı değişken vardır ve her bir kromozom toplam 32 tane değişkene ait bilgiyi taşımaktadır. Durum 2 için röle



Şekil 3.7 Kromozom yapılarının gösterimi (a) Durum 1’de kullanılan kromozom yapısı, (b) Durum 2’de kullanılan kromozom yapısı, (c) Durum 3’te kullanılan kromozom yapısı

başına kullanılan değişken sayısı dörde yükselmiştir; bu nedenle bu durumda daha büyük bir kromozom yapısı kullanılmıştır. Şekil 3.7b’de Durum 2 için kullanılan kromozom yapısı görülebilmektedir. Bu yapıda bir tane kromozom, röle koordinasyonunun en uygun şekilde sağlanması için çalışmada önerilen karakteristiğin ayarlanması adına gereken 64 değişkene ait veriyi taşımaktadır. Ele alınan son durum için kullanılan kromozom yapısı ise Şekil 3.7c’de sunulmuştur. Bu durumda, röleler çalıştırılırken çift karakteristik kullanıldığından röle başına değişken sayısı yediye yükselmiştir. Ancak, Durum 2’deki kromozom yapısına sadece 33 tane değişken eklenmiştir. Bunun nedeni ise, değerlendirilen sistem içindeki bazı rölelerin yedek röle olarak görev yapmaması; bu nedenle sadece bir tane karakteristikle işletilmelerinin yeterli olmasıdır. Yani bu durumda, sadece 11 tane röle yedek röle olarak görev yapmakta; bu nedenle yedek röle eğrilerini oluşturmak için ikinci bir A , B ve C ayar değeri kümesine ihtiyaç duymaktadırlar. Burada ayrıca belirtilmesi gereken nokta, ele alınan tüm durumlarda I_p değişkeni sayısında herhangi bir değişim olmamasıdır. Rölenin iki eğrisinin de I_p noktasında asimptotik davranması gerekliliği bu durumun açıklaması olarak verilebilir. Değinilmesi gereken başka bir nokta ise, Şekil 3.7c’deki alt indis g ’nin toplam yedek röle sayısını belirttiğidir.

GA uygulanırken popülasyon büyüklüğü on katı kuralına göre belirlenmiştir [150]. Böylece, popülasyon büyüklüğü Durum 1 için 10000, Durum 2 ve 3 için ise 40000 olacak şekilde seçilmiştir. Ayrıca, başlangıç popülasyonu her bir durum için episodik bir yaklaşım sergilenerek oluşturulmuştur. Bu doğrultuda, algoritma çalıştırıldığında rastgele bir sayı üretilir ve eğer bu sayı değişkenler için belirlenen sınırların dışındaysa dikkate alınmaz.

Bunun yerine, sınırlar dahilinde başka bir değişken değeri elde edilinceye kadar yeni bir sayı üretilir.

BÖLÜM 4

BENZETİM SONUÇLARI

Bu bölümde, çalışmada sunulan koruma yaklaşımını denemek için kullanılan test sistemi ve yine önerilen koruma yaklaşımının DÜ birimlerinin mevcut olduğu durumlardaki etkinliğini sınamak için bu test sistemi üzerinde oluşturulan senaryolar açıklanmıştır. Daha sonra, önerilen koruma karakteristiği ve koruma şemasının test sistemi üzerinde oluşturulan senaryolar dikkate alınarak denenmesine ait sonuçlar sunulmuştur. Bu sonuçlar, koruma koordinasyon probleminin bir optimizasyon problemi olarak formülize edilmesi ve bu problemin GA kullanılarak çözülmesi ile elde edilmiştir.

4.1 Test Sistemi ve Senaryolar

Geliştirilen standart dışı karakteristik ve koruma yaklaşımı, IEEE 14 baralı sistem kullanılarak test edilmiştir. IEEE 14 baralı sistemin tek hat şeması Şekil 4.1’de verilmiştir [151]. Bu sistemde toplam beş tane senkron generatör bulunmaktadır. Bu generatörlerden iki tanesi aktif ve reaktif güç ihtiyacını karşılamak için 1 ve 2 numaralı baralardan sisteme bağlanmışlardır. Geri kalan üç tanesi ise reaktif güç kompanzasyonu yapmak adına 3, 6 ve 8 numaralı baralara bağlanarak senkron kondenser olarak çalıştırılmaktadırlar. Sistem farklı gerilim seviyelerinde işletilen iki kısımdan oluşmaktadır ve bu iki kısım birbirlerine iki tane 60-MVA 132-kV/33-kV’luk transformatör ve bir tane üç sargılı transformatör ile bağlanmıştır. Sistemde 6, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 numaralı baraların olduğu bölüm 33 kV, üreteçlerin olduğu 1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı baraların olduğu kısım ise 132 kV nominal gerilime sahiptir. Ayrıca sistemde 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14 numaralı baralara şekilde gösterildiği gibi yükler bağlanmıştır. Güç sisteminin daha düşük gerilimli kısmında, L1’den L8’e kadar isimlendirilmiş olan dağıtım hatları yer

Çizelge 4.1 Akım transformatörlerinin dönüştürme oranları

Röle İsmi	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
Akım Tr. Dön. Oranı	400/5	100/5	200/5	300/5	100/5	300/5	200/5	100/5
Röle İsmi	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16
Akım Tr. Dön. Oranı	400/5	300/5	100/5	300/5	300/5	200/5	400/5	400/5

gerçekleştirilmiştir. Fakat, bazı birincil rölelerin orta gerilim seviyesinin haricinde yüksek gerilim tarafından da yedeklenmesini gerektiren durumlar için yedek röleler atanmamıştır. Bu durumun nedeni, bahsi geçen birincil rölelere yedek rölelerin atanması ve bu yedek rölelerin olası bir arıza durumunda çalışması halinde bile arızaların yüksek gerilim kısmına ait bağlantı noktasından beslenmesinin mümkün olmasıdır. Örneğin, L6 hattındaki bir arıza için R12 rölesi birincil röle olarak görev yaparken R10'nun bu arıza için yedek röle olarak çalışması beklenmektedir. Aynı şekilde, hattın diğer ucunda R13 rölesi aynı arıza için birincil röle olarak atanırken R15 rölesi ise yedek röle olarak atanacaktır. Ancak, L1 hattındaki bir arıza için R4 rölesi R2 rölesi ile yedeklenirken hattın diğer ucunda sadece R1 rölesi bu arıza için çalıştırılmaktadır. R1'in tek röle olarak kullanılmasının sebebi, R1 rölesi L1 hattındaki bir arıza için herhangi bir sebepten dolayı çalışmadığı zamanda R5 veya R14 röleleriyle yedeklense ve bu röleler başarılı bir şekilde çalışsa dahi arızanın 6 numaralı baradan beslenmeye devam etmesidir. Güç sistemlerinde koruma uygulamaları çok büyük oranda ele alınan güç sistemine dayandığı için, bu çalışmadaki koruma sistemi tasarımında sergilenen yaklaşım farklı güç sistemleri için tekrar gözden geçirilmelidir. Bu nedenle bu çalışmanın nihai amacı olarak, ortaya konan koruma şemasını ve standart dışı karakteristiğini literatürde geniş yer bulmuş bir test sistemi üzerinde sınamak amacıyla temel gereksinimleri karşılayan ve mümkün olduğu kadar sade bir koruma sisteminin tasarımı üzerine yoğunlaşmıştır.

Farklı noktalardan ve farklı güçlerdeki DÜ birimlerinin sisteme bağlanması durumunda röle koordinasyonu üzerindeki etkisinin gözlenebilmesi adına toplam 15 farklı senaryo üretilmiştir. Çizelge 4.2'de üretilen bu senaryoların detayları görülmektedir. Örneğin Senaryo 2 3,3 MVA'lık bir DÜ biriminin 10 numaralı baraya bağlanmasını ifade ederken, Senaryo 4 ise 3,3 MVA'lık özdeş DÜ birimlerinin 10, 11 ve 12 numaralı baralardan

Çizelge 4.2 Benzetim çalışmalarında değerlendirilen senaryolar

Senaryolar	Bağlantı Barası(ları)	DÜ Güçleri [MVA]
1	-	-
2	10	3,3
3	10, 11	3,3*
4	10, 11, 12	3,3*
5	10, 11, 12, 13	3,3*
6	10, 11, 12, 13, 14	3,3*
7	11	3,3
8	11	5,5
9	11	9,9
10	13	3,3
11	13	5,5
12	13	9,9
13	14	3,3
14	14	5,5
15	14	9,9

bağlanmasını göstermektedir. Burada kullanılan “*” işareti, 3, 4, 5 ve 6 numaralı senaryolarda sisteme bağlanan DÜ birimlerinin özdeş olduğunu belirtir. Sisteme bağlanan DÜ birimlerinin hepsi 480V çıkış gerilimi seviyesinde enerji üretebilen %9,67’lik bir geçici reaktans değerine sahip senkron generatör ile çalışmaktadır. Ayrıca, DÜ birimlerinin sistemdeki baralara bağlantısını sağlayan yükseltici transformatörlerin geçici reaktansı %5’tir.

4.2 Sonuçlar ve Tartışma

Bölüm 3.2’de oluşturulan optimizasyon problemi, IEC standart karakteristiği ve önerilen koruma karakteristiğini dikkate alarak çözülmüştür. Burada, koruma literatüründe geniş olarak uygulanan IEC normal standart karakteristiği ($A = 0,14$ ve $B = 0,02$) değerleri ile sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek adına kullanılmıştır. Çizelge 4.3 GA yöntemi ile hesaplanmış olan yönlü aşırı akım rölelerine ait ayar değerlerini özetlemektedir. Çizelge 4.3’teki Durum 1, IEC standart karakteristiğine ait I_p ve TDS değişkenlerinin optimizasyon probleminin çözümü sonucunda hesaplanan değerlerini göstermektedir.

Çizelge 4.3 Genetik Algortima kullanılarak hesaplanan röle ayar değerleri

Durum		1		2				3						
Değişken		$I_p(A)$	TDS	$I_p(A)$	A	B	C	$I_p(A)$	A	A_b	B	B_b	C	C_b
Röle İsmi	R1	3,48	0,72	3,66	1,07	0,11	0,31	1,61	1,02	1,03	0,9	0,17	0,05	0,33
	R2	2,21	0,06	4,20	1,01	0,75	0,03	3,53	1,08		0,64		0,04	
	R3	2,48	0,30	1,76	1,03	0,06	0,02	0,95	1,03	1,01	0,91	0,06	0,34	0,00
	R4	1,35	0,27	2,83	1,04	0,81	0,36	3,11	1,09	1,02	0,88	0,44	0,05	0,46
	R5	1,33	0,09	0,33	1,01	0,61	0,12	0,66	1,03		0,81		0,12	
	R6	2,06	0,29	2,77	1,00	0,39	0,40	1,69	1,07	1,03	0,29	0,46	0,25	0,43
	R7	2,79	0,92	0,58	1,08	0,12	0,34	0,59	1,04	1,01	0,43	0,09	0,02	0,16
	R8	1,96	0,22	1,71	1,04	0,54	0,13	0,69	1,00		0,62		0,08	
	R9	4,6	0,9	2,19	1,02	0,07	0,29	1,68	1,07	1,07	0,71	0,20	0,25	0,44
	R10	3,64	0,84	3,00	1,06	0,08	0,38	3,61	1,02	1,10	0,92	0,76	0,08	0,45
	R11	0,26	0,83	2,86	1,06	0,45	0,13	2,17	1,06		0,96		0,32	
	R12	3,93	0,63	2,74	1,02	0,15	0,13	1,11	1,01	1,02	0,17	0,11	0,03	0,48
	R13	3,68	0,59	3,69	1,09	0,46	0,40	4,59	1,03	1,05	0,50	0,11	0,09	0,40
	R14	1,82	0,25	1,78	1,02	0,93	0,14	1,15	1,09		0,64		0,06	
	R15	3,23	0,95	2,92	1,07	0,21	0,48	4,55	1,08	1,04	0,48	0,14	0,13	0,30
	R16	4,83	0,32	3,10	1,01	0,12	0,29	3,62	1,02	1,00	0,76	0,15	0,19	0,33

Çizelge 4.3'teki Durum 2 ise, rölelerin sadece önerilen karakteristikle çalıştırılması düşünülerek I_p , A , B ve C değişkenlerine ait hesaplanan değerleri sunmaktadır. Rölelerin çift karakteristikle çalıştığı kabul edilen Durum 3 için hesaplanmış olan I_p , A , B , C , A_b , B_b ve C_b değişkenlerine ait değerler yine Çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde görüleceği üzere R2, R5, R8, R11 ve R14 röleleri herhangi bir yedek görev üstlenmediği için tek bir karakteristik ile işletilirken, diğer rölelerin çift karakteristikle çalıştıkları varsayılmıştır. Çizelge 4.3'ten de görüldüğü gibi hesaplanan değerlerin hepsi belirlenen kısıtların içindedir.

Çizelge 4.4'te değerlendirmeye alınan sekiz ayrı hattın orta noktalarında meydana gelen üç-faz-toprak arızaları için rölelerin çalışma süreleri ayrı ayrı verilmiştir. Çizelgede sunulan sonuçlar, IEC normal ters standart karakteristik kullanılan durumu, sadece önerilen karakteristik kullanılan durumu ve önerilen karakteristik ile oluşturulan koruma şemasının beraber kullanıldığı durumu kapsamaktadır. Bu sonuçlar incelendiğinde, önerilen karakteristik kullanımı standart karakteristiğe göre genellikle daha düşük açma sürelerinin gerçekleştirilmesine imkan verdiği görülmüştür. Örneğin, L5 hattında üç-faz-toprak arızası meydana gelmesi durumunda R15 rölesinin standart karakteristik ile

Çizelge 4.4 Üç-faz-toprak arızasına karşı rölelerin çalışma süreleri

Arıza Yeri	Standart Karakteristik			Önerilen Karakteristik			Oluşturulan Koruma Şeması		
	Birincil [s]	Yedek 1 [s]	Yedek 2 [s]	Birincil [s]	Yedek 1 [s]	Yedek 2 [s]	Birincil [s]	Yedek 1 [s]	Yedek 2 [s]
L1	R1: 1,09 R2: 0,05	R4: 0,36		R1: 0,71 R2: 0,04	R4: 0,36		R1: 0,07 R2: 0,21	R4: 0,54	
L2	R3: 0,92 R4: 0,33	R1: 1,47 R16: 0,97	R7: 0,87	R3: 0,31 R4: 0,30	R1: 1,06 R16: 1,10	R7: 0,78	R3: 0,09 R4: 0,04	R1: 0,74 R16: 0,44	R7: 0,58
L3	R16: 0,68 R5: 0,10	R3: 1,16	R7: 0,81	R16: 0,51 R5: 0,22	R3: 0,55	R7: 0,57	R16: 0,14 R5: 0,01	R3: 0,55	R7: 0,54
L4	R6: 0,50 R7: 0,70	R16: 0,98 R9: 1,93	R3: 1,28	R6: 0,42 R7: 0,37	R16: 1,20 R9: 1,67	R3: 0,98	R6: 0,07 R7: 0,01	R16: 0,48 R9: 0,73	R3: 0,65
L5	R15: 1,35 R14: 0,30	R12: 0,73		R15: 0,57 R14: 0,03	R12: 0,45		R15: 0,06 R14: 0,01	R12: 0,41	
L6	R12: 0,66 R13: 1,28	R10: 1,48 R15: 1,77		R12: 0,43 R13: 0,39	R10: 0,77 R15: 0,78		R12: 0,01 R13: 0,21	R10: 0,40 R15: 0,94	
L7	R10: 1,28 R11: 0,52	R13: 1,45		R10: 0,57 R11: 0,10	R13: 0,47		R10: 0,05 R11: 0,01	R13: 0,61	
L8	R8: 0,11 R9: 1,48	R6: 0,62		R8: 0,06 R9: 1,14	R6: 0,45		R8: 0,07 R9: 0,06	R6: 0,71	

çalıştırıldığı durumdaki çalışma süresi 1,35 saniyedir. Bu süre, önerilen karakteristiğin kullanılması ile 0,57 saniyeye düşürülerek standart karakteristiğin kullanıldığı duruma kıyasla %57'lik bir azalma sağlanmıştır. Ayrıca Çizelge 4.4, oluşturulan koruma şemasının uygulanması ile kayda değer bir azalmanın elde edilebildiğini göstermektedir. Önerilen karakteristik ile koruma şemasının kullanıldığı son durum için R15 rölesinin çalışma süresi 0,06 saniyeye düşürülmüştür. Bir başka deyişle, R15 rölesinin L6 hattındaki yedek koruma görevinden ayrı olarak ele alınan birincil görevindeki performansında sadece önerilen karakteristiğin kullanıldığı duruma kıyasla %89,47'lik bir azalma elde edilirken standart karakteristiğin kullanıldığı duruma kıyasla %95'lik bir iyileştirme gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sonuçlar, daha düşük açma süreleri temin edilirken röle çiftleri arasında herhangi bir koruma koordinasyon kısıtının aşılmadığını da göstermektedir.

Çizelge 4.5, sistemin daha düşük gerilim seviyesine sahip olan kısmında bulunan hatların orta noktalarında iki-faz-toprak arızası meydana gelmesi durumunda rölelerin çalışma sürelerine ait hesaplanan değerleri içermektedir. Çizelgedeki sonuçlar, IEC normal ters

Çizelge 4.5 İki-faz-toprak arızasına karşı rölelerin çalışma süreleri

Arıza Yeri	Standart Karakteristik			Önerilen Karakteristik			Oluşturulan Koruma Şeması		
	Birincil [s]	Yedek 1 [s]	Yedek 2 [s]	Birincil [s]	Yedek 1 [s]	Yedek 2 [s]	Birincil [s]	Yedek 1 [s]	Yedek 2 [s]
L1	R1: 1,04 R2: 0,05	R4: 0,36		R1: 0,92 R2: 0,04	R4: 0,45		R1: 0,07 R2: 0,21	R4: 0,55	
L2	R3: 0,89 R4: 0,32	R1: 1,39 R16: 0,91	R7: 0,86	R3: 0,59 R4: 0,41	R1: 1,26 R16: 1,28	R7: 0,97	R3: 0,10 R4: 0,04	R1: 0,74 R16: 0,44	R7: 0,60
L3	R16: 0,63 R5: 0,10	R3: 1,16	R7: 0,79	R16: 0,79 R5: 0,22	R3: 0,90	R7: 0,82	R16: 0,14 R5: 0,02	R3: 0,58	R7: 0,56
L4	R6: 0,49 R7: 0,68	R16: 0,97 R9: 1,85	R3: 1,24	R6: 0,43 R7: 0,69	R16: 1,35 R9: 1,84	R3: 1,17	R6: 0,08 R7: 0,01	R16: 0,48 R9: 0,74	R3: 0,66
L5	R15: 1,27 R14: 0,29	R12: 0,73		R15: 0,66 R14: 0,06	R12: 0,46		R15: 0,06 R14: 0,02	R12: 0,44	
L6	R12: 0,64 R13: 1,24	R10: 1,40 R15: 1,70		R12: 0,44 R13: 0,51	R10: 0,86 R15: 0,84		R12: 0,01 R13: 0,22	R10: 0,42 R15: 0,99	
L7	R10: 1,18 R11: 0,52	R13: 1,42		R10: 0,71 R11: 0,10	R13: 0,55		R10: 0,05 R11: 0,01	R13: 0,71	
L8	R8: 0,10 R9: 1,40	R6: 0,61		R8: 0,06 R9: 1,39	R6: 0,46		R8: 0,07 R9: 0,06	R6: 0,73	

standart karakteristik kullanılan durum, sadece önerilen karakteristik kullanılan durum ve önerilen karakteristik ile oluşturulan koruma şemasının beraber kullanıldığı durum değerlendirilerek hesaplanmıştır. Çizelge, hatların ortasındaki iki-faz-toprak arızalarına karşı rölelerin önerilen karakteristik kullanılarak çalıştırılmasının standart karakteristik kullanılan duruma göre genellikle daha düşük hızlı bir koruma pratiği sağlayacağını işaret etmektedir. Çizelge 4.5'te verilen değerler incelendiğinde, L3 hattında iki-faz-toprak arızası meydana gelmesi durumunda R3 rölesinin standart karakteristik ile yedek çalışma görevini yerine getirmesi durumdaki çalışma süresi 1,16 saniyedir. Aynı görev için gerekli süre, önerilen karakteristiğin kullanılması ile standart karakteristiğin kullanıldığı duruma göre %22,41 oranında azaltılarak 0,90 saniyeye indirilmiştir. R3'ün L3 hattındaki iki-faz-toprak arızasında yedek çalışması için gereken süre, oluşturulan koruma şemasına önerilen karakteristik uygulanarak standart karakteristikli duruma oranla %50'lik bir azalmayla 0,58 saniyeye düşürülmüştür.

Çizelge 4.6'da rölelerin bireysel olarak hatların orta noktalarındaki tek-faz-toprak arızaları

Çizelge 4.6 Tek-faz-toprak arızasına karşı rölelerin çalışma süreleri

Arıza Yeri	Standart Karakteristik			Önerilen Karakteristik			Oluşturulan Koruma Şeması		
	Birincil [s]	Yedek 1 [s]	Yedek 2 [s]	Birincil [s]	Yedek 1 [s]	Yedek 2 [s]	Birincil [s]	Yedek 1 [s]	Yedek 2 [s]
L1	R1: 1,04 R2: 0,05	R4: 0,35		R1: 0,79 R2: 0,04	R4: 0,40		R1: 0,07 R2: 0,22	R4: 0,59	
L2	R3: 0,89 R4: 0,32	R1: 1,39 R16: 0,91	R7: 0,86	R3: 0,44 R4: 0,35	R1: 1,12 R16: 1,14	R7: 0,86	R3: 0,10 R4: 0,05	R1: 0,77 R16: 0,49	R7: 0,62
L3	R16: 0,63 R5: 0,10	R3: 1,15	R7: 0,79	R16: 0,59 R5: 0,22	R3: 0,65	R7: 0,66	R16: 0,15 R5: 0,02	R3: 0,64	R7: 0,59
L4	R6: 0,49 R7: 0,69	R16: 0,94 R9: 1,86	R3: 1,24	R6: 0,42 R7: 0,53	R16: 1,24 R9: 1,74	R3: 1,04	R6: 0,09 R7: 0,01	R16: 0,51 R9: 0,76	R3: 0,69
L5	R15: 1,27 R14: 0,29	R12: 0,72		R15: 0,60 R14: 0,06	R12: 0,46		R15: 0,06 R14: 0,03	R12: 0,49	
L6	R12: 0,64 R13: 1,24	R10: 1,40 R15: 1,70		R12: 0,44 R13: 0,45	R10: 0,80 R15: 0,80		R12: 0,01 R13: 0,23	R10: 0,46 R15: 1,08	
L7	R10: 1,17 R11: 0,52	R13: 1,42		R10: 0,60 R11: 0,10	R13: 0,49		R10: 0,06 R11: 0,01	R13: 0,93	
L8	R8: 0,10 R9: 1,40	R6: 0,61		R8: 0,06 R9: 1,24	R6: 0,46		R8: 0,08 R9: 0,06	R6: 0,76	

için çalışma süreleri sunulmuştur. Çizelge 4.6’da verilen sonuçlar da daha önceki arıza türlerinde olduğu gibi önerilen karakteristik ve koruma şemasının koruma işleminin daha hızlı yapılmasına olanak sağladığı yönündedir. Örneğin, L6 hattındaki tek-faz-toprak arızası için R10 rölesinin standart karakteristik ile yedek röle olarak işletildiği durumdaki çalışma süresi 1,40 saniye iken, önerilen karakteristik ile aynı görevi arıza meydana geldikten 0,80 saniye sonra yerine getirebilmiştir. Aynı zamanda bu sonuç, sistemde arızadan kaynaklı oluşan ısıl zorlanmanın %42,85 oranında düşürüldüğünü belirtmektedir. Yine önceki arıza türlerine ait sunulan sonuçlarla örtüşecek biçimde, sadece önerilen karakteristiğin kullanıldığı duruma kıyasla %46,51’lik bir azalma, oluşturulan koruma şeması kullanılarak elde edilmiş ve R10 rölesi L6 hattının ortasındaki bir tek-faz-toprak arızaya 0,46 saniyede cevap verebilmiştir. Burada bir başka dikkat çeken nokta ise, R10 rölesinin yine L6 hattında meydana gelen üç-faz-toprak arızasına cevap verme süresi önerilen karakteristik ve koruma şeması birlikte kullanılarak %53,48 oranıyla 0,40 saniyeye indirilmişken, bu oranın tek-faz-toprak arızası için %46,51 ile sınırlı kalmış olmasıdır.

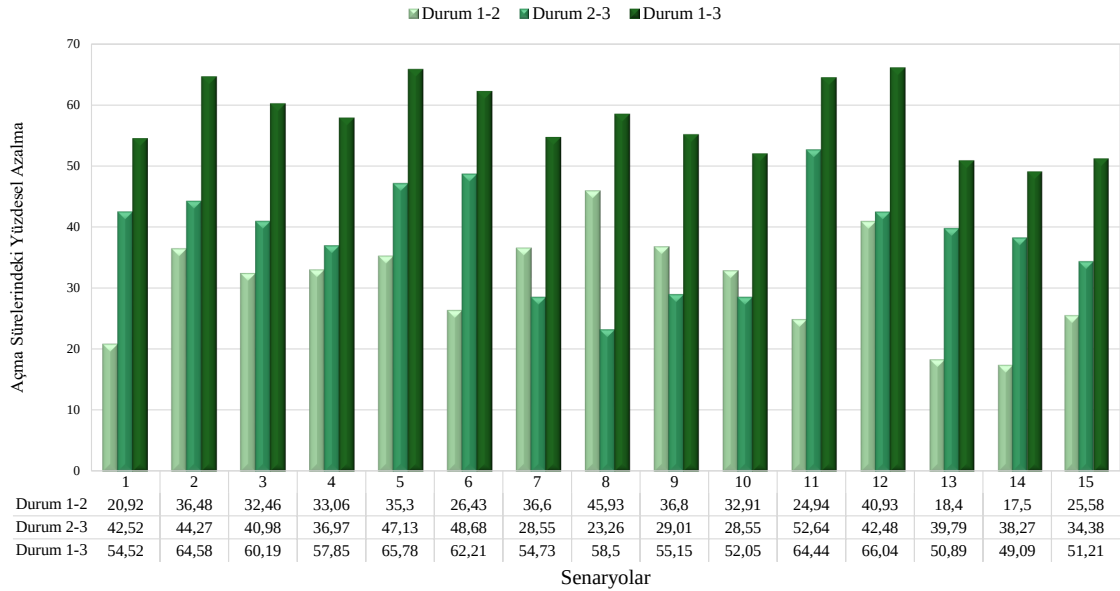
Çizelge 4.7 Faz-faz arızasına karşı rölelerin çalışma süreleri

Arıza Yeri	Standart Karakteristik			Önerilen Karakteristik			Oluşturulan Koruma Şeması		
	Birincil [s]	Yedek 1 [s]	Yedek 2 [s]	Birincil [s]	Yedek 1 [s]	Yedek 2 [s]	Birincil [s]	Yedek 1 [s]	Yedek 2 [s]
L1	R1: 1,14 R2: 0,05	R4: 0,38		R1: 0,95 R2: 0,04	R4: 0,46		R1: 0,08 R2: 0,22	R4: 0,61	
L2	R3: 0,95 R4: 0,34	R1: 1,55 R16: 1,04	R7: 0,90	R3: 0,60 R4: 0,40	R1: 1,32 R16: 1,39	R7: 0,97	R3: 0,11 R4: 0,05	R1: 0,80 R16: 0,54	R7: 0,62
L3	R16: 0,71 R5: 0,10	R3: 1,31	R7: 0,84	R16: 0,84 R5: 0,22	R3: 1,07	R7: 0,83	R16: 0,15 R5: 0,02	R3: 0,66	R7: 0,59
L4	R6: 0,52 R7: 0,72	R16: 1,05 R9: 2,03	R3: 1,34	R6: 0,44 R7: 0,66	R16: 1,46 R9: 1,93	R3: 1,28	R6: 0,09 R7: 0,01	R16: 0,57 R9: 0,79	R3: 0,71
L5	R15: 1,42 R14: 0,32	R12: 0,75		R15: 0,69 R14: 0,06	R12: 0,47		R15: 0,07 R14: 0,03	R12: 0,49	
L6	R12: 0,68 R13: 1,34	R10: 1,32 R15: 1,89		R12: 0,45 R13: 0,51	R10: 0,91 R15: 0,89		R12: 0,01 R13: 0,24	R10: 0,48 R15: 1,16	
L7	R10: 1,32 R11: 0,54	R13: 1,52		R10: 0,75 R11: 0,10	R13: 0,57		R10: 0,07 R11: 0,01	R13: 0,95	
L8	R8: 0,11 R9: 1,54	R6: 0,65		R8: 0,06 R9: 1,45	R6: 0,47		R8: 0,08 R9: 0,07	R6: 0,79	

Çizelge 4.7, hatların orta noktalarındaki faz-faz arızaları için rölelerin çalışma sürelerini tek tek içermektedir. Önerilen koruma yaklaşımının, standart yaklaşımdan daha üstün bir performans sergilediği ve DÜ birimlerinin var olması durumunda bile güvenilir bir koruma sağlayabilme kapasitesi, Çizelge 4.6’da sunulan benzetim çalışmasının sonuçları tarafından doğrulanmaktadır. R10 rölesinin L7 hattı için birincil koruma birimi olarak görev yaparken bu hattaki bir faz-faz arızasına tepki süresi 1,17 saniyedir. Bu sürenin görece büyük bir değere sahip olmasının altında yatan ana neden, aynı rölenin L6 hattında yedek koruma elemanı olarak görev yapması ve L6 hattı üzerinde bulunan R12 rölesi ile koordineli olarak çalışma zorunluluğudur. R12 rölesi L6 hattındaki faz-faz-toprak arızasını 0,64 saniyede temizleyecek şekilde ayarlanmışken, R10 rölesi aynı noktada ve aynı türdeki arıza için 1,40 saniyede görev yapmaktadır. Bu süre, önerilen karakteristik ile 0,80 saniyeye düşürülmüş ve çift karakteristikli koruma uygulanması ile daha da büyük oranda bir azalma sağlanarak 0,46 saniyeye indirilmiştir. R10 rölesinin L7 hattındaki arıza için gösterdiği performans incelendiğinde, birincil ve ikincil görevlerin sadece tek bir karakteristik kullanılarak

Çizelge 4.8 Tüm durumlar ve senaryolar için rölelerin toplam açma süreleri

Durum		1			2			3		
Pop. Verisi		Ortalama (s)	Varyans (s)	En İyi Birey (s)	Ortalama (s)	Varyans (s)	En İyi Birey (s)	Ortalama (s)	Varyans (s)	En İyi Birey (s)
Senaryo	1	103,08	0,78	101,41	86,64	2,81	80,19	49,30	1,06	46,12
	2	133,64	3,78	127,69	85,70	1,59	81,11	48,91	0,89	45,23
	3	111,48	3,50	105,90	75,43	0,88	71,52	44,78	0,61	42,16
	4	113,40	2,72	108,30	76,19	1,34	72,50	48,12	0,52	45,65
	5	121,51	1,32	118,39	80,92	1,41	76,60	43,62	2,90	40,51
	6	112,66	2,38	108,27	83,12	1,09	79,65	44,70	0,96	40,92
	7	199,00	5,21	111,02	75,04	3,00	70,39	53,69	0,89	50,26
	8	148,87	2,31	143,23	81,74	1,57	77,45	61,63	0,35	59,44
	9	127,26	6,00	119,54	80,99	0,80	75,55	56,20	0,61	53,61
	10	133,38	3,46	128,96	92,73	3,16	86,52	65,81	1,37	61,84
	11	121,55	6,19	113,58	89,58	1,83	85,25	43,04	0,63	40,39
	12	155,09	4,92	147,40	90,47	0,91	87,08	51,85	0,28	50,06
	13	112,76	2,99	107,48	91,27	1,21	87,71	57,17	1,29	52,78
	14	106,75	4,09	99,73	86,40	1,59	82,28	53,78	0,73	50,77
	15	107,24	2,11	103,25	81,80	1,23	76,84	52,36	0,39	50,38



Şekil 4.2 Rölelerin toplam açma sürelerindeki azalmalar

gerçekleştirildiği durumdaki iyileşme oranı %48,71 ile sınırlı kalırken, bu oran birincil karakteristik üzerindeki yedek karakteristik sınırlaması kaldırıldığında %94,87'ye kadar çıkmıştır.

Çizelge 4.8'de tüm senaryolara ait hesaplanmış olan son popülasyonun ortalama değeri,

popülasyonun varyans değeri ve en iyi kromozomun toplam açma süresi verilmiştir. Bu çizelgede ortalama ve varyans değerlerinin sunulmasının nedeni, optimizasyon probleminin çözümünde kullanılan GA'nın aslında istatistiksel bir yaklaşım olmasıdır. Genel olarak değerlendirilen üç duruma ait ortalama ve varyans değerleri incelendiğinde, sonuçlarda sunulan son popülasyonunun yakınsadığı ve elde edilen en iyi bireylerin bu popülasyondan çok uzak noktalarda bulunmadığı görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.2'de rölelerin toplam açma sürelerindeki yüzdesel azalmalar grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu şekil, toplam açma sürelerinde meydana gelen yüzdesel azalmalar için Durum 2'nin Durum 1'e, Durum 3'ün Durum 1'e ve Durum 3'ün Durum 2'ye göre olmak üzere yapılan kıyaslamaları senaryo özelinde olmak kaydıyla yansıtmaktadır. Şekil 4.2, sadece önerilen karakteristiğin kullanılması durumunda açma sürelerindeki en yüksek oranda iyileştirmenin %45,93 ile Senaryo 8 için elde edildiğini göstermektedir. Aynı zamanda, oluşturulan koruma şeması kullanılarak en yüksek orandaki toplam açma süresi azalmaları Durum 2'ye kıyasla %52,64 olarak ve Durum 1'e kıyasla %64,44 olarak Senaryo 11 için elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 4.2'deki sonuçlar, sadece önerilen standart dışı karakteristik kullanılarak toplam açma süresindeki en düşük azalmanın %17,5 ile Senaryo 14'te gözlemlendiğini göstermektedir. Oluşturulan koruma şemasının kullanılması ile, geleneksel koruma yöntemine kıyasla en düşük iyileştirme oranı yine Senaryo 14'te %49,09 olarak elde edilmiştir. Senaryo 8 ise, Durum 2 ve Durum 3 arasında toplam açma süresi farkının en az olduğu senaryo olarak Şekil 4.2'de verilen sonuçlarda görülmektedir. Bu sonuçlar göstermiştir ki, Durum 1'deki gibi geleneksel bir standart karakteristik kullanmak yerine Durum 2'deki gibi önerilen standart dışı karakteristiği kullanılarak, herhangi bir istisna gözlenmeksizin her bir senaryo için toplam açma süresinde bir azalma elde edilebilir. Örneğin, Senaryo 6 için Durum 2'de toplam açma değerinde Durum 1'e göre %26,43'lük bir azalma elde edilmiştir. Çizelge 4.8'de sunulan sonuçların işaret ettiği başka bir nokta ise, toplam röle çalışma sürelerinde daha büyük bir orandaki azalmanın koruma işleminde önerilen karakteristiğin ve koruma şemasının bir arada kullanılarak elde edilebileceğidir. Çizelge 4.8'de Durum 3 için verilen sonuçlar incelendiğinde rölelerin toplam açma sürelerinde Durum 2'ye göre %48,68'lik bir azalma, Durum 1'e göre ise

%62,21'lik daha fazla bir azalma elde edilebildiği gör÷lmektedir. Ayrıca, Çizelge 4.8'deki sonuçlar incelendiğinde DÜ bağlantısının röle koordinasyonu üzerine bir etkisi olduğu kesin olarak belirtilebilir; ancak rölelerin açma süresi, DÜ gücü ve DÜ yeri arasındaki ilişkinin nasıl olduğu hakkında kesin bir kanıya bu sonuçlar üzerinden varmak mümkün değildir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, standart dışı karakteristikleri kullanan koruma çalışmaları detaylı olarak incelenmiş ve güç sistemlerindeki değişimlerden doğan ihtiyacı karşılayabilecek yetenekte yeni bir koruma karakteristiği ve koruma şeması sunulmuştur. Koruma üzerine yapılan ve standart dışı karakteristik kullanımını amaçlayan çalışmalarda kısıtlamalar ve fırsatlar da ayrıca değerlendirilmiştir. Güç sistemlerinde son yıllarda gözlenen dağıtık üretim bağlantısı, mikroşebeke işletmesi, dinamik yeniden yapılandırma vb. değişimlerden dolayı güç sistemlerinin işletme karakteristikleri de değişmiştir. Geleceğin güç sistemlerinde, hem akım yönünde hem de akım büyüklüğünde değişikliklere yol açacak olan iki yönlü güç akışının gözlenmesi beklenmektedir. Bu nedenle, koruma sistemlerini güç sistemlerinin ortaya çıkan bu yeni özellikleriyle uyumlu hale getirebilmek adına sadece akım ölçümüne dayalı olan geleneksel koruma yöntemlerinin gözden geçirilmesi önem arz etmektedir. Üstelik sayısal aşırı akım röleleri, standart dışı karakteristikleri uygulamak için artık daha mantıklı bir seçenektirler. Bu nedenle, bu röleler farklı çeşitlerdeki güç sistemi uygulamaları için makul bir seçenek olarak düşünülebilirler. Literatür çalışmaları incelendiğinde, genel olarak kabul görmüş olan bir standart karakteristiğin henüz ortaya konmadığı gözlenmiştir. Ayrıca, şu anda koruma literatüründeki standart dışı karakteristik oluşturmak adına harcanan efor nedeniyle oluşan durumun standart karakteristikler belirlenmeden önceki literatür durumuna oldukça benzemesi ilgi çekicidir. Bu çalışmada, değerlendirilen standart dışı karakteristik oluşturmayı amaçlayan çalışmalar ayrıca kullandıkları yöntemler ve kriterler açısından da gözden geçirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda, standart dışı bir karakteristiğin karşılaması gereken özellikler çalışmanın bir çıktısı olarak şu şekilde listelenmiştir:

- Kontrol parametresinin (parametrelerinin) ayar noktasında asimptotik davranması,
- Düşük arıza akımlı topolojiler için bile yüksek hassasiyet,
- Uzak-uç arızaları için görece yüksek çalışma süresinin ve yakın-uç arızaları için de görece düşük çalışma sürelerinin (CS) sağlanması,
- Kontrol parametresindeki değişime bağlı olarak CS_{min} ve CS_{max} değerleri arasında monoton azalan karakteristik,
- Birincil ve yedek röleler arasında kolay koordinasyon,
- Diğer rölelerle koordinasyona bağlı olarak birincil rölenin ana koruma alanındaki arızaya karşı çalışma süresinin artmaması,
- I_{fmin} ve I_{fmax} arasında tüm arıza akım aralığını (veya herhangi başka bir kontrol parametresi aralığını) kapsayacak biçimde, mümkün olduğu kadar sabit bir koordinasyon zaman aralığının sağlanması,
- Motorların başlama akımı, soğuk-yük-kalkış akımı vb. geçici yüksek akımların geçmesine izin verebilme yeteneği,
- Tekrar kapayıcılar, sigortalar vb. diğer koruma elemanlarıyla uyumlu bir şekilde çalışma kabiliyeti,
- Tüm olası topolojilere (DÜ bağlantısı, yeniden yapılandırma veya ada çalışma) karşı dayanıklı çalışabilme,
- Tüm arıza türlerine karşı mümkün olduğu kadar düşük çalışma süresi,
- Haberleşme alt yapısına gerek duymadan çalışabilme.

Yukarıda belirtilen tüm gereklilikleri karşılayan bir karakteristik oluşturmanın, imkansız olarak nitelendirilebilecek, son derece zor bir görev olabileceği de belirtilmelidir. Bununla birlikte, ileriki çalışmalar için listelenen şartları olabildiğince yansıtan bir karakteristik sağlamak gibi daha makul bir hedef belirlenebilir. Çizelge 2.3, bu çalışmada değerlendirilen standart dışı karakteristikler hakkındaki açıklamaları ve her bir yaklaşımın olumlu ve olumsuz yönlerini sunmaktadır.

Dağıtık üretim birimlerinin ağ şebeke yapısındaki dağıtım sistemine bağlanması göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışma hem akım hem de gerilim ölçümlerini kullanan standart dışı bir röle karakteristiği ve rölelerin birincil ve yedek koruma görevleri için ayrı

röle karakteristikleri kullandığı çift karakteristikli bir koruma şeması sunmaktadır. Klasik koruma yaklaşımında, dağıtık üreteçlerin etkisine karşı önlem alma seçenekleri sınırlıdır; çünkü standart karakteristik sadece mevcut akım ölçümüne dayanmaktadır. Böylece, dijital rölelerin programlanabilir yapısına dayanarak öne sürülen karakteristik ve koruma şeması klasik yaklaşıma bir alternatif olarak tasarlanmıştır. Önerilen yöntem, senkron generatör temelli dağıtık üreteçlerin ağ yapılı dağıtım sistemine bağlandığı bir benzetim çalışması ile sınanmıştır. Bu sınama çalışmaları için IEEE 14 baralı sistem, test sistemi olarak kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, koruma koordinasyon problemi doğrusal olmayan bir optimizasyon problemi olarak formüle edilmiştir. Bu problemi çözmek için, popülasyon temelli bir arama algoritması olan GA kullanılmıştır. Yapılan çalışmada arıza akımları, ele alınan güç sistemindeki hatların orta noktalarındaki üç-faz-toprak, iki-faz-toprak, tek-faz-toprak ve faz-faz arızalarına göre hesaplanmışlardır. Sonuçlar, dağıtık üretim birimlerinin güç sistemine farklı konumlardan ve kapasitelerden bağlanması durumları için bile önerilen koruma şeması kullanılarak koruma koordinasyonunun sağlandığını ortaya koymaktadır. Güvenilir koruma sağlamanın yanı sıra, önerilen karakteristik ve koruma şeması kullanılarak rölenin toplam çalışma süresinde daha fazla iyileştirme sağlanabilir. Ayrıca, röle için çift karakteristik kullanılmasının, rölelerin toplam çalışma süresinde daha da yüksek bir düşüşe yol açtığı da belirtilmelidir. Bu çalışma, tüm arıza türleri için tek bir karakteristik oluşturularak rölelerin bu tek karakteristiğe göre çalıştırılmasını ele almaktadır. Rölelerin uyarlanabilir bir şekilde işletilmesi için, her bir arıza türüne karşılık gelecek biçimde ayrı karakteristiklerin geliştirilmesi gelecekteki çalışmalar için araştırılması önemli görülmektedir.

- [1] Pathirana, A., Rajapakse, A. ve Perera, N., (2017). “Development of a Hybrid Protection Scheme for Active Distribution Systems Using Polarities of Current Transients”, *Electric Power Systems Research*, 152: 377–389.
- [2] Habib, H. F., Mohamed, A., El Hariri, M. ve Mohammed, O. A., (2017). “Utilizing Supercapacitors for Resiliency Enhancements and Adaptive Microgrid Protection Against Communication Failures”, *Electric Power Systems Research*, 145: 223–233.
- [3] Kong, S., Jo, H.-C., Wi, Y.-M. ve Joo, S.-K., (2016). “Optimization-Based Reconfiguration Method for Power System Incorporating Superconducting Fault Current Limiter Failure”, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 26(4): 1–4.
- [4] Hamman, S. T., Hopkinson, K. M. ve Fadul, J. E., (2017). “A Model Checking Approach to Testing the Reliability of Smart Grid Protection Systems”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(6): 2408–2415.
- [5] Zhang, Z., Crossley, P. ve Li, L., (2017). “A Positive-Sequence-Fault-Component-Based Improved Reverse Power Protection for Spot Network with PV”, *Electric Power Systems Research*, 149: 102–110.
- [6] Alkaran, D. S., Vatani, M. R., Sanjari, M. J., Gharehpetian, G. B. ve Yatim, A. H., (2015). “Overcurrent Relays Coordination in Interconnected Networks Using Accurate Analytical Method and Based On Determination of Fault Critical Point”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30(2): 870–877.
- [7] Costa, F. B., Monti, A. ve Paiva, S. C., (2017). “Overcurrent Protection in Distribution Systems with Distributed Generation Based on The Real-time Boundary Wavelet Transform”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(1): 462–473.
- [8] Phadke, A. G. ve Thorp, J. S., (2009). *Computer Relaying for Power Systems*, John Wiley & Sons, Chippenham, Wiltshire.
- [9] Abdel-Salam, M., Kamel, R., Sayed, K. ve Khalaf, M., (2017). “Design and Implementation of a Multifunction DSP-Based-Numerical Relay”, *Electric Power Systems Research*, 143: 32–43.
- [10] Saleh, K. A., Zeineldin, H., Al-Hinai, A. ve El-Saadany, E. F., (2015). “Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Using a New Time–Current–Voltage Characteristic”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30(2): 537–544.

- [11] ABB, 615 Series Technical Manual, <https://library.e.abb.com>, 22 Kasım 2017.
- [12] AREVA, Directional/Non-Directional Overcurrent Protection, <http://mt.schneider-electric.be>, 24 Kasım 2017.
- [13] SIEMENS, SIPROTEC 5 Overcurrent Protection 7SJ82/7SJ85, <https://cache.industry.siemens.com>, 24 Kasım 2017.
- [14] Sorrentino, E. (2017). “Behavior of Induction Disc Overcurrent Relays as a Function of the Frequency”, *Electric Power Systems Research*, 143: 474–481.
- [15] Hill, D. J., Bruehler, L. W. ve Bohrer, C. J., (2009). “Why wait? System-wide Benefits From Custom Overcurrent Relay Characteristics”, *Industry Applications Society 56th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference*, 14-16 Eylül 2009, Anaheim.
- [16] Anderson, P. M. (1998). *Power System Protection*, Wiley, Piscataway, New Jersey.
- [17] Lan, T., Li, Y., Duan, X. ve Zhu, J., (2018). “Simplified Analytic Approach of Pole-to-Pole Faults in MMC-HVDC for AC System Backup Protection Setting Calculation”, *Energies*, 11(2): 264.
- [18] Jing, L., Son, D.-H., Kang, S.-H. ve Nam, S.-R., (2016). “A Novel Protection Method for Single Line-to-Ground Faults in Ungrounded Low-Inertia Microgrids”, *Energies*, 9(6): 459.
- [19] Groot, R. J. W. D. (2017). *Optimal Placement and Operation of Novel Grid Technologies in Distribution Grids*, Doktora Tezi, Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
- [20] Norshahrani, M., Mokhlis, H., Abu Bakar, A. H., Jamian, J. J. ve Sukumar, S., (2017). “Progress on Protection Strategies to Mitigate the Impact of Renewable Distributed Generation on Distribution Systems”, *Energies*, 10(11): 1864.
- [21] Urdaneta, A. J., Nadira, R. ve Jimenez, L. P., (1988). “Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays in Interconnected Power Systems”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 3(3): 903–911.
- [22] Noghabi, A. S., Sadeh, J. ve Mashhadi, H. R., (2009). “Considering Different Network Topologies in Optimal Overcurrent Relay Coordination Using a Hybrid GA”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 24(4): 1857–1863.
- [23] Amraee, T. (2012). “Coordination of Directional Overcurrent Relays Using Seeker Algorithm”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27(3): 1415–1422.
- [24] Moirangthem, J., Krishnanand, K., Dash, S. S. ve Ramaswami, R., (2013). “Adaptive Differential Evolution Algorithm for Solving Non-Linear Coordination Problem of Directional Overcurrent Relays”, *IET Generation, Transmission & Distribution*, 7(4): 329–336.
- [25] Damchi, Y., Dolatabadi, M., Mashhadi, H. R. ve Sadeh, J., (2018). “MILP Approach for Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays in Interconnected Power Systems”, *Electric Power Systems Research*, 158: 267–274.

- [26] Papaspiliotopoulos, V. A., Korres, G. N. ve Maratos, N. G., (2017). "A Novel Quadratically Constrained Quadratic Programming Method for Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(1): 3–10.
- [27] Perez, L. G. ve Urdaneta, A. J., (1999). "Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Considering Definite Time Backup Relaying", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 14(4): 1276–1284.
- [28] Chattopadhyay, B., Sachdev, M. ve Sidhu, T., (1996). "An On-Line Relay Coordination Algorithm for Adaptive Protection Using Linear Programming Technique", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11(1): 165–173.
- [29] Abdelaziz, A. Y., Talaat, H., Nosseir, A. ve Hajjar, A. A., (2002). "An Adaptive Protection Scheme for Optimal Coordination of Overcurrent Relays", *Electric Power Systems Research*, 61(1): 1–9.
- [30] Noghabi, A. S., Mashhadi, H. R. ve Sadeh, J., (2010). "Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Considering Different Network Topologies Using Interval Linear Programming", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25(3): 1348–1354.
- [31] Urdaneta, A. J., Restrepo, H., Marquez, S. ve Sanchez, J., (1996). "Coordination of Directional Overcurrent Relay Timing Using Linear Programming", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11(1): 122–129.
- [32] Birla, D., Maheshwari, R. P. ve Gupta, H., (2006). "A New Nonlinear Directional Overcurrent Relay Coordination Technique, and Banes and Boons of Near-End Faults Based Approach", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 21(3): 1176–1182.
- [33] Bedekar, P. P., Bhide, S. R. ve Kale, V. S., (2009). "Optimum Coordination of Overcurrent Relays in Distribution System Using Genetic Algorithm", *International Conference on Power Systems*, 27-29 Aralık 2009, Kharagpur.
- [34] So, C., Li, K., Lai, K. ve Fung, K., (1997). "Application of Genetic Algorithm for Overcurrent Relay Coordination", *6th International Conference on Developments in Power System Protection*, Nottingham.
- [35] Razavi, F., Abyaneh, H. A., Al-Dabbagh, M., Mohammadi, R. ve Torkaman, H., (2008). "A New Comprehensive Genetic Algorithm Method for Optimal Overcurrent Relays Coordination", *Electric Power Systems Research*, 78(4): 713–720.
- [36] Thakur, M., (2007). *New Real Coded Genetic Algorithms for Global Optimization*, Doktora Tezi, Indian Institute of Technology, Roorkee.
- [37] Bedekar, P. P. ve Bhide, S. R., (2011). "Optimum Coordination of Overcurrent Relay Timing Using Continuous Genetic Algorithm", *Expert Systems with Applications*, 38(9): 11286–11292.
- [38] Bedekar, P. P. ve Bhide, S. R., (2011). "Optimum Coordination of Directional Overcurrent Relays Using the Hybrid GA-NLP Approach", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26(1): 109–119.

- [39] Mansour, M. M., Mekhamer, S. F. ve El-Kharbawe, N., (2007). “A Modified Particle Swarm Optimizer for the Coordination of Directional Overcurrent Relays”, IEEE Transactions on Power Delivery, 22(3): 1400–1410.
- [40] Bansal, J. C. ve Deep, K., (2008). “Optimization of Directional Overcurrent Relay Times by Particle Swarm Optimization”, Swarm Intelligence Symposium, 21-23 Eylül 2008, St. Louis.
- [41] Zeineldin, H., El-Saadany, E. ve Salama, M., (2006). “Optimal Coordination of Overcurrent Relays Using a Modified Particle Swarm Optimization”, Electric Power Systems Research, 76(11): 988–995.
- [42] Deep, K. ve Bansal, J. C., (2009). “Optimization of Directional Overcurrent Relay Times Using Laplace Crossover Particle Swarm Optimization (LXPSO)”, World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC 2009), 9-11 Aralık 2009, Coimbatore.
- [43] Zahaya, E. ve Liu, A., (2010). “Solving Parameter Identification Problem by Hybrid Particle Swarm Optimization”, The International Multiconference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2010), 17-19 Mart 2010, Hong Kong.
- [44] Liu, A. ve Yang, M., (2012). “A New Hybrid Nelder-Mead Particle Swarm Optimization for Coordination Optimization of Directional Overcurrent Relays”, Mathematical Problems in Engineering, 2012.
- [45] So, C. ve Li, K., (2000). “Time Coordination Method for Power System Protection by Evolutionary Algorithm”, IEEE Transactions on Industry Applications, 36(5): 1235–1240.
- [46] Singh, M., Panigrahi, B. ve Abhyankar, A., (2013). “Optimal Coordination of Directional Over-Current Relays Using Teaching Learning-Based Optimization (TLBO) Algorithm”, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 50: 33–41.
- [47] Thangaraj, R., Pant, M. ve Deep, K., (2010). “Optimal Coordination of Over-Current Relays Using Modified Differential Evolution Algorithms”, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 23(5): 820–829.
- [48] So, C. ve Li, K., (2004). “Intelligent Method for Protection Coordination”, IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies (DRPT 2004), 5-8 Nisan 2004, Hong Kong.
- [49] Abyane, H. A., Faez, K. ve Karegar, H., (1997). “A New Method for Overcurrent Relay (O/C) Using Neural Network and Fuzzy Logic”, IEEE Region 10 Annual Conference, Speech and Image Technologies for Computing and Telecommunications (TENCON’97), 4 Aralık 1997, Brisbane, Queensland.
- [50] Payam, M. S., Bijami, E., Abdollahi, M. ve Dehkordi, A. S., (2011). “Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relay for Power Delivery System with a Hybrid Shuffled Frog Leaping Algorithm”, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12): 1949–1957.

- [51] Barzegari, M., Bathaee, S. ve Alizadeh, M., (2010). “Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Using Harmony Search Algorithm”, 9th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 16-19 Mayıs 2010, Prag.
- [52] Chelliah, T. R., Thangaraj, R., Allamsetty, S. ve Pant, M., (2014). “Coordination of Directional Overcurrent Relays Using Opposition Based Chaotic Differential Evolution Algorithm”, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 55: 341–350.
- [53] Shih, M. Y., Salazar, C. A. C. ve Enríquez, A. C., (2015). “Adaptive Directional Overcurrent Relay Coordination Using Ant Colony Optimisation”, IET Generation, Transmission & Distribution, 9(14): 2040–2049.
- [54] Albasri, F. A., Alroomi, A. R. ve Talaq, J. H., (2015). “Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Using Biogeography-Based Optimization Algorithms”, IEEE Transactions on Power Delivery, 30(4): 1810–1820.
- [55] Enriquez, A. C., Vazquez-Martinez, E. ve Altuve-Ferrer, H. J., (2003). “Time Overcurrent Adaptive Relay”, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 25(10): 841–847.
- [56] Conde, A. ve Vázquez, E., (2007). “Functional Structure for Performance Improvement of Time Overcurrent Relays”, Electric Power Components and Systems, 35(3): 261–278.
- [57] Zocholl, S., Akamine, J., Hughes, A., Sachdev, M., Scharf, L. ve Smith, H., (1989). “Computer Representation of Overcurrent Relay Characteristics: IEEE committee report”, IEEE Transactions on Power Delivery, 4(3): 1659–1667.
- [58] Saleh, K. A., El Moursi, M. S. ve Zeineldin, H. H., (2015). “A New Protection Scheme Considering Fault Ride Through Requirements for Transmission Level Interconnected Wind Parks”, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 11(6): 1324–1333.
- [59] Bayati, N., Dadkhah, A., Sadeghi, S., Vahidi, B. ve Milani, A. E., (2017). “Considering Variations of Network Topology in Optimal Relay Coordination Using Time-Current-Voltage Characteristic”, IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe), 6-9 Haziran 2017, Milan.
- [60] Jamali, S. ve Borhani-Bahabadi, H., (2017). “Recloser Time-Current-Voltage Characteristic for Fuse Saving in Distribution Networks with DG”, IET Generation, Transmission & Distribution, 11(1): 272–279.
- [61] Jamali, S. ve H.Borhani-Bahabadi, (2017). “Non-Communication Protection Method for Meshed and Radial Distribution Networks with Synchronous-Based DG”, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 93: 468–478.
- [62] Jamali, S. ve Borhani-Bahabadi, H., (2017). “Self-Adaptive Relaying Scheme of Reclosers for Fuse Saving in Distribution Networks with DG”, International Journal of Power and Energy Research, 1(1): 8–19.

- [63] Agrawal, A., Singh, M. ve Tejeswini, M., (2016). “Voltage Current Based Time Inverse Relay Coordination for PV Feed Distribution Systems”, National Power Systems Conference (NPSC), 19-21 Aralık 2016, Bhubaneswar.
- [64] Tejeswini, M. V. ve Sujatha, B. C., (2017). “Optimal Protection Coordination of Voltage-Current Time Based Inverse Relay for PV Based Distribution System”, 2nd International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), 22-24 Şubat 2017, Coimbatore.
- [65] Kılıçkiran, H. C., Akdemir, H., Şengör, İ., Kekezoğlu, B. ve Paterakis, N. G., (2018). “A Non-Standard Characteristic Based Protection Scheme for Distribution Networks”, *Energies*, 11(5): 1241.
- [66] Dewadasa, M., Ghosh, A. ve Ledwich, G., (2009). “An Inverse Time Admittance Relay for Fault Detection in Distribution Networks Containing DGs”, TENCON 2009 IEEE Region 10 Conference, 23-26 Ocak 2009, Singapur.
- [67] Majumder, R., Dewadasa, M., Ghosh, A., Ledwich, G. ve Zare, F., (2011). “Control and Protection of a Microgrid Connected to Utility Through Back-to-Back Converters”, *Electric Power Systems Research*, 81(7): 1424–1435.
- [68] Dewadasa, M., Majumder, R., Ghosh, A. ve Ledwich, G., (2009). “Control and Protection of a Microgrid with Converter Interfaced Micro Sources”, International Conference on Power Systems (ICPS’09), 27-29 Aralık 2009, Kharagpur.
- [69] Dewadasa, M., Ghosh, A., Ledwich, G. ve Wishart, M., (2011). “Fault Isolation in Distributed Generation Connected Distribution Networks”, *IET Generation, Transmission & Distribution*, 5(10): 1053–1061.
- [70] Dewadasa, M., Ghosh, A. ve Ledwich, G., (2010). “Fold Back Current Control and Admittance Protection Scheme for a Distribution Network Containing Distributed Generators”, *IET Generation, Transmission & Distribution*, 4(8): 952–962.
- [71] Yazdaninejadi, A., Nazarpour, D. ve Golshannavaz, S., (2017). “Dual-setting directional over-current relays: An optimal coordination in multiple source meshed distribution networks”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 86: 163–176.
- [72] Alkaran, D. S., Vatani, M. R., Sanjari, M. J., Gharehpetian, G. B. ve Naderi, M. S., (2016). “Optimal Overcurrent Relay Coordination in Interconnected Networks by Using Fuzzy-Based GA Method”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(4): 3091–3101.
- [73] Salazar, C. A. C., Enriquez, A. C. ve Schaeffer, S. E., (2015). “Directional Overcurrent Relay Coordination Considering Non-Standardized Time Curves”, *Electric Power Systems Research*, 122: 42–49.
- [74] Castillo, C., Conde, A. ve Shih, M., (2018). “Improvement of Non-Standardized Directional Overcurrent Relay Coordination by Invasive Weed Optimization”, *Electric Power Systems Research*, 157: 48–58.

- [75] Sharaf, H. M., Zeineldin, H., Ibrahim, D. K. ve Essam, E., (2015). "A Proposed Coordination Strategy for Meshed Distribution Systems with Dg Considering User-Defined Characteristics of Directional Inverse Time Overcurrent Relays", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 65: 49–58.
- [76] Chawla, A., Bhalja, B. R., Panigrahi, B. K. ve Singh, M., (2018). "Gravitational Search Based Algorithm for Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Using User Defined Characteristic", *Electric Power Components and Systems*, 46(1): 43–55.
- [77] Sharaf, H. M., Zeineldin, H., Ibrahim, D. K. ve El-Zahab, E.-D., (2014). "Directional Inverse Time Overcurrent Relay for Meshed Distribution Systems with Distributed Generation with Additional Continuous Relay Settings", 12th IET International Conference on Developments in Power System Protection (DPSP 2014), 31 Mart-3 Nisan 2014, Kopenhag.
- [78] Singh, M., Telukunta, V. ve Srivani, S., (2018). "Enhanced Real Time Coordination of Distance and User Defined Over Current Relays", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 98: 430–441.
- [79] YazdaniNejadi, A., Golshannavaz, S., Nazarpour, D., Teimourzadeh, S. ve Aminifar, F., (2018). "Dual-Setting Directional Overcurrent Relays for Protecting Automated Distribution Networks", *IEEE Transactions on Industrial Informatics* (baskıda).
- [80] Shabani, M. ve Karimi, A., (2018). "A Robust Approach for Coordination of Directional Overcurrent Relays in Active Radial and Meshed Distribution Networks Considering Uncertainties", *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 28(5): e2532.
- [81] Yazdaninejadi, A., Jannati, J. ve Farsadi, M., (2017). "A New Formulation for Coordination of Directional Overcurrent Relays in Interconnected Networks for Better Miscoordination Suppression", *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, 18(3): 169–175.
- [82] Aghdam, T. S. ve Karegar, H. K., (2017). "Relay Curve Selection Approach for Microgrid Optimal Protection", *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 7(2): 636–642.
- [83] Park, J. K., Kim, J. T. ve Shin, M.-C., (2009). "A CORDIC-Based Digital Protective Relay and Its Architecture", *Microelectronics Reliability*, 49(4): 438–447.
- [84] Othman, A. M. ve Abdelaziz, A. Y., (2016). "Enhanced Backtracking Search Algorithm for Optimal Coordination of Directional Over-Current Relays Including Distributed Generation", *Electric Power Components and Systems*, 44(3): 278–290.
- [85] Moravej, Z., Adelnia, F. ve Abbasi, F., (2015). "Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Using NSGA-II", *Electric Power Systems Research*, 119: 228–236.
- [86] Adelnia, F., Moravej, Z. ve Farzinfar, M., (2015). "A New Formulation for Coordination of Directional Overcurrent Relays in Interconnected Networks", *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 25(1): 120–137.

- [87] Azari, A. ve Akhbari, M., (2015). "Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays in Distribution Systems Based on Network Splitting", *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 25(10): 2310–2324.
- [88] Ezzeddine, M. ve Kaczmarek, R., (2011). "A Novel Method for Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Considering Their Available Discrete Settings and Several Operation Characteristics", *Electric Power Systems Research*, 81(7): 1475–1481.
- [89] El-Fergany, A. A. ve Hasanien, H. M., (2017). "Optimized Settings of Directional Overcurrent Relays in Meshed Power Networks Using Stochastic Fractal Search Algorithm", *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 27(11): e2395.
- [90] Ahmadi, S., Karami, H., Sanjari, M., Tarimoradi, H. ve Gharehpetian, G., (2016). "Application of Hyper-Spherical Search Algorithm for Optimal Coordination of Overcurrent Relays Considering Different Relay Characteristics", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 83: 443–449.
- [91] Chabanloo, R. M., Abyaneh, H. A., Kamangar, S. S. H. ve Razavi, F., (2011). "Optimal Combined Overcurrent and Distance Relays Coordination Incorporating Intelligent Overcurrent Relays Characteristic Selection", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26(3): 1381–1391.
- [92] Negrão, D. L. ve Vieira, J. C., (2016). "The Local Fit Method for Coordinating Directional Overcurrent Relays", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 31(4): 1464–1472.
- [93] Kida, A. A. ve Gallego, L. A., (2016). "A High-Performance Hybrid Algorithm to Solve the Optimal Coordination of Overcurrent Relays in Radial Distribution Networks Considering Several Curve Shapes", *Electric Power Systems Research*, 140: 464–472.
- [94] Sorrentino, E., (2014). "Nontraditional Relay Curves for the Coordination of the Ground Overcurrent Function with Downstream Fuses", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 29(3): 1284–1291.
- [95] Sherbilla, N. F., Kawady, T. A., Elkalashy, N. I. ve Taalab, A.-M. I., (2011). "Modified Setting of Overcurrent Protection for Distribution Feeders with Distributed Generation", *IET Conference on Renewable Power Generation (RPG 2011)*, 6-8 Eylül 2011, Edinburg.
- [96] Khederzadeh, M., (2006). "Back-Up Protection of Distance Relay Second Zone by Directional Overcurrent Relays with Combined Curves", 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting, 18-22 Haziran 2006, Montreal.
- [97] Kojovic, L. A. ve Witte, J., (2001). "A New Method in Reducing the Overcurrent Protection Response Times at High Fault Currents to Protect Equipment from Extended Stress", *IEEE/PES Transmission and Distribution Conf. and Exposition*, 2 Kasım 2001, Atlanta.

- [98] Aghdam, T. S., Karegar, H. K. ve Zeineldin, H., (2018). “Optimal Coordination of Double-Inverse Overcurrent Relays for Stable Operation of DGs”, IEEE Transactions on Industrial Informatics (baskıda).
- [99] Saleh, K. A., Zeineldin, H. H., Al-Hinai, A. ve El-Saadany, E. F., (2015). “Dual-Setting Characteristic for Directional Overcurrent Relays Considering Multiple Fault Locations”, IET Generation, Transmission & Distribution, 9(12): 1332–1340.
- [100] Keil, T. ve Jager, J., (2008). “Advanced Coordination Method for Overcurrent Protection Relays Using Nonstandard Tripping Characteristics”, IEEE Transactions on Power Delivery, 23(1): 52–57.
- [101] Khederzadeh, M.,(2012). “Adaptive Setting of Protective Relays in Microgrids in Grid-Connected and Autonomous Operation”, 11th IET International Conference on Developments in Power Systems Protection (DPSP), 23-26 Nisan 2012, Birmingham.
- [102] Erokhin, E. Y.,(2011). “New Overcurrent RST80 Relays and Their Time-Current Characteristics”, Russian Electircal Engineering Journal, 82(3): 156–159.
- [103] Yazdaninejadi, A., Naderi, M. S., Gharehpetian, G. B. ve Talavat, V., (2017). “Protection Coordination of Directional Overcurrent Relays: New Time Current Characteristic and Objective Function”, IET Generation, Transmission & Distribution, 12(1): 190–199.
- [104] Tan, J., McLaren, P., Jayasinghe, R. ve Wilson, P., (2002). “Software Model for Inverse Time Overcurrent Relays Incorporating IEC and IEEE Standard Curves”, IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE 2002), 12-15 Mayıs 2002, Winnipeg.
- [105] Calderaro, V., Galdi, V., Piccolo, A. ve Siano, P., (2007). “Adaptive Relays for Overhead Line Protection”, Electric Power Systems Research, 77(12): 1552–1559.
- [106] Ojaghi, M. ve Ghahremani, R., (2017). “Piece-wise Linear Characteristic for Coordinating Numerical Overcurrent Relays”, IEEE Transactions on Power Delivery, 32(1): 145–151.
- [107] Lwin, M., Guo, J., Dimitrov, N. ve Santoso, S., (2017). “Stochastic Optimization for Discrete Overcurrent Relay Tripping Characteristics and Coordination”, IEEE Transactions on Smart Grid (baskıda).
- [108] Horowitz, S. H. ve Phadke, A. G., (2008). Power System Relaying, John Wiley & Sons, West Sussex.
- [109] Phadke, A. G., Peter, W., Lei, D. ve Terzija, V., (2016). “Improving the Performance of Power System Protection Using Wide Area Monitoring Systems”, Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 4(3): 319–331.
- [110] Zeineldin, H. M., Sharaf, H. H. ve El-Saadany, E., (2016). “Protection Coordination for Microgrids with Grid-Connected and Islanded Capabilities Using Dual Setting Directional Overcurrent Relays”, IEEE Transactions on Smart Grid, 9(1): 143–151.

- [111] Nikolaidis, V. C., Papanikolaou, E. ve Safigianni, A. S., (2016). “A Communication-Assisted Overcurrent Protection Scheme for Radial Distribution Systems with Distributed Generation”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(1): 114–123.
- [112] Rajput, V. N. ve Pandya, K. S., (2017). “Coordination of Directional Overcurrent Relays in the Interconnected Power Systems Using Effective Tuning of Harmony Search Algorithm”, *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 15: 1–15.
- [113] Saleh, K. A., Zeineldin, H. H. ve El-Saadany, E. F., (2017). “Optimal Protection Coordination for Microgrids Considering N-1 Contingency”, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13: 2270–2278.
- [114] Gokhale, S. ve Kale, V., (2016). “An application of a Tent Map Initiated Chaotic Firefly Algorithm for Optimal Overcurrent Relay Coordination”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 78: 336–342.
- [115] Ibrahim, D. K., El Zahab, E. E. D. A. ve Mostafa, S. A. E. A., (2017). “New Coordination Approach to Minimize the Number of Re-adjusted Relays When Adding DGs in Interconnected Power Systems with a Minimum Value of Fault Current Limiter”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 85: 32–41.
- [116] Colmenar-Santos, A., Reino-Rio, C., Borge-Diez, D. ve Collado-Fernández, E., (2016). “Distributed Generation: A Review of Factors That Can Contribute Most to Achieve a Scenario of DG Units Embedded in the New Distribution Networks”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59: 1130–1148.
- [117] El-Arroudi, K. ve Joós, G., (2018). “Performance of Interconnection Protection Based on Distance Relaying for Wind Power Distributed Generation”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 33(2): 620–629.
- [118] Ateş, Y., Uzunoğlu, M., Karakaş, A., Boynueğri, A. R., Nadar, A. ve Dağ, B., (2016). “Implementation of Adaptive Relay Coordination in Distribution Systems Including Distributed Generation”, *Journal of Cleaner Production*, 112: 2697–2705.
- [119] Papaspiliotopoulos, V. A., Korres, G. N., Kleftakis, V. A. ve Hatziaargyriou, N. D., (2017). “Hardware-in-the-loop Design and Optimal Setting of Adaptive Protection Schemes for Distribution Systems With Distributed Generation”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(1): 393–400.
- [120] Kennedy, J., Ciufo, P. ve Agalgaonkar, A., (2016). “A Review of Protection Systems for Distribution Networks Embedded with Renewable Generation”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58: 1308–1317.
- [121] Manditereza, P. T. ve Bansal, R., (2016). “Renewable Distributed Generation: The Hidden Challenges–A Review from the Protection Perspective”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58: 1457–1465.
- [122] Coffele, F., Booth, C., Dyško, A. ve Burt, G., (2012). “Quantitative Analysis of Network Protection Blinding for Systems Incorporating Distributed Generation”, *IET Generation, Transmission & Distribution*, 6(12): 1218–1224.

- [123] Masaud, T. M. ve Mistry, R. D., (2016). “Fault Current Contribution of Renewable Distributed Generation: An Overview and Key Issues”, IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech), 9-11 Ekim 2016, Phoenix.
- [124] Nimpitiwan, N., Heydt, G. T., Ayyanar, R. ve Suryanarayanan, S., (2007). “Fault Current Contribution from Synchronous Machine and Inverter Based Distributed Generators”, IEEE Transactions on Power Delivery, 22(1): 634–641.
- [125] Dehghanpour, E., Karegar, H., Kheirollahi, R. ve Soleymani, T., (2016). “Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays in Microgrids by Using Cuckoo-Linear Optimization Algorithm and Fault Current Limiter”, IEEE Transactions on Smart Grid (baskıda).
- [126] Zarei, S. F. ve Parniani, M., (2017). “A Comprehensive Digital Protection Scheme for Low-Voltage Microgrids with Inverter-Based and Conventional Distributed Generations”, IEEE Transactions on Power Delivery, 32(1): 441–452.
- [127] Kumar, D. S., Srinivasan, D. ve Reindl, T., (2016). “A Fast and Scalable Protection Scheme for Distribution Networks with Distributed Generation”, IEEE Transactions on Power Delivery, 31(1): 67–75.
- [128] Mohanty, R. ve Pradhan, A. K., (2017). “Protection of Smart DC Microgrid with Ring Configuration using Parameter Estimation Approach”, IEEE Transactions on Smart Grid (baskıda).
- [129] IEC 60255-3, (1989). Electrical Relays-Part 3: Single Input Energizing Quantity Measuring Relays with Dependent or Independent Time, IEC, 2. Baskı, Cenevre.
- [130] IEEE Std C37.112-1996, (1996). Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays, IEEE, Piscataway, New Jersey.
- [131] IEC 60255-151, (2009). Measuring relays and protection equipment – Part 151: Functional requirements for over/under current protection, IEC, 1. Baskı.
- [132] Soria, O. A., Enríquez, A. C. ve Guajardo, L. T., (2014). “Overcurrent Relay with Unconventional Curves and Its Application in Industrial Power Systems”, Electric Power Systems Research, 110: 113–121.
- [133] Dewadasa, M., (2010). Protection for Distributed Generation Interfaced Networks, Doktora Tezi, Queensland University of Technology, Avustralya.
- [134] Singh, M., (2016). “Zone-2 Setting of Distance Relays Using User Defined Time-Inverse over Current Relay Characteristics”, Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), 2016 IEEE/PES, 3-5 Mayıs 2016, Dallas.
- [135] Beasley, D., Bull, D. R. ve Martin, R. R., (1993). “An Overview of Genetic Algorithms: Part 1, Fundamentals”, University Computing, 15(2): 56–69.
- [136] Teeuwssen, S. P., Erlich, I., El-Sharkawi, M. A. ve Bachmann, U., (2006). “Genetic Algorithm and Decision Tree-Based Oscillatory Stability Assessment”, IEEE Transactions on Power Systems, 21(2): 746–753.

- [137] Goldberg, D. E.,(1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesely Publishing Company, Amerika Birleşik Devletleri.
- [138] Coley, D. A.,(1999). An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers, World Scientific Publishing Company, London.
- [139] Man, K.-F., Tang, K.-S., Kwong, S., Johnson, M. ve Grimble, M., (1999). Genetic Algorithms: Concepts and Designs, Springer-Verlag New York, Inc., London.
- [140] Mitchell, M.,(1998). An Introduction to Genetic Algorithms, MIT press, Cambridge.
- [141] Beasley, D., Bull, D. R. ve Martin, R. R., (1993). “An Overview of Genetic Algorithms: Part 2, Fundamentals”, University Computing, 15(4): 170–181.
- [142] Colin, R. R. ve Jonathan, E., (2002). Genetic Algorithms-Principles and Perspectives, A Guide to GA Theory, Kluwer Academic Publisher, Amerika Birleşik Devletleri.
- [143] Kazarlis, S. A., Bakirtzis, A. ve Petridis, V., (1996). “A Genetic Algorithm Solution to the Unit Commitment Problem”, IEEE Transactions on Power Systems, 11(1): 83–92.
- [144] Whitley, D.,(1994). “A Genetic Algorithm Tutorial”, Statistics and Computing, 4(2): 65–85.
- [145] Orero, S. ve Irving, M., (1998). “A Genetic Algorithm Modelling Framework and Solution Technique for Short Term Optimal Hydrothermal Scheduling”, IEEE Transactions on Power Systems, 13(2): 501–518.
- [146] Farsangi, M. M., Nezamabadi-pour, H., Song, Y.-H. ve Lee, K. Y., (2007). “Placement of SVCs and Selection of Stabilizing Signals in Power Systems”, IEEE Transactions on Power Systems, 22(3): 1061–1071.
- [147] Malachi, Y. ve Singer, S., (2006). “A Genetic Algorithm for the Corrective Control of Voltage and Reactive Power”, IEEE Transactions on Power Systems, 21(1): 295–300.
- [148] Iba, K.,(1994). “Reactive Power Optimization by Genetic Algorithm”, IEEE Transactions on Power Systems, 9(2): 685–692.
- [149] Johnson, J. M. ve Rahmat-Samii, V., (1997). “Genetic Algorithms in Engineering Electromagnetics”, IEEE Antennas and Propagation Magazine, 39(4): 7–21.
- [150] Storn, R., (1996). “On the Usage of Differential Evolution for Function Optimization”, Biennial Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS), 19-22 Haziran 1996, Berkeley.
- [151] University of Washington, Power Systems Test Case Archive, <https://www2.ee.washington.edu/research/pstca/>, 5 Şubat 2018.
- [152] DIgSILENT GmbH, DIgSILENT/PowerFactory Software, <https://www.digsilent.de/en/>, 5 Mart 2018.

- [153] Talaat, H. E. A., Abdelaziz, A. Y., Nosseir, A. I. ve Hajjar, A. A., (1999). “Optimal Coordination of Overcurrent Relays by Linear Programming: An Enhanced Problem Formulation”, 3rd CIGRE Regional Conference Arab Countries, Mayıs 1999, Douha.

IEEE 14 BARALI SİSTEMİ İÇİN EK BİLGİLER

Çizelge A.1: IEEE 14 Baralı Sisteme Ait Hatların Direnç ve Reaktans Bilgileri*

Bara İsmi	Bara İsmi	R [p.u.]	X [p.u.]	Bara İsmi	Bara İsmi	R [p.u.]	X [p.u.]
Bara 1	Bara 2**	6,753542	20,61956	Bara 9	Bara 10	0,3464109	0,9202054
Bara 2	Bara 3	8,187537	34,49428	Bara 6	Bara 11	1,0343320	2,1660210
Bara 2	Bara 4	10,12509	30,72200	Bara 6	Bara 12	1,3384900	2,7857710
Bara 1	Bara 5	9,414187	38,86250	Bara 6	Bara 13	0,7203735	1,4186400
Bara 2	Bara 5	9,922968	30,29685	Bara 9	Bara 14	1,3842280	2,9444390
Bara 3	Bara 4	11,67582	29,80027	Bara 10	Bara 11	0,8935243	2,0916430
Bara 4	Bara 5	2,326104	7,337246	Bara 12	Bara 13	2,4058190	2,1766930
				Bara 13	Bara 14	1,8614280	3,7899380

*Tüm hatların uzunlukları 1 km olarak kabul edilmiştir.

**Şekil üzerinde iki tane hat görülmekteyken çizelgede sadece bir tane hatta ait bilgiler verilmiştir. Bunun nedeni iki hattın özdeş olmasıdır.

Çizelge A.2: Baraların Üretim ve Tüketim Gücü Bilgileri

Bara İsmi	P_g [MW]	Q_g [MVar]	P_l [MW]	Q_l [MVar]
Bara 1	232.4	-16.9	0	0
Bara 2	40	42.4	21.7	12.7
Bara 3	0	23.4	94.2	19
Bara 4	0	0	47.8	-3.9
Bara 5	0	0	7.6	1.6
Bara 6	0	12.2	11.2	7.5
Bara 7	0	0	0	0
Bara 8	0	17.4	0	0
Bara 9	0	0	29.5	16.6
Bara 10	0	0	9	5.8
Bara 11	0	0	3.5	1.8
Bara 12	0	0	6.1	1.6
Bara 13	0	0	13.5	5.8
Bara 14	0	0	14.9	5

Çizelge A.3: Transformatör Bilgileri

Bara İsmi	İsmi	Pozitif Bileşen		Sıfır Bileşen		Güç
		R [p.u.]	X [p.u.]	R [p.u.]	X [p.u.]	[MVA]
Bara 5	Bara 6	0	0,556	0	0	100
Bara 4	Bara 9	0	0,556	0	0	100
Bara 4	Bara 7	0	0,209	0	0	100
Bara 7	Bara 9	0	0,110	0	0	100
Bara 7	Bara 8	0	0,176	0	0	100

Çizelge A.4: Generatör Bilgileri

Bara İsmi	Pozitif Bileşen		Negatif Bileşen		Sıfır Bileşen	
	R [p.u.]	X [p.u.]	R [p.u.]	X [p.u.]	R [p.u.]	X [p.u.]
Bara 1	0,001	0,007	0,001	0,07	0,001	0,007
Bara 2	0,002	0,011	0,002	0,011	0,002	0,01
Bara 3	0,007	0,13	0,006	0,22	0,006	0,1
Bara 6	0,002	0,162	0,002	0,22	0,002	0,1
Bara 8	0,001	0,095	0,001	0,2	0,001	0,1

MATLAB KODLARI

B-1 Genetik Algoritma Durum 1 için Matlab Kodu

GA.m

```
rng('shuffle')

RoleDegiskenlerSayisi = 2*16;
BirRoleIpBitUzunlugu = 19;
it=500;
Np=10000;
penaltiDegeri =300;
rolelerinAcmaSureleri = zeros(30*4,Np);
FarkVektoru = zeros(14*4,Np);
CTImin = 0.3;
mutasyonCounter = 0;
Tplb = 0.05;
TpUb = 1;
RealFitness = zeros(Np+1,it);

RoleSayisiTop = 16;
IpUpperLimit = zeros(RoleSayisiTop,1);

stoppingCriteria = 7;
stopIndex = 0;
stopVector = zeros(1,Np);

fitnessvalues = zeros(Np,1);
sumoffitness = zeros (1,it);
IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu;
IpChromosomePopIndex2 = 1;
sumofRealfitness = zeros (1,it);

filename = 'Input.xlsx';
filename_s = 'Input_SinglePhase.xlsx';
filename_ds = 'Input_2PhaseToGround.xlsx';
filename_dd = 'Input_PhaseToPhase.xlsx';
sheet = 1;
xlRange1 = 'B2:B17';
xlRange2 = 'D2:C31';
xlRange3 = 'F2:F31';

Gerilimler = xlsread(filename,sheet,xlRange2);
```

```

KDAkimlari = xlsread(filename, sheet, xlRange3);
YukAkimlari = xlsread(filename, sheet, xlRange1);

Gerilimler_s = xlsread(filename_s, sheet, xlRange2);
KDAkimlari_s = xlsread(filename_s, sheet, xlRange3);

Gerilimler_ds = xlsread(filename_ds, sheet, xlRange2);
KDAkimlari_ds = xlsread(filename_ds, sheet, xlRange3);

Gerilimler_dd = xlsread(filename_dd, sheet, xlRange2);
KDAkimlari_dd = xlsread(filename_dd, sheet, xlRange3);

FaultCurrentComparisonMatrix = zeros(length(KDAkimlari), 4);
FaultCurrentComparisonMatrix(:, 1) = KDAkimlari;
FaultCurrentComparisonMatrix(:, 2) = KDAkimlari_s;
FaultCurrentComparisonMatrix(:, 3) = KDAkimlari_ds;
FaultCurrentComparisonMatrix(:, 4) = KDAkimlari_dd;
MinFaultCurrentMatrix = zeros(length(KDAkimlari), 2);
MinFaultCurrentMatrix(:, 2) = 5;

for indexofMinFault = 1:length(MinFaultCurrentMatrix)
    MinFaultCurrentMatrix(indexofMinFault, 1) =
        min(FaultCurrentComparisonMatrix(indexofMinFault, :));
    IpUpperLimit(indexofMinFault, 1) =
        min(MinFaultCurrentMatrix(indexofMinFault, :));
end

IpSekYukR1 = YukAkimlari(1);
IpSekYukR2 = YukAkimlari(2);
IpSekYukR3 = YukAkimlari(3);
IpSekYukR4 = YukAkimlari(4);
IpSekYukR5 = YukAkimlari(5);
IpSekYukR6 = YukAkimlari(6);
IpSekYukR7 = YukAkimlari(7);
IpSekYukR8 = YukAkimlari(8);
IpSekYukR9 = YukAkimlari(9);
IpSekYukR10 = YukAkimlari(10);
IpSekYukR11 = YukAkimlari(11);
IpSekYukR12 = YukAkimlari(12);
IpSekYukR13 = YukAkimlari(13);
IpSekYukR14 = YukAkimlari(14);
IpSekYukR15 = YukAkimlari(15);
IpSekYukR16 = YukAkimlari(16);

RoleDegiskenlerGercekDegerleri = zeros(Np, RoleDegiskenlerSayisi);
IpBinary = zeros(1, BirRoleIpBitUzunlugu);
IpChromosomePop =
    zeros(Np, BirRoleIpBitUzunlugu*RoleDegiskenlerSayisi);
realMatrixofIp = zeros(Np, RoleSayisiTop);
realMatrixofTp = zeros(Np, RoleSayisiTop);
realMatrixofIpandTp = zeros(Np, RoleDegiskenlerSayisi);
tamsayi = 3;
ondalikkisim = 16;
binaryFormofIpandTp =
    zeros(Np, BirRoleIpBitUzunlugu*RoleDegiskenlerSayisi);

for k = 1:RoleDegiskenlerSayisi
    mI = 1;
    mT = 1;
    while(k <= RoleSayisiTop && length(find(~realMatrixofIp(:, k))) ~= 0)

```

```

        IpBinary = zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu);
        for i = 1:1:BirRoleIpBitUzunlugu
            IpBinary(i) = round(rand);
        end
        realValueofIp = IpBinary*pow2([tamsayi-1:-1:0 -
        (1:ondalikkisim)].');
        if(realValueofIp > YukAkimlari(k) && realValueofIp <
            IpUpperLimit(k))
            realMatrixofIp(mI,k) = realValueofIp;
            mI = mI + 1;
        end
    end
    while(k > RoleSayisiTop && length(find(~realMatrixofTp(:,k-
        ...RoleSayisiTop)))~=0)
        TpBinary = zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu);
        for i = 1:1:BirRoleIpBitUzunlugu
            TpBinary(i) = round(rand);
        end
        realValueofTp = TpBinary*pow2([tamsayi-1:-1:0 -
        (1:ondalikkisim)].');
        if(realValueofTp > Tplb && realValueofTp < TpUb)
            realMatrixofTp(mT,k - RoleSayisiTop) = realValueofTp;
            mT = mT + 1;
        end
    end
end

realMatrixofIpandTp(:,1:(RoleSayisiTop)) = realMatrixofIp;
realMatrixofIpandTp(:,(RoleSayisiTop)+1 : end) = realMatrixofTp;

for ii = 1:Np
    IpChromosomePopIndex2 = 1;
    IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu;
    for jj = 1:RoleDegiskenlerSayisi
        d2b = [ fix(rem(fix(realMatrixofIpandTp(ii,jj))*pow2(-(tamsayi-
            1):0),2)),fix(rem(rem(realMatrixofIpandTp(ii,jj),1)*pow2(1:ondal
            ikkisim),2))] ;
        binaryFormofIpandTp(ii,IpChromosomePopIndex2:
        IpChromosomePopIndex)=d2b;
        IpChromosomePopIndex2 = BirRoleIpBitUzunlugu +
        IpChromosomePopIndex2;
        IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu +
        IpChromosomePopIndex ;
    end
end

CaprazlamaSonrasiJenerasyon = binaryFormofIpandTp;
fitnessvalues = 1./fitnessvalues;

for r = 1:it
    for m = 1:Np
        IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu;
        IpChromosomePopIndex2 = 1;
        for k = 1:RoleDegiskenlerSayisi
            IpBinary = (CaprazlamaSonrasiJenerasyon(m,...
                IpChromosomePopIndex2: IpChromosomePopIndex ));
            IpReal = IpBinary*pow2([tamsayi-1:-1:0 -
                (1:ondalikkisim)].');
            RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,k) = IpReal;
            IpChromosomePopIndex2 = BirRoleIpBitUzunlugu +
                IpChromosomePopIndex2;
        end
    end
end

```

```

        IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu +
                                IpChromosomePopIndex ;
    end
end

    for t = 1: Np

        [fitnessvalues(t,1),rolelerinAcmaSureleri(:,t),FarkVektoru
        (:,t)] =
        fitnessfunction(RoleDegiskenlerGercekDegerleri(t,1:end),pe
        naltiDegeri,CTImin,KDAkimlari,KDAkimlari_s,KDAkimlari_ds,K
        DAKimlari_dd);
    end

    for m = 1:Np
        penaltiCounterIp = 0; penaltiCounterTp = 0; penaltiTop = 0;
        for i = 1:RoleDegiskenlerSayisi
            if(i <= RoleSayisiTop)
                if ((RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,i) >
                    IpUpperLimit(i)) ||
                    RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,i) <
                    YukAkimlari(i))
                    penaltiCounterIp = penaltiCounterIp +1;
                end
            end
            if(i > RoleSayisiTop && i <= RoleSayisiTop*2)
                if ((RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,i) > TpUb) ||
                    RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,i) < Tplb)
                    penaltiCounterTp = penaltiCounterTp +1;
                end
            end
        end

        penaltiTop = penaltiCounterIp + penaltiCounterTp;
        fitnessvalues(m) = fitnessvalues(m)+penaltiDegeri*penaltiTop;
    end
    RealFitness(1:Np,r) = fitnessvalues;
    RealFitness(Np+1,r) = sum(fitnessvalues)/Np;
    fitnessvalues = 1./fitnessvalues;

    EslesmeHavuzu = ruletmasasi (fitnessvalues,
                                CaprazlamaSonrasiJenerasyon, Np,
                                BirRoleIpBitUzunlugu,RoleDegiskenlerSayisi);
    CaprazlamaSonrasiJenerasyon = Caprazlamav2(EslesmeHavuzu,
                                BirRoleIpBitUzunlugu,Np,RoleDegiskenlerSayisi);
    [CaprazlamaSonrasiJenerasyon, mutasyonCounter] =
        Mutasyon(CaprazlamaSonrasiJenerasyon,RoleDegiskenl
        erSayisi,BirRoleIpBitUzunlugu,Np,mutasyonCounter);

    sumoffitness(1,r) = sum(fitnessvalues);
    sumofRealfitness(1,r) = sum(RealFitness(:,r));

    if(r > 1)
        epsilon = 100*(abs(RealFitness(Np+1,r)-RealFitness(Np+1,r-
            1)))/RealFitness(Np+1,r-1);
        if (epsilon < stoppingCriteria)
            stopIndex = stopIndex + 1;
            stopVector(stopIndex) = r;
            if(stopIndex > 10 && (stopVector(stopIndex)-
                stopVector(stopIndex-10) == 10))

```

```

disp('Algorithm is stopped because stopping criteria
                                     is met!')
break
end
end
end
disp(r)
end
Caprazlama.m

function CaprazlamaSonrasiJenerasyon = Caprazlamav2(EslesmeHavuzu,
BirRoleIpBitUzunlugu, Np, RoleIpSayisi)

indexVectorShuffled = 1:Np;
indexVectorShuffled =
indexVectorShuffled(randperm(length(indexVectorShuffled)));

EslesmeHavuzu = EslesmeHavuzu(indexVectorShuffled,:);
CaprazlamaSonrasiJenerasyon=zeros(Np,BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi
);

for indexCaprazlama = 1:1:(Np/2)
x=round((rand)*((BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi)-1));
i_ind=EslesmeHavuzu((2*indexCaprazlama)-1,:);
j_ind=EslesmeHavuzu((2*indexCaprazlama),:);
i1part=i_ind(1,1:(x));
i2part=i_ind(1,(x+1):end);
j1part=j_ind(1,1:(x));
j2part=j_ind(1,(x+1):end);
i_ind_new=zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi);
i_ind_new(1,(1:x))=i1part(1,:);
i_ind_new(1,(x+1):end)=j2part(1,:);
j_ind_new=zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi);
j_ind_new(1,(1:x))=j1part(1,:);
j_ind_new(1,(x+1):end)=i2part(1,:);
CaprazlamaSonrasiJenerasyon((2*indexCaprazlama)-
1,:)=i_ind_new;
CaprazlamaSonrasiJenerasyon((2*indexCaprazlama),:)=j_ind_new;
end
end
fitnessfunction.m

function [ToplamAcma,rolelerinAcmaSureleri,FarkVektoru] =
fitnessfunction(IpSatir,penaltiDegeri,CTImin,KDAkimlari,KDAkimlari_s,K
DAkimlari_ds,KDAkimlari_dd)

penaltyCounterCTI = 0;

Ip1      = IpSatir(1);
Ip2      = IpSatir(2);
Ip3      = IpSatir(3);
Ip4      = IpSatir(4);
Ip5      = IpSatir(5);
Ip6      = IpSatir(6);
Ip7      = IpSatir(7);
Ip8      = IpSatir(8);
Ip9      = IpSatir(9);
Ip10     = IpSatir(10);
Ip11     = IpSatir(11);
Ip12     = IpSatir(12);
Ip13     = IpSatir(13);

```

```

Ip14      = IpSatir(14);
Ip15      = IpSatir(15);
Ip16      = IpSatir(16);

TDS1      = IpSatir(17);
TDS2      = IpSatir(18);
TDS3      = IpSatir(19);
TDS4      = IpSatir(20);
TDS5      = IpSatir(21);
TDS6      = IpSatir(22);
TDS7      = IpSatir(23);
TDS8      = IpSatir(24);
TDS9      = IpSatir(25);
TDS10     = IpSatir(26);
TDS11     = IpSatir(27);
TDS12     = IpSatir(28);
TDS13     = IpSatir(29);
TDS14     = IpSatir(30);
TDS15     = IpSatir(31);
TDS16     = IpSatir(32);

Ik0A1     = KDAkimlari(1) ;
Ik0A2     = KDAkimlari(2) ;
Ik0A4     = KDAkimlari(3) ;

Ik0B3     = KDAkimlari(4) ;
Ik0B1     = KDAkimlari(5) ;
Ik0B4     = KDAkimlari(6) ;
Ik0B16    = KDAkimlari(7) ;
Ik0B7     = KDAkimlari(8) ;

Ik0C5     = KDAkimlari(9) ;
Ik0C3     = KDAkimlari(10);
Ik0C7     = KDAkimlari(11);
Ik0C16    = KDAkimlari(12);

Ik0D7     = KDAkimlari(13);
Ik0D9     = KDAkimlari(14);
Ik0D6     = KDAkimlari(15);
Ik0D16    = KDAkimlari(16);
Ik0D3     = KDAkimlari(17);
Ik0E14    = KDAkimlari(18);
Ik0E12    = KDAkimlari(19);
Ik0E15    = KDAkimlari(20);
Ik0F12    = KDAkimlari(21);
Ik0F10    = KDAkimlari(22);
Ik0F13    = KDAkimlari(23);
Ik0F15    = KDAkimlari(24);
Ik0G11    = KDAkimlari(25);
Ik0G13    = KDAkimlari(26);
Ik0G10    = KDAkimlari(27);
Ik0H8     = KDAkimlari(28);
Ik0H6     = KDAkimlari(29);
Ik0H9     = KDAkimlari(30);

Ik0A1_s   = KDAkimlari_s(1) ;
Ik0A2_s   = KDAkimlari_s(2) ;
Ik0A4_s   = KDAkimlari_s(3) ;

```



```

Ik0B3_s = KDAkimlari_s(4) ;
Ik0B1_s = KDAkimlari_s(5) ;
Ik0B4_s = KDAkimlari_s(6) ;
Ik0B16_s = KDAkimlari_s(7) ;
Ik0B7_s = KDAkimlari_s(8) ;

Ik0C5_s = KDAkimlari_s(9) ;
Ik0C3_s = KDAkimlari_s(10);
Ik0C7_s = KDAkimlari_s(11);
Ik0C16_s = KDAkimlari_s(12);

Ik0D7_s = KDAkimlari_s(13);
Ik0D9_s = KDAkimlari_s(14);
Ik0D6_s = KDAkimlari_s(15);
Ik0D16_s = KDAkimlari_s(16);
Ik0D3_s = KDAkimlari_s(17);

Ik0E14_s = KDAkimlari_s(18);
Ik0E12_s = KDAkimlari_s(19);
Ik0E15_s = KDAkimlari_s(20);

Ik0F12_s = KDAkimlari_s(21);
Ik0F10_s = KDAkimlari_s(22);
Ik0F13_s = KDAkimlari_s(23);
Ik0F15_s = KDAkimlari_s(24);

Ik0G11_s = KDAkimlari_s(25);
Ik0G13_s = KDAkimlari_s(26);
Ik0G10_s = KDAkimlari_s(27);

Ik0H8_s = KDAkimlari_s(28);
Ik0H6_s = KDAkimlari_s(29);
Ik0H9_s = KDAkimlari_s(30);

Ik0A1_ds = KDAkimlari_ds(1) ;
Ik0A2_ds = KDAkimlari_ds(2) ;
Ik0A4_ds = KDAkimlari_ds(3) ;

Ik0B3_ds = KDAkimlari_ds(4) ;
Ik0B1_ds = KDAkimlari_ds(5) ;
Ik0B4_ds = KDAkimlari_ds(6) ;
Ik0B16_ds = KDAkimlari_ds(7) ;
Ik0B7_ds = KDAkimlari_ds(8) ;

Ik0C5_ds = KDAkimlari_ds(9) ;
Ik0C3_ds = KDAkimlari_ds(10);
Ik0C7_ds = KDAkimlari_ds(11);
Ik0C16_ds = KDAkimlari_ds(12);

Ik0D7_ds = KDAkimlari_ds(13);
Ik0D9_ds = KDAkimlari_ds(14);
Ik0D6_ds = KDAkimlari_ds(15);
Ik0D16_ds = KDAkimlari_ds(16);
Ik0D3_ds = KDAkimlari_ds(17);

Ik0E14_ds = KDAkimlari_ds(18);
Ik0E12_ds = KDAkimlari_ds(19);
Ik0E15_ds = KDAkimlari_ds(20);

```

```

Ik0F12_ds = KDAkimlari_ds(21);
Ik0F10_ds = KDAkimlari_ds(22);
Ik0F13_ds = KDAkimlari_ds(23);
Ik0F15_ds = KDAkimlari_ds(24);

Ik0G11_ds = KDAkimlari_ds(25);
Ik0G13_ds = KDAkimlari_ds(26);
Ik0G10_ds = KDAkimlari_ds(27);

Ik0H8_ds = KDAkimlari_ds(28);
Ik0H6_ds = KDAkimlari_ds(29);
Ik0H9_ds = KDAkimlari_ds(30);

Ik0A1_dd = KDAkimlari_dd(1) ;
Ik0A2_dd = KDAkimlari_dd(2) ;
Ik0A4_dd = KDAkimlari_dd(3) ;

Ik0B3_dd = KDAkimlari_dd(4) ;
Ik0B1_dd = KDAkimlari_dd(5) ;
Ik0B4_dd = KDAkimlari_dd(6) ;
Ik0B16_dd = KDAkimlari_dd(7) ;
Ik0B7_dd = KDAkimlari_dd(8) ;

Ik0C5_dd = KDAkimlari_dd(9) ;
Ik0C3_dd = KDAkimlari_dd(10);
Ik0C7_dd = KDAkimlari_dd(11);
Ik0C16_dd = KDAkimlari_dd(12);

Ik0D7_dd = KDAkimlari_dd(13);
Ik0D9_dd = KDAkimlari_dd(14);
Ik0D6_dd = KDAkimlari_dd(15);
Ik0D16_dd = KDAkimlari_dd(16);
Ik0D3_dd = KDAkimlari_dd(17);

Ik0E14_dd = KDAkimlari_dd(18);
Ik0E12_dd = KDAkimlari_dd(19);
Ik0E15_dd = KDAkimlari_dd(20);

Ik0F12_dd = KDAkimlari_dd(21);
Ik0F10_dd = KDAkimlari_dd(22);
Ik0F13_dd = KDAkimlari_dd(23);
Ik0F15_dd = KDAkimlari_dd(24);

Ik0G11_dd = KDAkimlari_dd(25);
Ik0G13_dd = KDAkimlari_dd(26);
Ik0G10_dd = KDAkimlari_dd(27);

Ik0H8_dd = KDAkimlari_dd(28);
Ik0H6_dd = KDAkimlari_dd(29);
Ik0H9_dd = KDAkimlari_dd(30);

T1F1 = TDS1*(0.14/((( Ik0A1 / Ip1 )^0.02)-1));
T2F1 = TDS2*(0.14/((( Ik0A2 / Ip2 )^0.02)-1));
T4F1 = TDS4*(0.14/((( Ik0A4 / Ip4 )^0.02)-1));

T3F2 = TDS3*(0.14/((( Ik0B3 / Ip3 )^0.02)-1));
T1F2 = TDS1*(0.14/((( Ik0B1 / Ip1 )^0.02)-1));
T4F2 = TDS4*(0.14/((( Ik0B4 / Ip4 )^0.02)-1));
T16F2 = TDS16*(0.14/((( Ik0B16 / Ip16 )^0.02)-1));

```

```

T7F2      = TDS7*(0.14/((( Ik0B7  / Ip7  )^0.02)-1));

T5F3      = TDS5*(0.14/((( Ik0C5  / Ip5  )^0.02)-1));
T3F3      = TDS3*(0.14/((( Ik0C3  / Ip3  )^0.02)-1));
T7F3      = TDS7*(0.14/((( Ik0C7  / Ip7  )^0.02)-1));
T16F3     = TDS16*(0.14/((( Ik0C16 / Ip16 )^0.02)-1));

T7F4      = TDS7*(0.14/((( Ik0D7  / Ip7  )^0.02)-1));
T9F4      = TDS9*(0.14/((( Ik0D9  / Ip9  )^0.02)-1));
T6F4      = TDS6*(0.14/((( Ik0D6  / Ip6  )^0.02)-1));
T16F4     = TDS16*(0.14/((( Ik0D16 / Ip16 )^0.02)-1));
T3F4      = TDS3*(0.14/((( Ik0D3  / Ip3  )^0.02)-1));

T14F5     = TDS14*(0.14/((( Ik0E14 / Ip14 )^0.02)-1));
T12F5     = TDS12*(0.14/((( Ik0E12 / Ip12 )^0.02)-1));
T15F5     = TDS15*(0.14/((( Ik0E15 / Ip15 )^0.02)-1));

T12F6     =TDS12*( 0.14/((( Ik0F12 / Ip12 )^0.02)-1));
T10F6     =TDS10*(0.14/((( Ik0F10 / Ip10 )^0.02)-1));
T13F6     =TDS13*( 0.14/((( Ik0F13 / Ip13 )^0.02)-1));
T15F6     =TDS15*(0.14/((( Ik0F15 / Ip15 )^0.02)-1));

T11F7     =TDS11*(0.14/((( Ik0G11 / Ip11 )^0.02)-1));
T13F7     =TDS13*(0.14/((( Ik0G13 / Ip13 )^0.02)-1));
T10F7     =TDS10*(0.14/((( Ik0G10 / Ip10 )^0.02)-1));

T8F8      =TDS8*( 0.14/((( Ik0H8  / Ip8  )^0.02)-1));
T6F8      =TDS6*(0.14/((( Ik0H6  / Ip6  )^0.02)-1));
T9F8      =TDS9*(0.14/((( Ik0H9  / Ip9  )^0.02)-1));

% single phase
T1F1_s     = TDS1*(0.14/((( Ik0A1_s / Ip1  )^0.02)-1));
T2F1_s     = TDS2*(0.14/((( Ik0A2_s / Ip2  )^0.02)-1));
T4F1_s     = TDS4*(0.14/((( Ik0A4_s / Ip4  )^0.02)-1));

T3F2_s     = TDS3*(0.14/((( Ik0B3_s / Ip3  )^0.02)-1));
T1F2_s     = TDS1*(0.14/((( Ik0B1_s / Ip1  )^0.02)-1));
T4F2_s     = TDS4*(0.14/((( Ik0B4_s / Ip4  )^0.02)-1));
T16F2_s    = TDS16*(0.14/((( Ik0B16_s / Ip16 )^0.02)-1));
T7F2_s     = TDS7*(0.14/((( Ik0B7_s / Ip7  )^0.02)-1));

T5F3_s     = TDS5*(0.14/((( Ik0C5_s / Ip5  )^0.02)-1));
T3F3_s     = TDS3*(0.14/((( Ik0C3_s / Ip3  )^0.02)-1));
T7F3_s     = TDS7*(0.14/((( Ik0C7_s / Ip7  )^0.02)-1));
T16F3_s    = TDS16*(0.14/((( Ik0C16_s / Ip16 )^0.02)-1));

T7F4_s     = TDS7*(0.14/((( Ik0D7_s / Ip7  )^0.02)-1));
T9F4_s     = TDS9*(0.14/((( Ik0D9_s / Ip9  )^0.02)-1));
T6F4_s     = TDS6*(0.14/((( Ik0D6_s / Ip6  )^0.02)-1));
T16F4_s    = TDS16*(0.14/((( Ik0D16_s / Ip16 )^0.02)-1));
T3F4_s     = TDS3*(0.14/((( Ik0D3_s / Ip3  )^0.02)-1));

T14F5_s    = TDS14*(0.14/((( Ik0E14_s / Ip14 )^0.02)-1));
T12F5_s    = TDS12*(0.14/((( Ik0E12_s / Ip12 )^0.02)-1));
T15F5_s    = TDS15*(0.14/((( Ik0E15_s / Ip15 )^0.02)-1));

T12F6_s    =TDS12*( 0.14/((( Ik0F12_s / Ip12 )^0.02)-1));
T10F6_s    =TDS10*(0.14/((( Ik0F10_s / Ip10 )^0.02)-1));
T13F6_s    =TDS13*( 0.14/((( Ik0F13_s / Ip13 )^0.02)-1));

```

```

T15F6_s    =TDS15*(0.14/((( Ik0F15_s / Ip15 )^0.02)-1));

T11F7_s    =TDS11*(0.14/((( Ik0G11_s / Ip11 )^0.02)-1));
T13F7_s    =TDS13*(0.14/((( Ik0G13_s / Ip13 )^0.02)-1));
T10F7_s    =TDS10*(0.14/((( Ik0G10_s / Ip10 )^0.02)-1));

T8F8_s     =TDS8*( 0.14/((( Ik0H8_s / Ip8 )^0.02)-1));
T6F8_s     =TDS6*(0.14/((( Ik0H6_s / Ip6 )^0.02)-1));
T9F8_s     =TDS9*(0.14/((( Ik0H9_s / Ip9 )^0.02)-1));

%double phase

T1F1_ds    = TDS1*(0.14/((( Ik0A1_ds / Ip1 )^0.02)-1));
T2F1_ds    = TDS2*(0.14/((( Ik0A2_ds / Ip2 )^0.02)-1));
T4F1_ds    = TDS4*(0.14/((( Ik0A4_ds / Ip4 )^0.02)-1));

T3F2_ds    = TDS3*(0.14/((( Ik0B3_ds / Ip3 )^0.02)-1));
T1F2_ds    = TDS1*(0.14/((( Ik0B1_ds / Ip1 )^0.02)-1));
T4F2_ds    = TDS4*(0.14/((( Ik0B4_ds / Ip4 )^0.02)-1));
T16F2_ds   = TDS16*(0.14/((( Ik0B16_ds / Ip16 )^0.02)-1));
T7F2_ds    = TDS7*(0.14/((( Ik0B7_ds / Ip7 )^0.02)-1));

T5F3_ds    = TDS5*(0.14/((( Ik0C5_ds / Ip5 )^0.02)-1));
T3F3_ds    = TDS3*(0.14/((( Ik0C3_ds / Ip3 )^0.02)-1));
T7F3_ds    = TDS7*(0.14/((( Ik0C7_ds / Ip7 )^0.02)-1));
T16F3_ds   = TDS16*(0.14/((( Ik0C16_ds / Ip16 )^0.02)-1));

T7F4_ds    = TDS7*(0.14/((( Ik0D7_ds / Ip7 )^0.02)-1));
T9F4_ds    = TDS9*(0.14/((( Ik0D9_ds / Ip9 )^0.02)-1));
T6F4_ds    = TDS6*(0.14/((( Ik0D6_ds / Ip6 )^0.02)-1));
T16F4_ds   = TDS16*(0.14/((( Ik0D16_ds / Ip16 )^0.02)-1));
T3F4_ds    = TDS3*(0.14/((( Ik0D3_ds / Ip3 )^0.02)-1));

T14F5_ds   = TDS14*(0.14/((( Ik0E14_ds / Ip14 )^0.02)-1));
T12F5_ds   = TDS12*(0.14/((( Ik0E12_ds / Ip12 )^0.02)-1));
T15F5_ds   = TDS15*(0.14/((( Ik0E15_ds / Ip15 )^0.02)-1));

T12F6_ds   =TDS12*( 0.14/((( Ik0F12_ds / Ip12 )^0.02)-1));
T10F6_ds   =TDS10*(0.14/((( Ik0F10_ds / Ip10 )^0.02)-1));
T13F6_ds   =TDS13*( 0.14/((( Ik0F13_ds / Ip13 )^0.02)-1));
T15F6_ds   =TDS15*(0.14/((( Ik0F15_ds / Ip15 )^0.02)-1));

T11F7_ds   =TDS11*(0.14/((( Ik0G11_ds / Ip11 )^0.02)-1));
T13F7_ds   =TDS13*(0.14/((( Ik0G13_ds / Ip13 )^0.02)-1));
T10F7_ds   =TDS10*(0.14/((( Ik0G10_ds / Ip10 )^0.02)-1));

T8F8_ds    =TDS8*( 0.14/((( Ik0H8_ds / Ip8 )^0.02)-1));
T6F8_ds    =TDS6*(0.14/((( Ik0H6_ds / Ip6 )^0.02)-1));
T9F8_ds    =TDS9*(0.14/((( Ik0H9_ds / Ip9 )^0.02)-1));

%phase to phase

T1F1_dd    = TDS1*(0.14/((( Ik0A1_dd / Ip1 )^0.02)-1));
T2F1_dd    = TDS2*(0.14/((( Ik0A2_dd / Ip2 )^0.02)-1));
T4F1_dd    = TDS4*(0.14/((( Ik0A4_dd / Ip4 )^0.02)-1));

T3F2_dd    = TDS3*(0.14/((( Ik0B3_dd / Ip3 )^0.02)-1));
T1F2_dd    = TDS1*(0.14/((( Ik0B1_dd / Ip1 )^0.02)-1));
T4F2_dd    = TDS4*(0.14/((( Ik0B4_dd / Ip4 )^0.02)-1));

```

```

T16F2_dd = TDS16*(0.14/((( Ik0B16_dd / Ip16 )^0.02)-1));
T7F2_dd = TDS7*(0.14/((( Ik0B7_dd / Ip7 )^0.02)-1));

T5F3_dd = TDS5*(0.14/((( Ik0C5_dd / Ip5 )^0.02)-1));
T3F3_dd = TDS3*(0.14/((( Ik0C3_dd / Ip3 )^0.02)-1));
T7F3_dd = TDS7*(0.14/((( Ik0C7_dd / Ip7 )^0.02)-1));
T16F3_dd = TDS16*(0.14/((( Ik0C16_dd / Ip16 )^0.02)-1));

T7F4_dd = TDS7*(0.14/((( Ik0D7_dd / Ip7 )^0.02)-1));
T9F4_dd = TDS9*(0.14/((( Ik0D9_dd / Ip9 )^0.02)-1));
T6F4_dd = TDS6*(0.14/((( Ik0D6_dd / Ip6 )^0.02)-1));
T16F4_dd = TDS16*(0.14/((( Ik0D16_dd / Ip16 )^0.02)-1));
T3F4_dd = TDS3*(0.14/((( Ik0D3_dd / Ip3 )^0.02)-1));

T14F5_dd = TDS14*(0.14/((( Ik0E14_dd / Ip14 )^0.02)-1));
T12F5_dd = TDS12*(0.14/((( Ik0E12_dd / Ip12 )^0.02)-1));
T15F5_dd = TDS15*(0.14/((( Ik0E15_dd / Ip15 )^0.02)-1));

T12F6_dd =TDS12*( 0.14/((( Ik0F12_dd / Ip12 )^0.02)-1));
T10F6_dd =TDS10*(0.14/((( Ik0F10_dd / Ip10 )^0.02)-1));
T13F6_dd =TDS13*( 0.14/((( Ik0F13_dd / Ip13 )^0.02)-1));
T15F6_dd =TDS15*(0.14/((( Ik0F15_dd / Ip15 )^0.02)-1));

T11F7_dd =TDS11*(0.14/((( Ik0G11_dd / Ip11 )^0.02)-1));
T13F7_dd =TDS13*(0.14/((( Ik0G13_dd / Ip13 )^0.02)-1));
T10F7_dd =TDS10*(0.14/((( Ik0G10_dd / Ip10 )^0.02)-1));

T8F8_dd =TDS8*( 0.14/((( Ik0H8_dd / Ip8 )^0.02)-1));
T6F8_dd =TDS6*(0.14/((( Ik0H6_dd / Ip6 )^0.02)-1));
T9F8_dd =TDS9*(0.14/((( Ik0H9_dd / Ip9 )^0.02)-1));

rolelerinAcmaSureleri =
    [T1F1;T2F1;T4F1;T3F2;T1F2;T4F2;T16F2;T7F2;T5F3;T3F3;T7F3;T16F3;T7F
    4;T9F4;T6F4;T16F4;T3F4;T14F5;T12F5;T15F5;T12F6...

    ;T10F6;T13F6;T15F6;T11F7;T13F7;T10F7;T8F8;T6F8;T9F8;T1F1_s;T2F1_s;
    T4F1_s;T3F2_s;T1F2_s;T4F2_s;T16F2_s;T7F2_s;T5F3_s;T3F3_s;T7F3_s;T1
    6F3_s;T7F4_s;T9F4_s;T6F4_s;T16F4_s;T3F4_s;T14F5_s;T12F5_s;T15F5_s;
    T12F6_s...

    ;T10F6_s;T13F6_s;T15F6_s;T11F7_s;T13F7_s;T10F7_s;T8F8_s;T6F8_s;T9F
    8_s;T1F1_ds;T2F1_ds;T4F1_ds;T3F2_ds;T1F2_ds;T4F2_ds;T16F2_ds;T7F2_
    ds;T5F3_ds;T3F3_ds;T7F3_ds;T16F3_ds;T7F4_ds;T9F4_ds;T6F4_ds;T16F4_
    ds;T3F4_ds;T14F5_ds;T12F5_ds;T15F5_ds;T12F6_ds...

    ;T10F6_ds;T13F6_ds;T15F6_ds;T11F7_ds;T13F7_ds;T10F7_ds;T8F8_ds;T6F
    8_ds;T9F8_ds;T1F1_dd;T2F1_dd;T4F1_dd;T3F2_dd;T1F2_dd;T4F2_dd;T16F2
    _dd;T7F2_dd;T5F3_dd;T3F3_dd;T7F3_dd;T16F3_dd;T7F4_dd;T9F4_dd;T6F4_
    dd;T16F4_dd;T3F4_dd;T14F5_dd;T12F5_dd;T15F5_dd;T12F6_dd...

    ;T10F6_dd;T13F6_dd;T15F6_dd;T11F7_dd;T13F7_dd;T10F7_dd;T8F8_dd;T6F
    8_dd;T9F8_dd];

ToplamAcma =
    T1F1+T2F1+T4F1+T3F2+T1F2+T4F2+T16F2+T7F2+T5F3+T3F3+T7F3+T16F3+T7F4
    +T9F4+T6F4+T16F4+T3F4+T14F5+T12F5+T15F5+T12F6...

    +T10F6+T13F6+T15F6+T11F7+T13F7+T10F7+T8F8+T6F8+T9F8+T1F1_s+T2F1_s+
    T4F1_s+T3F2_s+T1F2_s+T4F2_s+T16F2_s+T7F2_s+T5F3_s+T3F3_s+T7F3_s+T1

```

```

6F3_s+T7F4_s+T9F4_s+T6F4_s+T16F4_s+T3F4_s+T14F5_s+T12F5_s+T15F5_s+
T12F6_s...

+T10F6_s+T13F6_s+T15F6_s+T11F7_s+T13F7_s+T10F7_s+T8F8_s+T6F8_s+T9F
8_s+T1F1_ds+T2F1_ds+T4F1_ds+T3F2_ds+T1F2_ds+T4F2_ds+T16F2_ds+T7F2_
ds+T5F3_ds+T3F3_ds+T7F3_ds+T16F3_ds+T7F4_ds+T9F4_ds+T6F4_ds+T16F4_
ds+T3F4_ds+T14F5_ds+T12F5_ds+T15F5_ds+T12F6_ds...

+T10F6_ds+T13F6_ds+T15F6_ds+T11F7_ds+T13F7_ds+T10F7_ds+T8F8_ds+T6F
8_ds+T9F8_ds+T1F1_dd+T2F1_dd+T4F1_dd+T3F2_dd+T1F2_dd+T4F2_dd+T16F2
_dd+T7F2_dd+T5F3_dd+T3F3_dd+T7F3_dd+T16F3_dd+T7F4_dd+T9F4_dd+T6F4_
dd+T16F4_dd+T3F4_dd+T14F5_dd+T12F5_dd+T15F5_dd+T12F6_dd...

+T10F6_dd+T13F6_dd+T15F6_dd+T11F7_dd+T13F7_dd+T10F7_dd+T8F8_dd+T6F
8_dd+T9F8_dd ;

FarkVektoru = zeros(14*4,1);
FarkVektoru(1) = T4F1 - T2F1;
FarkVektoru(2) = T1F2 - T3F2;
FarkVektoru(3) = T16F2 - T4F2;
FarkVektoru(4) = T7F2 - T4F2;
FarkVektoru(5) = T3F3 - T5F3;
FarkVektoru(6) = T7F3 - T5F3;
FarkVektoru(7) = T9F4 - T7F4;
FarkVektoru(8) = T16F4 - T6F4;
FarkVektoru(9) = T3F4 - T6F4;
FarkVektoru(10) = T12F5 - T14F5;
FarkVektoru(11) = T10F6 - T12F6;
FarkVektoru(12) = T15F6 - T13F6;
FarkVektoru(13) = T13F7 - T11F7;
FarkVektoru(14) = T6F8 - T8F8;

FarkVektoru(15) = T4F1_s - T2F1_s;
FarkVektoru(16) = T1F2_s - T3F2_s;
FarkVektoru(17) = T16F2_s - T4F2_s;
FarkVektoru(18) = T7F2_s - T4F2_s;
FarkVektoru(19) = T3F3_s - T5F3_s;
FarkVektoru(20) = T7F3_s - T5F3_s;
FarkVektoru(21) = T9F4_s - T7F4_s;
FarkVektoru(22) = T16F4_s - T6F4_s;
FarkVektoru(23) = T3F4_s - T6F4_s;
FarkVektoru(24) = T12F5_s - T14F5_s;
FarkVektoru(25) = T10F6_s - T12F6_s;
FarkVektoru(26) = T15F6_s - T13F6_s;
FarkVektoru(27) = T13F7_s - T11F7_s;
FarkVektoru(28) = T6F8_s - T8F8_s;

FarkVektoru(29) = T4F1_ds - T2F1_ds;
FarkVektoru(30) = T1F2_ds - T3F2_ds;
FarkVektoru(31) = T16F2_ds - T4F2_ds;
FarkVektoru(32) = T7F2_ds - T4F2_ds;
FarkVektoru(33) = T3F3_ds - T5F3_ds;
FarkVektoru(34) = T7F3_ds - T5F3_ds;
FarkVektoru(35) = T9F4_ds - T7F4_ds;
FarkVektoru(36) = T16F4_ds - T6F4_ds;
FarkVektoru(37) = T3F4_ds - T6F4_ds;
FarkVektoru(38) = T12F5_ds - T14F5_ds;
FarkVektoru(39) = T10F6_ds - T12F6_ds;
FarkVektoru(40) = T15F6_ds - T13F6_ds;
FarkVektoru(41) = T13F7_ds - T11F7_ds;
FarkVektoru(42) = T6F8_ds - T8F8_ds;

```

```

FarkVektoru(43) = T4F1_dd - T2F1_dd;
FarkVektoru(44) = T1F2_dd - T3F2_dd;
FarkVektoru(45) = T16F2_dd - T4F2_dd;
FarkVektoru(46) = T7F2_dd - T4F2_dd;
FarkVektoru(47) = T3F3_dd - T5F3_dd;
FarkVektoru(48) = T7F3_dd - T5F3_dd;
FarkVektoru(49) = T9F4_dd - T7F4_dd;
FarkVektoru(50) = T16F4_dd - T6F4_dd;
FarkVektoru(51) = T3F4_dd - T6F4_dd;
FarkVektoru(52) = T12F5_dd - T14F5_dd;
FarkVektoru(53) = T10F6_dd - T12F6_dd;
FarkVektoru(54) = T15F6_dd - T13F6_dd;
FarkVektoru(55) = T13F7_dd - T11F7_dd;
FarkVektoru(56) = T6F8_dd - T8F8_dd;

k = 100;
for index = 1:length(FarkVektoru)

    if((FarkVektoru(index) < CTImin))
        ToplamAcma = ToplamAcma + penaltiDegeri*k;
    end
end

mutasyon.m

function [CaprazlamaSonrasiJenerasyon,mutasyonCounter] =
    Mutasyon(CaprazlamaSonrasiJenerasyon,RoleIpSayisi,BirRoleIpBi
    tUzunlugu,Np,mutasyonCounter)
y = 0.05*RoleIpSayisi*BirRoleIpBitUzunlugu;
x = 100*rand;
    if (x < y)
        a = 1 + ((Np-1)*rand) ;
        b = 1 + ((BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi - 1)*rand );
        CaprazlamaSonrasiJenerasyon(round(a),round(b)) =
            ~CaprazlamaSonrasiJenerasyon(round(a),round(b));
        mutasyonCounter = mutasyonCounter + 1;
    end
end

ruletmasasi.m

function EslesmeHavuzu =
    ruletmasasi(fitnessvalues,CaprazlamaSonrasiJenerasyon,Np,BirR
    oleIpBitUzunlugu,RoleIpSayisi)
EslesmeHavuzu=zeros(Np,BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi);
y=sum(fitnessvalues);

for r=1:Np
    sel=rand*y;
    top=0;
    ih=1;
        while (top < sel)
            top1=top;
            top=fitnessvalues(ih,1);
            top=top1+top;
            ih=ih+1;
        end
    EslesmeHavuzu(r,:)=CaprazlamaSonrasiJenerasyon(ih-1,:);
end

```

B-2 Genetik Algoritma Durum 2 için Matlab Kodu

GALogV.m

```
rng('shuffle')

Alb = 1;
AUb = 1.25;
Blb = 0;
BUb = 1;
Clb = 0;
CUb = 0.5;

RoleDegiskenlerSayisi = 4*16;
BirRoleIpBitUzunlugu = 19;
it=500;
Np=40000;
penaltiDegeri =300;
rolelerinAcmaSureleri = zeros(30*4,Np);
FarkVektoru = zeros(14*4,Np);
CTImin = 0.3;
mutasyonCounter = 0;
Tplb = 0.05;
TpUb = 1;
RealFitness = zeros(Np+1,it);

RoleSayisiTop = 16;
IpUpperLimit = zeros(RoleSayisiTop,1);

stoppingCriteria = 7;
stopIndex = 0;
stopVector = zeros(1,Np);

fitnessvalues = zeros(Np,1);
sumoffitness = zeros (1,it);
IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu;
IpChromosomePopIndex2 = 1;
sumofRealfitness = zeros (1,it);

filename = 'Input.xlsx';
filename_s = 'Input_SinglePhase.xlsx';
filename_ds = 'Input_2PhaseToGround.xlsx';
filename_dd = 'Input_PhaseToPhase.xlsx';
sheet = 1;
xlRange1 = 'B2:B17';
xlRange2 = 'O2:O31';
xlRange3 = 'F2:F31';

Gerilimler = xlsread(filename,sheet,xlRange2);
KDAkimlari = xlsread(filename,sheet,xlRange3);
YukAkimlari = xlsread(filename,sheet,xlRange1);

Gerilimler_s = xlsread(filename_s,sheet,xlRange2);
KDAkimlari_s = xlsread(filename_s,sheet,xlRange3);

Gerilimler_ds = xlsread(filename_ds,sheet,xlRange2);
KDAkimlari_ds = xlsread(filename_ds,sheet,xlRange3);

Gerilimler_dd = xlsread(filename_dd,sheet,xlRange2);
KDAkimlari_dd = xlsread(filename_dd,sheet,xlRange3);
```



```

FaultCurrentComparisonMatrix = zeros(length(KDAkimlari),4);
FaultCurrentComparisonMatrix(:,1) = KDAkimlari;
FaultCurrentComparisonMatrix(:,2) = KDAkimlari_s;
FaultCurrentComparisonMatrix(:,3) = KDAkimlari_ds;
FaultCurrentComparisonMatrix(:,4) = KDAkimlari_dd;
MinFaultCurrentMatrix = zeros(length(KDAkimlari),2);
MinFaultCurrentMatrix(:,2) = 5;
for indexofMinFault = 1:length(MinFaultCurrentMatrix)
    MinFaultCurrentMatrix(indexofMinFault,1) =
        min(FaultCurrentComparisonMatrix(indexofMinFault,:));
    IpUpperLimit(indexofMinFault,1) =
        min(MinFaultCurrentMatrix(indexofMinFault,:));
end

IpSekYukR1 = YukAkimlari(1) ;
IpSekYukR2 = YukAkimlari(2) ;
IpSekYukR3 = YukAkimlari(3);
IpSekYukR4 = YukAkimlari(4) ;
IpSekYukR5 = YukAkimlari(5);
IpSekYukR6 = YukAkimlari(6);
IpSekYukR7 = YukAkimlari(7);
IpSekYukR8 = YukAkimlari(8);
IpSekYukR9 = YukAkimlari(9);
IpSekYukR10= YukAkimlari(10);
IpSekYukR11= YukAkimlari(11);
IpSekYukR12= YukAkimlari(12);
IpSekYukR13= YukAkimlari(13);
IpSekYukR14= YukAkimlari(14);
IpSekYukR15= YukAkimlari(15);
IpSekYukR16= YukAkimlari(16);

RoleSayisiTop = str2double(cevap{1});
RoleDegiskenlerGercekDegerleri = zeros(Np,RoleDegiskenlerSayisi);
IpBinary = zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu);
IpChromosomePop = zeros(Np,BirRoleIpBitUzunlugu*
    RoleDegiskenlerSayisi);
realMatrixofIp = zeros(Np,RoleSayisiTop);
realMatrixofA = zeros(Np,RoleSayisiTop);
realMatrixofB = zeros(Np,RoleSayisiTop);
realMatrixofC = zeros(Np,RoleSayisiTop);
realMatrixofIpABC = zeros(Np,RoleDegiskenlerSayisi);
tamsayi = 3;
ondalikkisim = 16;
binaryFormofIpABC =
    zeros(Np,BirRoleIpBitUzunlugu*RoleDegiskenlerSayisi);

for k = 1:RoleDegiskenlerSayisi
    mI = 1;
    mT = 1;
    while(k <= RoleSayisiTop && length(find(~realMatrixofIp(:,k)))~=0)
        IpBinary = zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu);
        for i = 1: BirRoleIpBitUzunlugu
            IpBinary(i) = round(rand);
        end
        realValueofIp = IpBinary*pow2([tamsayi-1:-1:0 -
            (1:ondalikkisim)].');
        if(realValueofIp > YukAkimlari(k) && realValueofIp <
            IpUpperLimit(k))

```

```

        realMatrixofIp(mI,k) = realValueofIp;
        mI = mI + 1;
    end
end
while(k > RoleSayisiTop && k <= 2*RoleSayisiTop &&
    length(find(~realMatrixofA(:,k - RoleSayisiTop)))~=0)
    ABinary = zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu);
    ABinary(3) = 1;
    for i = 6:BirRoleIpBitUzunlugu
        ABinary(i) = round(rand);
    end
    realValueofA = ABinary*pow2([tamsayi-1:-1:0 -
        (1:ondalikkisim)].');
    if(realValueofA > Alb && realValueofA < AUb)
        realMatrixofA(mT,k - RoleSayisiTop) = realValueofA;
        mT = mT + 1;
    end
end
while(k > 2*RoleSayisiTop && k <= 3*RoleSayisiTop &&
    length(find(~realMatrixofB(:,k - RoleSayisiTop*2)))~=0)
    BBinary = zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu);
    for i = 4:BirRoleIpBitUzunlugu
        BBinary(i) = round(rand);
    end
    realValueofB = BBinary*pow2([tamsayi-1:-1:0 -
        (1:ondalikkisim)].');
    if(realValueofB > Blb && realValueofB < BUb)
        realMatrixofB(mT,k - RoleSayisiTop*2) = realValueofB;
        mT = mT + 1;
    end
end
while(k > 3*RoleSayisiTop && length(find(~realMatrixofC(:,k -
    RoleSayisiTop*3)))~=0)
    CBinary = zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu);
    for i = 5:BirRoleIpBitUzunlugu
        CBinary(i) = round(rand);
    end
    realValueofC = CBinary*pow2([tamsayi-1:-1:0 -
        (1:ondalikkisim)].');
    if(realValueofC > Clb && realValueofC < CUb)
        realMatrixofC(mT,k - RoleSayisiTop*3) = realValueofC;
        mT = mT + 1;
    end
end
end
realMatrixofIpABC(:,1:(RoleSayisiTop)) = realMatrixofIp;
realMatrixofIpABC(:,(RoleSayisiTop)+1 : RoleSayisiTop*2) =
    realMatrixofA;
realMatrixofIpABC(:,(RoleSayisiTop*2)+1 : RoleSayisiTop*3) =
    realMatrixofB;
realMatrixofIpABC(:,(RoleSayisiTop*3)+1 : end) = realMatrixofC;
for ii = 1:Np
    IpChromosomePopIndex2 = 1;
    IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu;
    for jj = 1:RoleDegiskenlerSayisi
        d2b = [ fix(rem(fix(realMatrixofIpABC(ii,jj))*pow2(-(tamsayi-
            1):0),2)), fix(rem(
            rem(realMatrixofIpABC(ii,jj),1)*pow2(1:ondalikkisim),2))]; %
        binaryFormofIpABC(ii,IpChromosomePopIndex2:
            IpChromosomePopIndex) = d2b;
    end
end

```

```

        IpChromosomePopIndex2 = BirRoleIpBitUzunlugu +
        IpChromosomePopIndex2;
        IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu +
        IpChromosomePopIndex ;
    end
end
CaprazlamaSonrasiJenerasyon = binaryFormofIpABC;

fitnessvalues = 1./fitnessvalues;
for r = 1:it
    for m = 1:Np
        IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu;
        IpChromosomePopIndex2 = 1;
        for k = 1:RoleDegiskenlerSayisi
            IpBinary = (CaprazlamaSonrasiJenerasyon(m,...
                IpChromosomePopIndex2: IpChromosomePopIndex
                ));
            IpReal = IpBinary*pow2([tamsayi-1:-1:0 -
                (1:ondalikkisim)].');
            RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,k) = IpReal;
            IpChromosomePopIndex2 = BirRoleIpBitUzunlugu +
            IpChromosomePopIndex2;
            IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu +
            IpChromosomePopIndex ;
        end
    end
end

for t = 1: Np

    [fitnessvalues(t,1),rolelerinAcmaSureleri(:,t),FarkVektoru(:,t)] =
    fitnessfunctionLogV(RoleDegiskenlerGercekDegerleri(t,1:end),penalt
    iDegeri,CTImin,Gerilimler,Gerilimler_s,Gerilimler_ds,Gerilimler_dd
    ,KDAkimlari,KDAkimlari_s,KDAkimlari_ds,KDAkimlari_dd);
end
pencarp = 40;
for m = 1:Np
    penaltiCounterIp = 0; penaltiCounterA = 0; penaltiCounterB =
    0; penaltiCounterC = 0; penaltiTop = 0;
    for i = 1:RoleDegiskenlerSayisi
        if(i <= RoleSayisiTop)
            if ((RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,i) >
                IpUpperLimit(k)) ||
                RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,i) <
                YukAkimlari(i))
                penaltiCounterIp = penaltiCounterIp +1;
            end
        end
        if(i > RoleSayisiTop && i <= RoleSayisiTop*2)
            if ((RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,i) > AUb) ||
                RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,i) < Alb)
                penaltiCounterA = penaltiCounterA +1;
            end
        end
        if(i > RoleSayisiTop*2 && i <= RoleSayisiTop*3)
            if ((RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,i) > BUb) ||
                RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,i) < Blb)
                penaltiCounterB = penaltiCounterB +1;
            end
        end
        if(i > RoleSayisiTop*3 && i <= RoleSayisiTop*4)

```

```

        if ((RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,i) > CUb) ||
            RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,i) < Clb)
            penaltiCounterC = penaltiCounterC +1;
        end
    end

    end

    penaltiTop = penaltiCounterIp + penaltiCounterA +
                penaltiCounterB + penaltiCounterC;
    fitnessvalues(m) = fitnessvalues(m) +
                penaltiDegeri*penaltiTop*pencarp;

    end

    RealFitness(1:Np,r) = fitnessvalues;
    RealFitness(Np+1,r) = sum(fitnessvalues)/Np;
    fitnessvalues = 1./fitnessvalues;

    EslesmeHavuzu = ruletmasasi (fitnessvalues,
                                CaprazlamaSonrasiJenerasyon, Np,
                                BirRoleIpBitUzunlugu,RoleDegiskenlerSayisi);
    CaprazlamaSonrasiJenerasyon = Caprazlamav2(EslesmeHavuzu,
                                                BirRoleIpBitUzunlugu,Np,RoleDegiskenlerSayisi);
    [CaprazlamaSonrasiJenerasyon, mutasyonCounter] =
        Mutasyon(CaprazlamaSonrasiJenerasyon,
                RoleDegiskenlerSayisi,BirRoleIpBitUzunlugu,Np,mutasyonCounter);

    sumoffitness(1,r) = sum(fitnessvalues);
    sumofRealfitness(1,r) = sum(RealFitness(:,r));

    if(r > 1)
        epsilon = 100*(abs(RealFitness(Np+1,r)-RealFitness(Np+1,r-1)))/RealFitness(Np+1,r-1);
        if (epsilon < stoppingCriteria)
            stopIndex = stopIndex + 1;
            stopVector(stopIndex) = r;
            if(stopIndex > 10 && (stopVector(stopIndex)-
                                stopVector(stopIndex-10) == 10))
                disp('Algorithm is stopped because stopping criteria is met!')
            break
        end
    end
end

disp(r)
end

fitnessfunctionLogV.m
function [ToplamAcma,rolelerinAcmaSureleri,FarkVektoru] =
fitnessfunctionLogV(IpSatir,penaltiDegeri,CTImin,Gerilimler,Gerilimler_s,Gerilimler_ds,Gerilimler_dd,KDAkimlari,KDAkimlari_s,KDAkimlari_ds,KDAkimlari_dd)

Ip1      = IpSatir(1);
Ip2      = IpSatir(2);
Ip3      = IpSatir(3);
Ip4      = IpSatir(4);
Ip5      = IpSatir(5);

```

```

Ip6      = IpSatir(6);
Ip7      = IpSatir(7);
Ip8      = IpSatir(8);
Ip9      = IpSatir(9);
Ip10     = IpSatir(10);
Ip11     = IpSatir(11);
Ip12     = IpSatir(12);
Ip13     = IpSatir(13);
Ip14     = IpSatir(14);
Ip15     = IpSatir(15);
Ip16     = IpSatir(16);

```

```

A1  = IpSatir(17);
A2  = IpSatir(18);
A3  = IpSatir(19);
A4  = IpSatir(20);
A5  = IpSatir(21);
A6  = IpSatir(22);
A7  = IpSatir(23);
A8  = IpSatir(24);
A9  = IpSatir(25);
A10 = IpSatir(26);
A11 = IpSatir(27);
A12 = IpSatir(28);
A13 = IpSatir(29);
A14 = IpSatir(30);
A15 = IpSatir(31);
A16 = IpSatir(32);

```

```

B1  = IpSatir(33);
B2  = IpSatir(34);
B3  = IpSatir(35);
B4  = IpSatir(36);
B5  = IpSatir(37);
B6  = IpSatir(38);
B7  = IpSatir(39);
B8  = IpSatir(40);
B9  = IpSatir(41);
B10 = IpSatir(42);
B11 = IpSatir(43);
B12 = IpSatir(44);
B13 = IpSatir(45);
B14 = IpSatir(46);
B15 = IpSatir(47);
B16 = IpSatir(48);

```

```

C1  = IpSatir(49);
C2  = IpSatir(50);
C3  = IpSatir(51);
C4  = IpSatir(52);
C5  = IpSatir(53);
C6  = IpSatir(54);
C7  = IpSatir(55);
C8  = IpSatir(56);
C9  = IpSatir(57);
C10 = IpSatir(58);
C11 = IpSatir(59);
C12 = IpSatir(60);
C13 = IpSatir(61);
C14 = IpSatir(62);
C15 = IpSatir(63);

```

C16 = IpSatir(64);

Ik0A1 = KDAkimlari(1) ; v1F1 = Gerilimler(1);
Ik0A2 = KDAkimlari(2) ; v2F1 = Gerilimler(2);
Ik0A4 = KDAkimlari(3) ; v4F1 = Gerilimler(3);

Ik0B3 = KDAkimlari(4) ; v3F2 = Gerilimler(4);
Ik0B1 = KDAkimlari(5) ; v1F2 = Gerilimler(5);
Ik0B4 = KDAkimlari(6) ; v4F2 = Gerilimler(6);
Ik0B16 = KDAkimlari(7) ; v16F2 = Gerilimler(7);
Ik0B7 = KDAkimlari(8) ; v7F2 = Gerilimler(8);

Ik0C5 = KDAkimlari(9) ; v5F3 = Gerilimler(9);
Ik0C3 = KDAkimlari(10); v3F3 = Gerilimler(10);
Ik0C7 = KDAkimlari(11); v7F3 = Gerilimler(11);
Ik0C16 = KDAkimlari(12); v16F3 = Gerilimler(12);

Ik0D7 = KDAkimlari(13); v7F4 = Gerilimler(13);
Ik0D9 = KDAkimlari(14); v9F4 = Gerilimler(14);
Ik0D6 = KDAkimlari(15); v6F4 = Gerilimler(15);
Ik0D16 = KDAkimlari(16); v16F4 = Gerilimler(16);
Ik0D3 = KDAkimlari(17); v3F4 = Gerilimler(17);

Ik0E14 = KDAkimlari(18); v14F5 = Gerilimler(18);
Ik0E12 = KDAkimlari(19); v12F5 = Gerilimler(19);
Ik0E15 = KDAkimlari(20); v15F5 = Gerilimler(20);

Ik0F12 = KDAkimlari(21); v12F6 = Gerilimler(21);
Ik0F10 = KDAkimlari(22); v10F6 = Gerilimler(22);
Ik0F13 = KDAkimlari(23); v13F6 = Gerilimler(23);
Ik0F15 = KDAkimlari(24); v15F6 = Gerilimler(24);

Ik0G11 = KDAkimlari(25); v11F7 = Gerilimler(25);
Ik0G13 = KDAkimlari(26); v13F7 = Gerilimler(26);
Ik0G10 = KDAkimlari(27); v10F7 = Gerilimler(27);

Ik0H8 = KDAkimlari(28); v8F8 = Gerilimler(28);
Ik0H6 = KDAkimlari(29); v6F8 = Gerilimler(29);
Ik0H9 = KDAkimlari(30); v9F8 = Gerilimler(30);

Ik0A1_s = KDAkimlari_s(1) ; v1F1_s = Gerilimler_s(1);
Ik0A2_s = KDAkimlari_s(2) ; v2F1_s = Gerilimler_s(2);
Ik0A4_s = KDAkimlari_s(3) ; v4F1_s = Gerilimler_s(3);

Ik0B3_s = KDAkimlari_s(4) ; v3F2_s = Gerilimler_s(4);
Ik0B1_s = KDAkimlari_s(5) ; v1F2_s = Gerilimler_s(5);
Ik0B4_s = KDAkimlari_s(6) ; v4F2_s = Gerilimler_s(6);
Ik0B16_s = KDAkimlari_s(7) ; v16F2_s = Gerilimler_s(7);
Ik0B7_s = KDAkimlari_s(8) ; v7F2_s = Gerilimler_s(8);

Ik0C5_s = KDAkimlari_s(9) ; v5F3_s = Gerilimler_s(9);
Ik0C3_s = KDAkimlari_s(10); v3F3_s = Gerilimler_s(10);
Ik0C7_s = KDAkimlari_s(11); v7F3_s = Gerilimler_s(11);
Ik0C16_s = KDAkimlari_s(12); v16F3_s = Gerilimler_s(12);

```

Ik0D7_s = KDAkimlari_s(13);    v7F4_s    = Gerilimler_s(13);
Ik0D9_s = KDAkimlari_s(14);    v9F4_s    = Gerilimler_s(14);
Ik0D6_s = KDAkimlari_s(15);    v6F4_s    = Gerilimler_s(15);
Ik0D16_s = KDAkimlari_s(16);    v16F4_s   = Gerilimler_s(16);
Ik0D3_s = KDAkimlari_s(17);    v3F4_s    = Gerilimler_s(17);

Ik0E14_s = KDAkimlari_s(18);    v14F5_s   = Gerilimler_s(18);
Ik0E12_s = KDAkimlari_s(19);    v12F5_s   = Gerilimler_s(19);
Ik0E15_s = KDAkimlari_s(20);    v15F5_s   = Gerilimler_s(20);

Ik0F12_s = KDAkimlari_s(21);    v12F6_s   = Gerilimler_s(21);
Ik0F10_s = KDAkimlari_s(22);    v10F6_s   = Gerilimler_s(22);
Ik0F13_s = KDAkimlari_s(23);    v13F6_s   = Gerilimler_s(23);
Ik0F15_s = KDAkimlari_s(24);    v15F6_s   = Gerilimler_s(24);

Ik0G11_s = KDAkimlari_s(25);    v11F7_s   = Gerilimler_s(25);
Ik0G13_s = KDAkimlari_s(26);    v13F7_s   = Gerilimler_s(26);
Ik0G10_s = KDAkimlari_s(27);    v10F7_s   = Gerilimler_s(27);

Ik0H8_s = KDAkimlari_s(28);    v8F8_s    = Gerilimler_s(28);
Ik0H6_s = KDAkimlari_s(29);    v6F8_s    = Gerilimler_s(29);
Ik0H9_s = KDAkimlari_s(30);    v9F8_s    = Gerilimler_s(30);

Ik0A1_ds = KDAkimlari_ds(1) ;    v1F1_ds   = Gerilimler_ds(1);
Ik0A2_ds = KDAkimlari_ds(2) ;    v2F1_ds   = Gerilimler_ds(2);
Ik0A4_ds = KDAkimlari_ds(3) ;    v4F1_ds   = Gerilimler_ds(3);

Ik0B3_ds = KDAkimlari_ds(4) ;    v3F2_ds   = Gerilimler_ds(4);
Ik0B1_ds = KDAkimlari_ds(5) ;    v1F2_ds   = Gerilimler_ds(5);
Ik0B4_ds = KDAkimlari_ds(6) ;    v4F2_ds   = Gerilimler_ds(6);
Ik0B16_ds = KDAkimlari_ds(7) ;    v16F2_ds  = Gerilimler_ds(7);
Ik0B7_ds = KDAkimlari_ds(8) ;    v7F2_ds   = Gerilimler_ds(8);

Ik0C5_ds = KDAkimlari_ds(9) ;    v5F3_ds   = Gerilimler_ds(9);
Ik0C3_ds = KDAkimlari_ds(10);    v3F3_ds   = Gerilimler_ds(10);
Ik0C7_ds = KDAkimlari_ds(11);    v7F3_ds   = Gerilimler_ds(11);
Ik0C16_ds = KDAkimlari_ds(12);    v16F3_ds  = Gerilimler_ds(12);

Ik0D7_ds = KDAkimlari_ds(13);    v7F4_ds   = Gerilimler_ds(13);
Ik0D9_ds = KDAkimlari_ds(14);    v9F4_ds   = Gerilimler_ds(14);
Ik0D6_ds = KDAkimlari_ds(15);    v6F4_ds   = Gerilimler_ds(15);
Ik0D16_ds = KDAkimlari_ds(16);    v16F4_ds  = Gerilimler_ds(16);
Ik0D3_ds = KDAkimlari_ds(17);    v3F4_ds   = Gerilimler_ds(17);

Ik0E14_ds = KDAkimlari_ds(18);    v14F5_ds  = Gerilimler_ds(18);
Ik0E12_ds = KDAkimlari_ds(19);    v12F5_ds  = Gerilimler_ds(19);
Ik0E15_ds = KDAkimlari_ds(20);    v15F5_ds  = Gerilimler_ds(20);

Ik0F12_ds = KDAkimlari_ds(21);    v12F6_ds  = Gerilimler_ds(21);
Ik0F10_ds = KDAkimlari_ds(22);    v10F6_ds  = Gerilimler_ds(22);
Ik0F13_ds = KDAkimlari_ds(23);    v13F6_ds  = Gerilimler_ds(23);
Ik0F15_ds = KDAkimlari_ds(24);    v15F6_ds  = Gerilimler_ds(24);

Ik0G11_ds = KDAkimlari_ds(25);    v11F7_ds  = Gerilimler_ds(25);

```

```

Ik0G13_ds = KDAkimlari_ds(26);    v13F7_ds = Gerilimler_ds(26);
Ik0G10_ds = KDAkimlari_ds(27);    v10F7_ds = Gerilimler_ds(27);

Ik0H8_ds = KDAkimlari_ds(28);    v8F8_ds = Gerilimler_ds(28);
Ik0H6_ds = KDAkimlari_ds(29);    v6F8_ds = Gerilimler_ds(29);
Ik0H9_ds = KDAkimlari_ds(30);    v9F8_ds = Gerilimler_ds(30);

Ik0A1_dd = KDAkimlari_dd(1) ;    v1F1_dd = Gerilimler_dd(1);
Ik0A2_dd = KDAkimlari_dd(2) ;    v2F1_dd = Gerilimler_dd(2);
Ik0A4_dd = KDAkimlari_dd(3) ;    v4F1_dd = Gerilimler_dd(3);

Ik0B3_dd = KDAkimlari_dd(4) ;    v3F2_dd = Gerilimler_dd(4);
Ik0B1_dd = KDAkimlari_dd(5) ;    v1F2_dd = Gerilimler_dd(5);
Ik0B4_dd = KDAkimlari_dd(6) ;    v4F2_dd = Gerilimler_dd(6);
Ik0B16_dd = KDAkimlari_dd(7) ;    v16F2_dd = Gerilimler_dd(7);
Ik0B7_dd = KDAkimlari_dd(8) ;    v7F2_dd = Gerilimler_dd(8);

Ik0C5_dd = KDAkimlari_dd(9) ;    v5F3_dd = Gerilimler_dd(9);
Ik0C3_dd = KDAkimlari_dd(10);    v3F3_dd = Gerilimler_dd(10);
Ik0C7_dd = KDAkimlari_dd(11);    v7F3_dd = Gerilimler_dd(11);
Ik0C16_dd = KDAkimlari_dd(12);    v16F3_dd = Gerilimler_dd(12);

Ik0D7_dd = KDAkimlari_dd(13);    v7F4_dd = Gerilimler_dd(13);
Ik0D9_dd = KDAkimlari_dd(14);    v9F4_dd = Gerilimler_dd(14);
Ik0D6_dd = KDAkimlari_dd(15);    v6F4_dd = Gerilimler_dd(15);
Ik0D16_dd = KDAkimlari_dd(16);    v16F4_dd = Gerilimler_dd(16);
Ik0D3_dd = KDAkimlari_dd(17);    v3F4_dd = Gerilimler_dd(17);

Ik0E14_dd = KDAkimlari_dd(18);    v14F5_dd = Gerilimler_dd(18);
Ik0E12_dd = KDAkimlari_dd(19);    v12F5_dd = Gerilimler_dd(19);
Ik0E15_dd = KDAkimlari_dd(20);    v15F5_dd = Gerilimler_dd(20);

Ik0F12_dd = KDAkimlari_dd(21);    v12F6_dd = Gerilimler_dd(21);
Ik0F10_dd = KDAkimlari_dd(22);    v10F6_dd = Gerilimler_dd(22);
Ik0F13_dd = KDAkimlari_dd(23);    v13F6_dd = Gerilimler_dd(23);
Ik0F15_dd = KDAkimlari_dd(24);    v15F6_dd = Gerilimler_dd(24);

Ik0G11_dd = KDAkimlari_dd(25);    v11F7_dd = Gerilimler_dd(25);
Ik0G13_dd = KDAkimlari_dd(26);    v13F7_dd = Gerilimler_dd(26);
Ik0G10_dd = KDAkimlari_dd(27);    v10F7_dd = Gerilimler_dd(27);

Ik0H8_dd = KDAkimlari_dd(28);    v8F8_dd = Gerilimler_dd(28);
Ik0H6_dd = KDAkimlari_dd(29);    v6F8_dd = Gerilimler_dd(29);
Ik0H9_dd = KDAkimlari_dd(30);    v9F8_dd = Gerilimler_dd(30);
% 3 Phase
T1F1      = (log10((v1F1+A1))/(((Ik0A1/ Ip1)^B1)-1))+C1;
T2F1      = (log10((v2F1+A2))/(((Ik0A2/ Ip2)^B2)-1))+C2;
T4F1      = (log10((v4F1+A4))/(((Ik0A4/ Ip4)^B4)-1))+C4;

T3F2      = (log10((v3F2+A3))/(((Ik0B3/ Ip3)^B3)-1))+C3;
T1F2      = (log10((v1F2+A1))/(((Ik0B1/ Ip1)^B1)-1))+C1;
T4F2      = (log10((v4F2+A4))/(((Ik0B4/ Ip4)^B4)-1))+C4;
T16F2     = (log10((v16F2+A16))/(((Ik0B16 / Ip16)^B16)-1))+C16;
T7F2      = (log10((v7F2+A7))/(((Ik0B7 / Ip7)^B7)-1))+C7;

T5F3      = (log10((v5F3+A5))/(((Ik0C5 / Ip5)^B5)-1))+C5;
T3F3      = (log10((v3F3+A3))/(((Ik0C3 / Ip3)^B3)-1))+C3;

```



```

T7F3      = (log10((v7F3+A7)))/(((Ik0C7 / Ip7)^B7)-1))+C7;
T16F3     = (log10((v16F3+A16)))/(((Ik0C16 / Ip16)^B16)-1))+C16;

T7F4      = (log10((v7F4+A7)))/(((Ik0D7 / Ip7)^B7)-1))+C7;
T9F4      = (log10((v9F4+A9)))/(((Ik0D9 / Ip9 )^B9)-1))+C9;
T6F4      = (log10((v6F4+A6)))/(((Ik0D6 / Ip6)^B6)-1))+C6;
T16F4     = (log10((v16F4+A16)))/(((Ik0D16 / Ip16)^B16)-1))+C16;
T3F4      = (log10((v3F4+A3)))/(((Ik0D3 / Ip3)^B3)-1))+C3;

T14F5     = (log10((v14F5+A14)))/(((Ik0E14 / Ip14)^B14)-1))+C14;
T12F5     = (log10((v12F5+A12)))/(((Ik0E12 / Ip12)^B12)-1))+C12;
T15F5     = (log10((v15F5+A15)))/(((Ik0E15 / Ip15)^B15)-1))+C15;

T12F6     = (log10((v12F6+A12)))/(((Ik0F12 / Ip12)^B12)-1))+C12;
T10F6     = (log10((v10F6+A10)))/(((Ik0F10 / Ip10)^B10)-1))+C10;
T13F6     = (log10((v13F6+A13)))/(((Ik0F13 / Ip13)^B13)-1))+C13;
T15F6     = (log10((v15F6+A15)))/(((Ik0F15 / Ip15)^B15)-1))+C15;

T11F7     = (log10((v11F7+A11)))/(((Ik0G11 / Ip11)^B11)-1))+C11;
T13F7     = (log10((v13F7+A13)))/(((Ik0G13 / Ip13)^B13)-1))+C13;
T10F7     = (log10((v10F7+A10)))/(((Ik0G10 / Ip10)^B10)-1))+C10;

T8F8      = (log10((v8F8+A8)))/(((Ik0H8 / Ip8)^B8)-1))+C8;
T6F8      = (log10((v6F8+A6)))/(((Ik0H6 / Ip6)^B6)-1))+C6;
T9F8      = (log10((v9F8+A9)))/(((Ik0H9 / Ip9)^B9)-1))+C9;
% Single Phase
T1F1_s    = (log10((v1F1_s+A1)))/(((Ik0A1_s / Ip1)^B1)-1))+C1;
T2F1_s    = (log10((v2F1_s+A2)))/(((Ik0A2_s / Ip2)^B2)-1))+C2;
T4F1_s    = (log10((v4F1_s+A4)))/(((Ik0A4_s / Ip4)^B4)-1))+C4;

T3F2_s    = (log10((v3F2_s+A3)))/(((Ik0B3_s / Ip3)^B3)-1))+C3;
T1F2_s    = (log10((v1F2_s+A1)))/(((Ik0B1_s / Ip1)^B1)-1))+C1;
T4F2_s    = (log10((v4F2_s+A4)))/(((Ik0B4_s / Ip4)^B4)-1))+C4;
T16F2_s   = (log10((v16F2_s+A16)))/(((Ik0B16_s / Ip16)^B16)-1))+C16;
T7F2_s    = (log10((v7F2_s+A7)))/(((Ik0B7_s / Ip7)^B7)-1))+C7;

T5F3_s    = (log10((v5F3_s+A5)))/(((Ik0C5_s / Ip5)^B5)-1))+C5;
T3F3_s    = (log10((v3F3_s+A3)))/(((Ik0C3_s / Ip3)^B3)-1))+C3;
T7F3_s    = (log10((v7F3_s+A7)))/(((Ik0C7_s / Ip7)^B7)-1))+C7;
T16F3_s   = (log10((v16F3_s+A16)))/(((Ik0C16_s / Ip16)^B16)-1))+C16;

T7F4_s    = (log10((v7F4_s+A7)))/(((Ik0D7_s / Ip7)^B7)-1))+C7;
T9F4_s    = (log10((v9F4_s+A9)))/(((Ik0D9_s / Ip9 )^B9)-1))+C9;
T6F4_s    = (log10((v6F4_s+A6)))/(((Ik0D6_s / Ip6)^B6)-1))+C6;
T16F4_s   = (log10((v16F4_s+A16)))/(((Ik0D16_s / Ip16)^B16)-1))+C16;
T3F4_s    = (log10((v3F4_s+A3)))/(((Ik0D3_s / Ip3)^B3)-1))+C3;

T14F5_s   = (log10((v14F5_s+A14)))/(((Ik0E14_s / Ip14)^B14)-1))+C14;
T12F5_s   = (log10((v12F5_s+A12)))/(((Ik0E12_s / Ip12)^B12)-1))+C12;
T15F5_s   = (log10((v15F5_s+A15)))/(((Ik0E15_s / Ip15)^B15)-1))+C15;

T12F6_s   = (log10((v12F6_s+A12)))/(((Ik0F12_s / Ip12)^B12)-1))+C12;
T10F6_s   = (log10((v10F6_s+A10)))/(((Ik0F10_s / Ip10)^B10)-1))+C10;
T13F6_s   = (log10((v13F6_s+A13)))/(((Ik0F13_s / Ip13)^B13)-1))+C13;
T15F6_s   = (log10((v15F6_s+A15)))/(((Ik0F15_s / Ip15)^B15)-1))+C15;

T11F7_s   = (log10((v11F7_s+A11)))/(((Ik0G11_s / Ip11)^B11)-1))+C11;
T13F7_s   = (log10((v13F7_s+A13)))/(((Ik0G13_s / Ip13)^B13)-1))+C13;
T10F7_s   = (log10((v10F7_s+A10)))/(((Ik0G10_s / Ip10)^B10)-1))+C10;

```

```

T8F8_s      =(log10((v8F8_s+A8))/(((Ik0H8_s / Ip8)^B8)-1))+C8;
T6F8_s      =(log10((v6F8_s+A6))/(((Ik0H6_s / Ip6)^B6)-1))+C6;
T9F8_s      =(log10((v9F8_s+A9))/(((Ik0H9_s / Ip9)^B9)-1))+C9;
    %double phase
T1F1_ds     =(log10((v1F1_ds+A1))/(((Ik0A1_ds / Ip1)^B1)-1))+C1;
T2F1_ds     =(log10((v2F1_ds+A2))/(((Ik0A2_ds / Ip2)^B2)-1))+C2;
T4F1_ds     =(log10((v4F1_ds+A4))/(((Ik0A4_ds / Ip4)^B4)-1))+C4;

T3F2_ds     =(log10((v3F2_ds+A3))/(((Ik0B3_ds / Ip3)^B3)-1))+C3; % B
    = F2
T1F2_ds     =(log10((v1F2_ds+A1))/(((Ik0B1_ds / Ip1)^B1)-1))+C1;
T4F2_ds     =(log10((v4F2_ds+A4))/(((Ik0B4_ds / Ip4)^B4)-1))+C4;
T16F2_ds    =(log10((v16F2_ds+A16))/(((Ik0B16_ds / Ip16)^B16)-1))+C16;
T7F2_ds     =(log10((v7F2_ds+A7))/(((Ik0B7_ds / Ip7)^B7)-1))+C7;

T5F3_ds     =(log10((v5F3_ds+A5))/(((Ik0C5_ds / Ip5)^B5)-1))+C5;
T3F3_ds     =(log10((v3F3_ds+A3))/(((Ik0C3_ds / Ip3)^B3)-1))+C3;
T7F3_ds     =(log10((v7F3_ds+A7))/(((Ik0C7_ds / Ip7)^B7)-1))+C7;
T16F3_ds    =(log10((v16F3_ds+A16))/(((Ik0C16_ds / Ip16)^B16)-1))+C16;

T7F4_ds     =(log10((v7F4_ds+A7))/(((Ik0D7_ds / Ip7)^B7)-1))+C7;
T9F4_ds     =(log10((v9F4_ds+A9))/(((Ik0D9_ds / Ip9)^B9)-1))+C9;
T6F4_ds     =(log10((v6F4_ds+A6))/(((Ik0D6_ds / Ip6)^B6)-1))+C6;
T16F4_ds    =(log10((v16F4_ds+A16))/(((Ik0D16_ds / Ip16)^B16)-1))+C16;
T3F4_ds     =(log10((v3F4_ds+A3))/(((Ik0D3_ds / Ip3)^B3)-1))+C3;

T14F5_ds    =(log10((v14F5_ds+A14))/(((Ik0E14_ds / Ip14)^B14)-1))+C14;
T12F5_ds    =(log10((v12F5_ds+A12))/(((Ik0E12_ds / Ip12)^B12)-1))+C12;
T15F5_ds    =(log10((v15F5_ds+A15))/(((Ik0E15_ds / Ip15)^B15)-1))+C15;

T12F6_ds    =(log10((v12F6_ds+A12))/(((Ik0F12_ds / Ip12)^B12)-1))+C12;
T10F6_ds    =(log10((v10F6_ds+A10))/(((Ik0F10_ds / Ip10)^B10)-1))+C10;
T13F6_ds    =(log10((v13F6_ds+A13))/(((Ik0F13_ds / Ip13)^B13)-1))+C13;
T15F6_ds    =(log10((v15F6_ds+A15))/(((Ik0F15_ds / Ip15)^B15)-1))+C15;

T11F7_ds    =(log10((v11F7_ds+A11))/(((Ik0G11_ds / Ip11)^B11)-1))+C11;
T13F7_ds    =(log10((v13F7_ds+A13))/(((Ik0G13_ds / Ip13)^B13)-1))+C13;
T10F7_ds    =(log10((v10F7_ds+A10))/(((Ik0G10_ds / Ip10)^B10)-1))+C10;

T8F8_ds     =(log10((v8F8_ds+A8))/(((Ik0H8_ds / Ip8)^B8)-1))+C8;
T6F8_ds     =(log10((v6F8_ds+A6))/(((Ik0H6_ds / Ip6)^B6)-1))+C6;
T9F8_ds     =(log10((v9F8_ds+A9))/(((Ik0H9_ds / Ip9)^B9)-1))+C9;
    %phase phase
T1F1_dd     =(log10((v1F1_dd+A1))/(((Ik0A1_dd / Ip1)^B1)-1))+C1;
T2F1_dd     =(log10((v2F1_dd+A2))/(((Ik0A2_dd / Ip2)^B2)-1))+C2;
T4F1_dd     =(log10((v4F1_dd+A4))/(((Ik0A4_dd / Ip4)^B4)-1))+C4;

T3F2_dd     =(log10((v3F2_dd+A3))/(((Ik0B3_dd / Ip3)^B3)-1))+C3;
T1F2_dd     =(log10((v1F2_dd+A1))/(((Ik0B1_dd / Ip1)^B1)-1))+C1;
T4F2_dd     =(log10((v4F2_dd+A4))/(((Ik0B4_dd / Ip4)^B4)-1))+C4;
T16F2_dd    =(log10((v16F2_dd+A16))/(((Ik0B16_dd / Ip16)^B16)-1))+C16;
T7F2_dd     =(log10((v7F2_dd+A7))/(((Ik0B7_dd / Ip7)^B7)-1))+C7;

T5F3_dd     =(log10((v5F3_dd+A5))/(((Ik0C5_dd / Ip5)^B5)-1))+C5;
T3F3_dd     =(log10((v3F3_dd+A3))/(((Ik0C3_dd / Ip3)^B3)-1))+C3;
T7F3_dd     =(log10((v7F3_dd+A7))/(((Ik0C7_dd / Ip7)^B7)-1))+C7;
T16F3_dd    =(log10((v16F3_dd+A16))/(((Ik0C16_dd / Ip16)^B16)-1))+C16;

```

```

T7F4_dd = (log10((v7F4_dd+A7))/(((Ik0D7_dd / Ip7)^B7)-1))+C7;
T9F4_dd = (log10((v9F4_dd+A9))/(((Ik0D9_dd / Ip9)^B9)-1))+C9;
T6F4_dd = (log10((v6F4_dd+A6))/(((Ik0D6_dd / Ip6)^B6)-1))+C6;
T16F4_dd = (log10((v16F4_dd+A16))/(((Ik0D16_dd / Ip16)^B16)-1))+C16;
T3F4_dd = (log10((v3F4_dd+A3))/(((Ik0D3_dd / Ip3)^B3)-1))+C3;

T14F5_dd = (log10((v14F5_dd+A14))/(((Ik0E14_dd / Ip14)^B14)-1))+C14;
T12F5_dd = (log10((v12F5_dd+A12))/(((Ik0E12_dd / Ip12)^B12)-1))+C12;
T15F5_dd = (log10((v15F5_dd+A15))/(((Ik0E15_dd / Ip15)^B15)-1))+C15;

T12F6_dd = (log10((v12F6_dd+A12))/(((Ik0F12_dd / Ip12)^B12)-1))+C12;
T10F6_dd = (log10((v10F6_dd+A10))/(((Ik0F10_dd / Ip10)^B10)-1))+C10;
T13F6_dd = (log10((v13F6_dd+A13))/(((Ik0F13_dd / Ip13)^B13)-1))+C13;
T15F6_dd = (log10((v15F6_dd+A15))/(((Ik0F15_dd / Ip15)^B15)-1))+C15;

T11F7_dd = (log10((v11F7_dd+A11))/(((Ik0G11_dd / Ip11)^B11)-1))+C11;
T13F7_dd = (log10((v13F7_dd+A13))/(((Ik0G13_dd / Ip13)^B13)-1))+C13;
T10F7_dd = (log10((v10F7_dd+A10))/(((Ik0G10_dd / Ip10)^B10)-1))+C10;

T8F8_dd = (log10((v8F8_dd+A8))/(((Ik0H8_dd / Ip8)^B8)-1))+C8;
T6F8_dd = (log10((v6F8_dd+A6))/(((Ik0H6_dd / Ip6)^B6)-1))+C6;
T9F8_dd = (log10((v9F8_dd+A9))/(((Ik0H9_dd / Ip9)^B9)-1))+C9;

```

rolelerinAcmaSureleri =

```

[T1F1;T2F1;T4F1;T3F2;T1F2;T4F2;T16F2;T7F2;T5F3;
T3F3;T7F3;T16F3;T7F4;T9F4;T6F4;T16F4;T3F4;T14F5
;T12F5;T15F5;T12F6...
```

```

;T10F6;T13F6;T15F6;T11F7;T13F7;T10F7;T8F8;T6F8;
T9F8;T1F1_s;T2F1_s;T4F1_s;T3F2_s;T1F2_s;T4F2_s;
T16F2_s;T7F2_s;T5F3_s;T3F3_s;T7F3_s;T16F3_s;T7F
4_s;T9F4_s;T6F4_s;T16F4_s;T3F4_s;T14F5_s;T12F5_
s;T15F5_s;T12F6_s...
```

```

;T10F6_s;T13F6_s;T15F6_s;T11F7_s;T13F7_s;T10F7_
s;T8F8_s;T6F8_s;T9F8_s;T1F1_ds;T2F1_ds;T4F1_ds;
T3F2_ds;T1F2_ds;T4F2_ds;T16F2_ds;T7F2_ds;T5F3_d
s;T3F3_ds;T7F3_ds;T16F3_ds;T7F4_ds;T9F4_ds;T6F4
_ds;T16F4_ds;T3F4_ds;T14F5_ds;T12F5_ds;T15F5_ds
;T12F6_ds...
```

```

;T10F6_ds;T13F6_ds;T15F6_ds;T11F7_ds;T13F7_ds;T
10F7_ds;T8F8_ds;T6F8_ds;T9F8_ds;T1F1_dd;T2F1_dd
;T4F1_dd;T3F2_dd;T1F2_dd;T4F2_dd;T16F2_dd;T7F2_
dd;T5F3_dd;T3F3_dd;T7F3_dd;T16F3_dd;T7F4_dd;T9F
4_dd;T6F4_dd;T16F4_dd;T3F4_dd;T14F5_dd;T12F5_dd
;T15F5_dd;T12F6_dd...
```

```

;T10F6_dd;T13F6_dd;T15F6_dd;T11F7_dd;T13F7_dd;T
10F7_dd;T8F8_dd;T6F8_dd;T9F8_dd];
```

ToplamAcma =

```

T1F1+T2F1+T4F1+T3F2+T1F2+T4F2+T16F2+T7F2+T5F3+T3F3+T7F3+T1
6F3+T7F4+T9F4+T6F4+T16F4+T3F4+T14F5+T12F5+T15F5+T12F6...
```

```

+T10F6+T13F6+T15F6+T11F7+T13F7+T10F7+T8F8+T6F8+T9F8+T1F1_s
+T2F1_s+T4F1_s+T3F2_s+T1F2_s+T4F2_s+T16F2_s+T7F2_s+T5F3_s+
T3F3_s+T7F3_s+T16F3_s+T7F4_s+T9F4_s+T6F4_s+T16F4_s+T3F4_s+
T14F5_s+T12F5_s+T15F5_s+T12F6_s...
```

```
+T10F6_s+T13F6_s+T15F6_s+T11F7_s+T13F7_s+T10F7_s+T8F8_s+T6
F8_s+T9F8_s+T1F1_ds+T2F1_ds+T4F1_ds+T3F2_ds+T1F2_ds+T4F2_d
s+T16F2_ds+T7F2_ds+T5F3_ds+T3F3_ds+T7F3_ds+T16F3_ds+T7F4_d
s+T9F4_ds+T6F4_ds+T16F4_ds+T3F4_ds+T14F5_ds+T12F5_ds+T15F5
_ds+T12F6_ds...
```

```
+T10F6_ds+T13F6_ds+T15F6_ds+T11F7_ds+T13F7_ds+T10F7_ds+T8F
8_ds+T6F8_ds+T9F8_ds+T1F1_dd+T2F1_dd+T4F1_dd+T3F2_dd+T1F2_
dd+T4F2_dd+T16F2_dd+T7F2_dd+T5F3_dd+T3F3_dd+T7F3_dd+T16F3_
dd+T7F4_dd+T9F4_dd+T6F4_dd+T16F4_dd+T3F4_dd+T14F5_dd+T12F5
_dd+T15F5_dd+T12F6_dd...
```

```
+T10F6_dd+T13F6_dd+T15F6_dd+T11F7_dd+T13F7_dd+T10F7_dd+T8F
8_dd+T6F8_dd+T9F8_dd ;
```

```
ToplamAcmaZamanCarpaniBileseni = 0;
```

```
FarkVektoru = zeros(14*4,1);
```

```
FarkVektoru(1) = T4F1 - T2F1;
FarkVektoru(2) = T1F2 - T3F2;
FarkVektoru(3) = T16F2 - T4F2;
FarkVektoru(4) = T7F2 - T4F2;
FarkVektoru(5) = T3F3 - T5F3;
FarkVektoru(6) = T7F3 - T5F3;
FarkVektoru(7) = T9F4 - T7F4;
FarkVektoru(8) = T16F4 - T6F4;
FarkVektoru(9) = T3F4 - T6F4;
FarkVektoru(10) = T12F5 - T14F5;
FarkVektoru(11) = T10F6 - T12F6;
FarkVektoru(12) = T15F6 - T13F6;
FarkVektoru(13) = T13F7 - T11F7;
FarkVektoru(14) = T6F8 - T8F8;
```

```
FarkVektoru(15) = T4F1_s - T2F1_s;
FarkVektoru(16) = T1F2_s - T3F2_s;
FarkVektoru(17) = T16F2_s - T4F2_s;
FarkVektoru(18) = T7F2_s - T4F2_s;
FarkVektoru(19) = T3F3_s - T5F3_s;
FarkVektoru(20) = T7F3_s - T5F3_s;
FarkVektoru(21) = T9F4_s - T7F4_s;
FarkVektoru(22) = T16F4_s - T6F4_s;
FarkVektoru(23) = T3F4_s - T6F4_s;
FarkVektoru(24) = T12F5_s - T14F5_s;
FarkVektoru(25) = T10F6_s - T12F6_s;
FarkVektoru(26) = T15F6_s - T13F6_s;
FarkVektoru(27) = T13F7_s - T11F7_s;
FarkVektoru(28) = T6F8_s - T8F8_s;
```

```
FarkVektoru(29) = T4F1_ds - T2F1_ds;
FarkVektoru(30) = T1F2_ds - T3F2_ds;
FarkVektoru(31) = T16F2_ds - T4F2_ds;
FarkVektoru(32) = T7F2_ds - T4F2_ds;
FarkVektoru(33) = T3F3_ds - T5F3_ds;
FarkVektoru(34) = T7F3_ds - T5F3_ds;
FarkVektoru(35) = T9F4_ds - T7F4_ds;
FarkVektoru(36) = T16F4_ds - T6F4_ds;
FarkVektoru(37) = T3F4_ds - T6F4_ds;
FarkVektoru(38) = T12F5_ds - T14F5_ds;
FarkVektoru(39) = T10F6_ds - T12F6_ds;
FarkVektoru(40) = T15F6_ds - T13F6_ds;
```

```

FarkVektoru(41) = T13F7_ds - T11F7_ds;
FarkVektoru(42) = T6F8_ds - T8F8_ds;

FarkVektoru(43) = T4F1_dd - T2F1_dd;
FarkVektoru(44) = T1F2_dd - T3F2_dd;
FarkVektoru(45) = T16F2_dd - T4F2_dd;
FarkVektoru(46) = T7F2_dd - T4F2_dd;
FarkVektoru(47) = T3F3_dd - T5F3_dd;
FarkVektoru(48) = T7F3_dd - T5F3_dd;
FarkVektoru(49) = T9F4_dd - T7F4_dd;
FarkVektoru(50) = T16F4_dd - T6F4_dd;
FarkVektoru(51) = T3F4_dd - T6F4_dd;
FarkVektoru(52) = T12F5_dd - T14F5_dd;
FarkVektoru(53) = T10F6_dd - T12F6_dd;
FarkVektoru(54) = T15F6_dd - T13F6_dd;
FarkVektoru(55) = T13F7_dd - T11F7_dd;
FarkVektoru(56) = T6F8_dd - T8F8_dd;

ToplamAcmaFarkBileseni=0;
ToplamAcma = ToplamAcma + ToplamAcmaFarkBileseni +
ToplamAcmaZamanCarpaniBileseni;

k = 100;
for index = 1:length(FarkVektoru)
    if((FarkVektoru(index) < CTImin))
        ToplamAcma = ToplamAcma + penaltiDegeri*k;
    end
end

end

```

Caprazlamav2.m

```

function
CaprazlamaSonrasiJenerasyon=Caprazlamav2(EslesmeHavuzu,BirRoleIpBitUzunlugu,Np,RoleIpSayisi)

indexVectorShuffled = 1:Np;
indexVectorShuffled =
indexVectorShuffled(randperm(length(indexVectorShuffled)));

EslesmeHavuzu = EslesmeHavuzu(indexVectorShuffled,:);
CaprazlamaSonrasiJenerasyon=zeros(Np,BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi);

for indexCaprazlama = 1:1:(Np/2)
    x=round((rand)*(BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi)-1));

    i_ind=EslesmeHavuzu((2*indexCaprazlama)-1,:);
    j_ind=EslesmeHavuzu((2*indexCaprazlama),:);
    i1part=i_ind(1,1:(x));
    i2part=i_ind(1,(x+1):end);
    j1part=j_ind(1,1:(x));
    j2part=j_ind(1,(x+1):end);
    i_ind_new=zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi);
    i_ind_new(1,(1:x))=i1part(1,:);
    i_ind_new(1,(x+1):end)=j2part(1,:);

    j_ind_new=zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi);
    j_ind_new(1,(1:x))=j1part(1,:);

```

```

j_ind_new(1,(x+1):end)=i2part(1,:);

CaprazlamaSonrasiJenerasyon((2*indexCaprazlama)-
                             1,:)=i_ind_new;
CaprazlamaSonrasiJenerasyon((2*indexCaprazlama),:)=j_ind_new;
end
end

mutasyon.m
function [CaprazlamaSonrasiJenerasyon,mutasyonCounter] =
Mutasyon(CaprazlamaSonrasiJenerasyon,RoleIpSayisi,BirRoleIpBitUzunlugu
,Np,mutasyonCounter)
y = 0.05*RoleIpSayisi*BirRoleIpBitUzunlugu;
x = 100*rand;

if (x < y)
    a = 1 + ((Np-1)*rand) ;
    b = 1 + ((BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi - 1)*rand );
    CaprazlamaSonrasiJenerasyon(round(a),round(b)) =
        ~CaprazlamaSonrasiJenerasyon(round(a),round(b));
    mutasyonCounter = mutasyonCounter + 1;
end
end

ruletmasasi.m
function
EslesmeHavuzu=ruletmasasi(fitnessvalues,CaprazlamaSonrasiJenerasyon,Np
,BirRoleIpBitUzunlugu,RoleIpSayisi)
EslesmeHavuzu=zeros(Np,BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi);
y=sum(fitnessvalues);

for r=1:Np
    sel=rand*y;
    top=0;
    ih=1;
    while (top < sel)
        topl=top;
        top=fitnessvalues(ih,1);
        top=top1+top;
        ih=ih+1;
    end
    EslesmeHavuzu(r,:)=CaprazlamaSonrasiJenerasyon(ih-1,:);
end

```

B-3 Genetik Algoritma Durum 3 için Matlab Kodu

```

GALogV.m
rng('shuffle')

Alb = 1;
AUb = 1.25;
Blb = 0;
BUb = 1;
Clb = 0;
CUb = 0.5;

RoleSayisiTopPr = 16;
RoleSayisiTopBck = 11;

```

```

RoleDegiskenlerSayisi = 4*RoleSayisiTopPr + RoleSayisiTopBck * (4 -1);
BirRoleIpBitUzunlugu = 19;
It = 500;
Np= 40000;
penaltiDegeri = 300;
rolelerinAcmaSureleri = zeros(30*4,Np);
FarkVektoru = zeros(14*4,Np);
CTImin = 0.3;
mutasyonCounter = 0;
RealFitness = zeros(Np+1,it);

stoppingCriteria = 7;
stopIndex = 0;
stopVector = zeros(1,Np);

fitnessvalues = zeros(Np,1);
sumoffitness = zeros (1,it);
IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu;
IpChromosomePopIndex2 = 1;
sumofRealfitness = zeros (1,it);

filename = 'Input.xlsx';
filename_s = 'Input_SinglePhase.xlsx';
filename_ds = 'Input_2PhaseToGround.xlsx';
filename_dd = 'Input_PhaseToPhase.xlsx';
sheet = 1;
xlRange1 = 'B2:B17';
xlRange2 = 'O2:O31';
xlRange3 = 'F2:F31';

Gerilimler = xlsread(filename,sheet,xlRange2);
KDAkimlari = xlsread(filename,sheet,xlRange3);
YukAkimlari = xlsread(filename,sheet,xlRange1);

Gerilimler_s = xlsread(filename_s,sheet,xlRange2);
KDAkimlari_s = xlsread(filename_s,sheet,xlRange3);

Gerilimler_ds = xlsread(filename_ds,sheet,xlRange2);
KDAkimlari_ds = xlsread(filename_ds,sheet,xlRange3);

Gerilimler_dd = xlsread(filename_dd,sheet,xlRange2);
KDAkimlari_dd = xlsread(filename_dd,sheet,xlRange3);

FaultCurrentComparisonMatrix = zeros(length(KDAkimlari),4);
FaultCurrentComparisonMatrix(:,1) = KDAkimlari;
FaultCurrentComparisonMatrix(:,2) = KDAkimlari_s;
FaultCurrentComparisonMatrix(:,3) = KDAkimlari_ds;
FaultCurrentComparisonMatrix(:,4) = KDAkimlari_dd;
MinFaultCurrentMatrix = zeros(length(KDAkimlari),2);
MinFaultCurrentMatrix(:,2) = 5;

for indexofMinFault = 1:length(MinFaultCurrentMatrix)
    MinFaultCurrentMatrix(indexofMinFault,1) =
        min(FaultCurrentComparisonMatrix(indexofMinFault,:));
    IpUpperLimit(indexofMinFault,1) =
        min(MinFaultCurrentMatrix(indexofMinFault,:));
end

IpSekYukR1 = YukAkimlari(1) ;

```



```

end
while(k > (2*RoleSayisiTopPr + RoleSayisiTopBck) && k <=
(3*RoleSayisiTopPr + 2*RoleSayisiTopBck) &&
length(find(~realMatrixofB(:,k - (RoleSayisiTopPr*2 +
RoleSayisiTopBck))))~=0)
BBinary = zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu);
for i = 4: BirRoleIpBitUzunlugu
    BBinary(i) = round(rand);
end
realValueofB = BBinary*pow2([tamsayi-1:-1:0 -
(1:ondalikkisim)].');
if(realValueofB > Blb && realValueofB < BUb)
    realMatrixofB(mT,k - (RoleSayisiTopPr*2 +
    RoleSayisiTopBck)) = realValueofB;
    mT = mT + 1;
end
end
while(k > (3*RoleSayisiTopPr + 2*RoleSayisiTopBck) &&
length(find(~realMatrixofC(:,k - (RoleSayisiTopPr*3 + +
2*RoleSayisiTopBck))))~=0)
CBinary = zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu);
for i = 5: BirRoleIpBitUzunlugu
    CBinary(i) = round(rand);
end
realValueofC = CBinary*pow2([tamsayi-1:-1:0 -
(1:ondalikkisim)].');
if(realValueofC > Clb && realValueofC < CUb)
    realMatrixofC(mT,k - (RoleSayisiTopPr*3 +
    RoleSayisiTopBck*2)) = realValueofC;
    mT = mT + 1;
end
end
end

realMatrixofIpABC(:,1:(RoleSayisiTopPr)) = realMatrixofIp;
realMatrixofIpABC(:,(RoleSayisiTopPr)+1 : (RoleSayisiTopPr*2 +
RoleSayisiTopBck) ) = realMatrixofA;
realMatrixofIpABC(:,(RoleSayisiTopPr*2 + RoleSayisiTopBck)+1 :
(RoleSayisiTopPr*3 + 2*RoleSayisiTopBck)) = realMatrixofB;
realMatrixofIpABC(:,(RoleSayisiTopPr*3 + 2*RoleSayisiTopBck)+1 : end)
= realMatrixofC;
for ii = 1:Np
    IpChromosomePopIndex2 = 1;
    IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu;
    for jj = 1:RoleDegiskenlerSayisi
        d2b = [ fix(rem(fix(realMatrixofIpABC(ii,jj))*pow2(-(tamsayi-
1):0),2)), fix(rem(
rem(realMatrixofIpABC(ii,jj),1)*pow2(1:ondalikkisim),2))];
        binaryFormofIpABC(ii,IpChromosomePopIndex2:
IpChromosomePopIndex) = d2b;
        IpChromosomePopIndex2 = BirRoleIpBitUzunlugu +
        IpChromosomePopIndex2;
        IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu +
        IpChromosomePopIndex ;
    end
end

CaprazlamaSonrasiJenerasyon = binaryFormofIpABC;
fitnessvalues = 1./fitnessvalues;
for r = 1:it
    for m = 1:Np

```

```

IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu;
IpChromosomePopIndex2 = 1;
for k = 1:RoleDegiskenlerSayisi
    IpBinary = (CaprazlamaSonrasiJenerasyon(m,...
    IpChromosomePopIndex2: IpChromosomePopIndex ));
    IpReal = IpBinary*pow2([tamsayi-1:-1:0 -
        (1:ondalikkisim)].');
    RoleDegiskenlerGercekDegerleri(m,k) = IpReal;
    IpChromosomePopIndex2 = BirRoleIpBitUzunlugu +
        IpChromosomePopIndex2;
    IpChromosomePopIndex = BirRoleIpBitUzunlugu +
        IpChromosomePopIndex ;
end
end
pencarp = 40;
for t = 1: Np

    [fitnessvalues(t,1),rolelerinAcmaSureleri(:,t),FarkVektoru(:,t)] =
    fitnessfunctionLogV(RoleDegiskenlerGercekDegerleri(t,1:end),penalti
    iDegeri,CTImin,Gerilimler,Gerilimler_s,Gerilimler_ds,Gerilimler_dd
    ,KDAkimlari,KDAkimlari_s,KDAkimlari_ds,KDAkimlari_dd);
    penaltiCounterIp = 0; penaltiCounterA = 0; penaltiCounterB = 0;
        penaltiCounterC = 0; penaltiTop = 0;
    for i = 1:RoleDegiskenlerSayisi
        if(i <= RoleSayisiTopPr)
            if ((RoleDegiskenlerGercekDegerleri(t,i) >
                IpUpperLimit(i)) ||
                RoleDegiskenlerGercekDegerleri(t,i) <
                YukAkimlari(i))
                penaltiCounterIp = penaltiCounterIp +1;
            end
        end
        if(i > RoleSayisiTopPr && i <= (RoleSayisiTopPr*2 +
            RoleSayisiTopBck))
            if ((RoleDegiskenlerGercekDegerleri(t,i) > AUb) ||
                RoleDegiskenlerGercekDegerleri(t,i) < Alb)
                penaltiCounterA = penaltiCounterA +1;
            end
        end
        if(i > (RoleSayisiTopPr*2 + RoleSayisiTopBck) && i <=
            (RoleSayisiTopPr*3 + 2*RoleSayisiTopBck))
            if ((RoleDegiskenlerGercekDegerleri(t,i) > BUb) ||
                RoleDegiskenlerGercekDegerleri(t,i) < Blb)
                penaltiCounterB = penaltiCounterB +1;
            end
        end
        if(i > (RoleSayisiTopPr*3 + 2*RoleSayisiTopBck) && i <=
            (RoleSayisiTopPr*4 + 3*RoleSayisiTopBck))
            if ((RoleDegiskenlerGercekDegerleri(t,i) > CUb) ||
                RoleDegiskenlerGercekDegerleri(t,i) < Clb)
                penaltiCounterC = penaltiCounterC +1;
            end
        end
    end

    penaltiTop = penaltiCounterIp + penaltiCounterA +
        penaltiCounterB + penaltiCounterC;
    fitnessvalues(t,1) = fitnessvalues(t,1) +
        penaltiDegeri*penaltiTop*pencarp;
end
RealFitness(1:Np,r) = fitnessvalues;

```

```

RealFitness(Np+1,r) = sum(fitnessvalues)/Np;
fitnessvalues = 1./fitnessvalues;

EslesmeHavuzu = ruletmasasi (fitnessvalues,
                             CaprazlamaSonrasiJenerasyon, Np,
                             BirRoleIpBitUzunlugu,RoleDegiskenlerSayisi);
CaprazlamaSonrasiJenerasyon = Caprazlamav2(EslesmeHavuzu,
                                             BirRoleIpBitUzunlugu,Np,RoleDegisken
                                             lerSayisi);
[CaprazlamaSonrasiJenerasyon, mutasyonCounter] =
    Mutasyon(CaprazlamaSonrasiJenerasyon,RoleDegisk
enlerSayisi,BirRoleIpBitUzunlugu,Np,mutasyonCou
nter);

sumoffitness(1,r) = sum(fitnessvalues);
sumofRealfitness(1,r) = sum(RealFitness(:,r));

if(r > 1)
    epsilon = 100*(abs(RealFitness(Np+1,r)-RealFitness(Np+1,r-
1)))/RealFitness(Np+1,r-1);
    if (epsilon < stoppingCriteria)
        stopIndex = stopIndex + 1;
        stopVector(stopIndex) = r;
        if(stopIndex > 10 && (stopVector(stopIndex)-
stopVector(stopIndex-10) == 10))
            disp('Algorithm is stopped because stopping criteria
is met!')
            break
        end
    end
end

disp(r)

end

Caprazlamav2.m

function CaprazlamaSonrasiJenerasyon =
    Caprazlamav2(EslesmeHavuzu,BirRoleIpBitUzunlugu,Np,RoleIpSayi
si)

indexVectorShuffled = 1:Np;
indexVectorShuffled =
    indexVectorShuffled(randperm(length(indexVectorSh
uffled)));

EslesmeHavuzu = EslesmeHavuzu(indexVectorShuffled,:);
CaprazlamaSonrasiJenerasyon=zeros(Np,BirRoleIpBitUzunl
ugu*RoleIpSayisi );

for indexCaprazlama = 1:1:(Np/2)
    x=round((rand)*((BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi)-1));
    i_ind=EslesmeHavuzu((2*indexCaprazlama)-1,:);
    j_ind=EslesmeHavuzu((2*indexCaprazlama),:);
    i1part=i_ind(1,1:(x));
    i2part=i_ind(1,(x+1):end);
    j1part=j_ind(1,1:(x));
    j2part=j_ind(1,(x+1):end);
    i_ind_new=zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi);

```

```

        i_ind_new(1,(1:x))=ilpart(1,:);
        i_ind_new(1,(x+1):end)=j2part(1,:);
        j_ind_new=zeros(1,BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi);
        j_ind_new(1,(1:x))=j1part(1,:);
        j_ind_new(1,(x+1):end)=i2part(1,:);

        CaprazlamaSonrasiJenerasyon((2*indexCaprazlama)-
                                     1,:)=i_ind_new;
        CaprazlamaSonrasiJenerasyon((2*indexCaprazlama),:)=j_ind_new;

    end
end

```

fitnessfunctionLogV.m

```

function [ToplamAcma,rolelerinAcmaSureleri,FarkVektoru] =
    fitnessfunctionLogV(IpSatir,penaltiDegeri,CTImin,Gerilimler,
        Gerilimler_s,Gerilimler_ds,Gerilimler_dd,KDAkimlari,KDAkimla
        ri_s,KDAkimlari_ds,KDAkimlari_dd)

Ip1      = IpSatir(1);
Ip2      = IpSatir(2);
Ip3      = IpSatir(3);
Ip4      = IpSatir(4);
Ip5      = IpSatir(5);
Ip6      = IpSatir(6);
Ip7      = IpSatir(7);
Ip8      = IpSatir(8);
Ip9      = IpSatir(9);
Ip10     = IpSatir(10);
Ip11     = IpSatir(11);
Ip12     = IpSatir(12);
Ip13     = IpSatir(13);
Ip14     = IpSatir(14);
Ip15     = IpSatir(15);
Ip16     = IpSatir(16);

A1p      = IpSatir(17);
A2       = IpSatir(18);
A3p      = IpSatir(19);
A4p      = IpSatir(20);
A5       = IpSatir(21);
A6p      = IpSatir(22);
A7p      = IpSatir(23);
A8       = IpSatir(24);
A9p      = IpSatir(25);
A10p     = IpSatir(26);
A11      = IpSatir(27);
A12p     = IpSatir(28);
A13p     = IpSatir(29);
A14      = IpSatir(30);
A15p     = IpSatir(31);
A16p     = IpSatir(32);

A1b      = IpSatir(33);
A3b      = IpSatir(34);
A4b      = IpSatir(35);
A6b      = IpSatir(36);
A7b      = IpSatir(37);
A9b      = IpSatir(38);

```

```
A10b = IpSatir(39);
A12b = IpSatir(40);
A13b = IpSatir(41);
A15b = IpSatir(42);
A16b = IpSatir(43);
```

```
B1p  = IpSatir(44);
B2   = IpSatir(45);
B3p  = IpSatir(46);
B4p  = IpSatir(47);
B5   = IpSatir(48);
B6p  = IpSatir(49);
B7p  = IpSatir(50);
B8   = IpSatir(51);
B9p  = IpSatir(52);
B10p = IpSatir(53);
B11  = IpSatir(54);
B12p = IpSatir(55);
B13p = IpSatir(56);
B14  = IpSatir(57);
B15p = IpSatir(58);
B16p = IpSatir(59);
```

```
B1b  = IpSatir(60);
B3b  = IpSatir(61);
B4b  = IpSatir(62);
B6b  = IpSatir(63);
B7b  = IpSatir(64);
B9b  = IpSatir(65);
B10b = IpSatir(66);
B12b = IpSatir(67);
B13b = IpSatir(68);
B15b = IpSatir(69);
B16b = IpSatir(70);
```

```
C1p  = IpSatir(71);
C2   = IpSatir(72);
C3p  = IpSatir(73);
C4p  = IpSatir(74);
C5   = IpSatir(75);
C6p  = IpSatir(76);
C7p  = IpSatir(77);
C8   = IpSatir(78);
C9p  = IpSatir(79);
C10p = IpSatir(80);
C11  = IpSatir(81);
C12p = IpSatir(82);
C13p = IpSatir(83);
C14  = IpSatir(84);
C15p = IpSatir(85);
C16p = IpSatir(86);
```

```
C1b  = IpSatir(87);
C3b  = IpSatir(88);
C4b  = IpSatir(89);
C6b  = IpSatir(90);
C7b  = IpSatir(91);
C9b  = IpSatir(92);
C10b = IpSatir(93);
C12b = IpSatir(94);
C13b = IpSatir(95);
```

```

C15b  = IpSatir(96);
C16b  = IpSatir(97);

Ik0A1  = KDAkimlari(1) ; v1F1  = Gerilimler(1);
Ik0A2  = KDAkimlari(2) ; v2F1  = Gerilimler(2);
Ik0A4  = KDAkimlari(3) ; v4F1  = Gerilimler(3);

Ik0B3  = KDAkimlari(4) ; v3F2  = Gerilimler(4);
Ik0B1  = KDAkimlari(5) ; v1F2  = Gerilimler(5);
Ik0B4  = KDAkimlari(6) ; v4F2  = Gerilimler(6);
Ik0B16 = KDAkimlari(7) ; v16F2 = Gerilimler(7);
Ik0B7  = KDAkimlari(8) ; v7F2  = Gerilimler(8);

Ik0C5  = KDAkimlari(9) ; v5F3  = Gerilimler(9);
Ik0C3  = KDAkimlari(10); v3F3  = Gerilimler(10);
Ik0C7  = KDAkimlari(11); v7F3  = Gerilimler(11);
Ik0C16 = KDAkimlari(12); v16F3 = Gerilimler(12);

Ik0D7  = KDAkimlari(13); v7F4  = Gerilimler(13);
Ik0D9  = KDAkimlari(14); v9F4  = Gerilimler(14);
Ik0D6  = KDAkimlari(15); v6F4  = Gerilimler(15);
Ik0D16 = KDAkimlari(16); v16F4 = Gerilimler(16);
Ik0D3  = KDAkimlari(17); v3F4  = Gerilimler(17);

Ik0E14 = KDAkimlari(18); v14F5 = Gerilimler(18);
Ik0E12 = KDAkimlari(19); v12F5 = Gerilimler(19);
Ik0E15 = KDAkimlari(20); v15F5 = Gerilimler(20);

Ik0F12 = KDAkimlari(21); v12F6 = Gerilimler(21);
Ik0F10 = KDAkimlari(22); v10F6 = Gerilimler(22);
Ik0F13 = KDAkimlari(23); v13F6 = Gerilimler(23);
Ik0F15 = KDAkimlari(24); v15F6 = Gerilimler(24);

Ik0G11 = KDAkimlari(25); v11F7 = Gerilimler(25);
Ik0G13 = KDAkimlari(26); v13F7 = Gerilimler(26);
Ik0G10 = KDAkimlari(27); v10F7 = Gerilimler(27);

Ik0H8  = KDAkimlari(28); v8F8  = Gerilimler(28);
Ik0H6  = KDAkimlari(29); v6F8  = Gerilimler(29);
Ik0H9  = KDAkimlari(30); v9F8  = Gerilimler(30);

Ik0A1_s = KDAkimlari_s(1) ; v1F1_s = Gerilimler_s(1);
Ik0A2_s = KDAkimlari_s(2) ; v2F1_s = Gerilimler_s(2);
Ik0A4_s = KDAkimlari_s(3) ; v4F1_s = Gerilimler_s(3);

Ik0B3_s = KDAkimlari_s(4) ; v3F2_s = Gerilimler_s(4);
Ik0B1_s = KDAkimlari_s(5) ; v1F2_s = Gerilimler_s(5);
Ik0B4_s = KDAkimlari_s(6) ; v4F2_s = Gerilimler_s(6);
Ik0B16_s = KDAkimlari_s(7) ; v16F2_s = Gerilimler_s(7);
Ik0B7_s = KDAkimlari_s(8) ; v7F2_s = Gerilimler_s(8);

Ik0C5_s = KDAkimlari_s(9) ; v5F3_s = Gerilimler_s(9);
Ik0C3_s = KDAkimlari_s(10); v3F3_s = Gerilimler_s(10);
Ik0C7_s = KDAkimlari_s(11); v7F3_s = Gerilimler_s(11);
Ik0C16_s = KDAkimlari_s(12); v16F3_s = Gerilimler_s(12);

Ik0D7_s = KDAkimlari_s(13); v7F4_s = Gerilimler_s(13);

```

```

Ik0D9_s = KDAkimlari_s(14);    v9F4_s    = Gerilimler_s(14);
Ik0D6_s = KDAkimlari_s(15);    v6F4_s    = Gerilimler_s(15);
Ik0D16_s = KDAkimlari_s(16);    v16F4_s   = Gerilimler_s(16);
Ik0D3_s = KDAkimlari_s(17);    v3F4_s    = Gerilimler_s(17);

Ik0E14_s = KDAkimlari_s(18);    v14F5_s   = Gerilimler_s(18);
Ik0E12_s = KDAkimlari_s(19);    v12F5_s   = Gerilimler_s(19);
Ik0E15_s = KDAkimlari_s(20);    v15F5_s   = Gerilimler_s(20);

Ik0F12_s = KDAkimlari_s(21);    v12F6_s   = Gerilimler_s(21);
Ik0F10_s = KDAkimlari_s(22);    v10F6_s   = Gerilimler_s(22);
Ik0F13_s = KDAkimlari_s(23);    v13F6_s   = Gerilimler_s(23);
Ik0F15_s = KDAkimlari_s(24);    v15F6_s   = Gerilimler_s(24);

Ik0G11_s = KDAkimlari_s(25);    v11F7_s   = Gerilimler_s(25);
Ik0G13_s = KDAkimlari_s(26);    v13F7_s   = Gerilimler_s(26);
Ik0G10_s = KDAkimlari_s(27);    v10F7_s   = Gerilimler_s(27);

Ik0H8_s = KDAkimlari_s(28);    v8F8_s    = Gerilimler_s(28);
Ik0H6_s = KDAkimlari_s(29);    v6F8_s    = Gerilimler_s(29);
Ik0H9_s = KDAkimlari_s(30);    v9F8_s    = Gerilimler_s(30);

Ik0A1_ds = KDAkimlari_ds(1) ;    v1F1_ds   = Gerilimler_ds(1);
Ik0A2_ds = KDAkimlari_ds(2) ;    v2F1_ds   = Gerilimler_ds(2);
Ik0A4_ds = KDAkimlari_ds(3) ;    v4F1_ds   = Gerilimler_ds(3);

Ik0B3_ds = KDAkimlari_ds(4) ;    v3F2_ds   = Gerilimler_ds(4);
Ik0B1_ds = KDAkimlari_ds(5) ;    v1F2_ds   = Gerilimler_ds(5);
Ik0B4_ds = KDAkimlari_ds(6) ;    v4F2_ds   = Gerilimler_ds(6);
Ik0B16_ds = KDAkimlari_ds(7) ;    v16F2_ds  = Gerilimler_ds(7);
Ik0B7_ds = KDAkimlari_ds(8) ;    v7F2_ds   = Gerilimler_ds(8);

Ik0C5_ds = KDAkimlari_ds(9) ;    v5F3_ds   = Gerilimler_ds(9);
Ik0C3_ds = KDAkimlari_ds(10);    v3F3_ds   = Gerilimler_ds(10);
Ik0C7_ds = KDAkimlari_ds(11);    v7F3_ds   = Gerilimler_ds(11);
Ik0C16_ds = KDAkimlari_ds(12);    v16F3_ds  = Gerilimler_ds(12);

Ik0D7_ds = KDAkimlari_ds(13);    v7F4_ds   = Gerilimler_ds(13);
Ik0D9_ds = KDAkimlari_ds(14);    v9F4_ds   = Gerilimler_ds(14);
Ik0D6_ds = KDAkimlari_ds(15);    v6F4_ds   = Gerilimler_ds(15);
Ik0D16_ds = KDAkimlari_ds(16);    v16F4_ds  = Gerilimler_ds(16);
Ik0D3_ds = KDAkimlari_ds(17);    v3F4_ds   = Gerilimler_ds(17);

Ik0E14_ds = KDAkimlari_ds(18);    v14F5_ds  = Gerilimler_ds(18);
Ik0E12_ds = KDAkimlari_ds(19);    v12F5_ds  = Gerilimler_ds(19);
Ik0E15_ds = KDAkimlari_ds(20);    v15F5_ds  = Gerilimler_ds(20);

Ik0F12_ds = KDAkimlari_ds(21);    v12F6_ds  = Gerilimler_ds(21);
Ik0F10_ds = KDAkimlari_ds(22);    v10F6_ds  = Gerilimler_ds(22);
Ik0F13_ds = KDAkimlari_ds(23);    v13F6_ds  = Gerilimler_ds(23);
Ik0F15_ds = KDAkimlari_ds(24);    v15F6_ds  = Gerilimler_ds(24);

Ik0G11_ds = KDAkimlari_ds(25);    v11F7_ds  = Gerilimler_ds(25);
Ik0G13_ds = KDAkimlari_ds(26);    v13F7_ds  = Gerilimler_ds(26);
Ik0G10_ds = KDAkimlari_ds(27);    v10F7_ds  = Gerilimler_ds(27);

```

```

Ik0H8_ds      = KDAkimlari_ds(28);    v8F8_ds      = Gerilimler_ds(28);
Ik0H6_ds      = KDAkimlari_ds(29);    v6F8_ds      = Gerilimler_ds(29);
Ik0H9_ds      = KDAkimlari_ds(30);    v9F8_ds      = Gerilimler_ds(30);

Ik0A1_dd      = KDAkimlari_dd(1) ;    v1F1_dd      = Gerilimler_dd(1);
Ik0A2_dd      = KDAkimlari_dd(2) ;    v2F1_dd      = Gerilimler_dd(2);
Ik0A4_dd      = KDAkimlari_dd(3) ;    v4F1_dd      = Gerilimler_dd(3);

Ik0B3_dd      = KDAkimlari_dd(4) ;    v3F2_dd      = Gerilimler_dd(4);
Ik0B1_dd      = KDAkimlari_dd(5) ;    v1F2_dd      = Gerilimler_dd(5);
Ik0B4_dd      = KDAkimlari_dd(6) ;    v4F2_dd      = Gerilimler_dd(6);
Ik0B16_dd     = KDAkimlari_dd(7) ;    v16F2_dd     = Gerilimler_dd(7);
Ik0B7_dd      = KDAkimlari_dd(8) ;    v7F2_dd      = Gerilimler_dd(8);

Ik0C5_dd      = KDAkimlari_dd(9) ;    v5F3_dd      = Gerilimler_dd(9);
Ik0C3_dd      = KDAkimlari_dd(10);    v3F3_dd      = Gerilimler_dd(10);
Ik0C7_dd      = KDAkimlari_dd(11);    v7F3_dd      = Gerilimler_dd(11);
Ik0C16_dd     = KDAkimlari_dd(12);    v16F3_dd     = Gerilimler_dd(12);

Ik0D7_dd      = KDAkimlari_dd(13);    v7F4_dd      = Gerilimler_dd(13);
Ik0D9_dd      = KDAkimlari_dd(14);    v9F4_dd      = Gerilimler_dd(14);
Ik0D6_dd      = KDAkimlari_dd(15);    v6F4_dd      = Gerilimler_dd(15);
Ik0D16_dd     = KDAkimlari_dd(16);    v16F4_dd     = Gerilimler_dd(16);
Ik0D3_dd      = KDAkimlari_dd(17);    v3F4_dd      = Gerilimler_dd(17);

Ik0E14_dd     = KDAkimlari_dd(18);    v14F5_dd     = Gerilimler_dd(18);
Ik0E12_dd     = KDAkimlari_dd(19);    v12F5_dd     = Gerilimler_dd(19);
Ik0E15_dd     = KDAkimlari_dd(20);    v15F5_dd     = Gerilimler_dd(20);

Ik0F12_dd     = KDAkimlari_dd(21);    v12F6_dd     = Gerilimler_dd(21);
Ik0F10_dd     = KDAkimlari_dd(22);    v10F6_dd     = Gerilimler_dd(22);
Ik0F13_dd     = KDAkimlari_dd(23);    v13F6_dd     = Gerilimler_dd(23);
Ik0F15_dd     = KDAkimlari_dd(24);    v15F6_dd     = Gerilimler_dd(24);

Ik0G11_dd     = KDAkimlari_dd(25);    v11F7_dd     = Gerilimler_dd(25);
Ik0G13_dd     = KDAkimlari_dd(26);    v13F7_dd     = Gerilimler_dd(26);
Ik0G10_dd     = KDAkimlari_dd(27);    v10F7_dd     = Gerilimler_dd(27);

Ik0H8_dd      = KDAkimlari_dd(28);    v8F8_dd      = Gerilimler_dd(28);
Ik0H6_dd      = KDAkimlari_dd(29);    v6F8_dd      = Gerilimler_dd(29);
Ik0H9_dd      = KDAkimlari_dd(30);    v9F8_dd      = Gerilimler_dd(30);

T1F1          = (log10((v1F1+ A1p)))/(((Ik0A1 / Ip1)^ B1p)-1))+ C1p;
T2F1          = (log10((v2F1+ A2 )))/(((Ik0A2 / Ip2)^ B2)-1))+ C2;
T4F1          = (log10((v4F1+ A4b))/(((Ik0A4 / Ip4)^ B4b)-1))+ C4b;
%%
T3F2          = (log10((v3F2+ A3p)))/(((Ik0B3 / Ip3)^ B3p)-1))+ C3p;
T1F2          = (log10((v1F2+ A1b))/(((Ik0B1 / Ip1)^ B1b)-1))+ C1b;
T4F2          = (log10((v4F2+ A4p))/(((Ik0B4 / Ip4)^ B4p)-1))+ C4p;
T16F2         = (log10((v16F2+ A16b )))/(((Ik0B16 / Ip16)^ B16b)-1))+ C16b;
T7F2          = (log10((v7F2+ A7b))/(((Ik0B7 / Ip7)^ B7b)-1))+ C7b;
%%
T5F3          = (log10((v5F3+ A5 )))/(((Ik0C5 / Ip5)^ B5)-1))+ C5;
T3F3          = (log10((v3F3+ A3b )))/(((Ik0C3 / Ip3)^ B3b)-1))+ C3b;
T7F3          = (log10((v7F3+ A7b )))/(((Ik0C7 / Ip7)^ B7b)-1))+ C7b;
T16F3         = (log10((v16F3+ A16p )))/(((Ik0C16 / Ip16)^ B16p)-1))+ C16p;

```



```

%%%
T7F4      = (log10((v7F4+ A7p)))/(((Ik0D7 / Ip7)^ B7p)-1))+ C7p;
T9F4      = (log10((v9F4+ A9b )))/(((Ik0D9 / Ip9 )^ B9b)-1))+ C9b;
T6F4      = (log10((v6F4+ A6p )))/(((Ik0D6 / Ip6)^ B6p)-1))+ C6p;
T16F4     = (log10((v16F4+ A16b )))/(((Ik0D16 / Ip16)^ B16b)-1))+ C16b;
T3F4      = (log10((v3F4+ A3b)))/(((Ik0D3 / Ip3)^ B3b)-1))+ C3b;
%%%
T14F5     = (log10((v14F5+ A14 )))/(((Ik0E14 / Ip14)^ B14)-1))+ C14;
T12F5     = (log10((v12F5+ A12b )))/(((Ik0E12 / Ip12)^ B12b)-1))+ C12b;
T15F5     = (log10((v15F5+ A15p )))/(((Ik0E15 / Ip15)^ B15p)-1))+
C15p;
%%%
T12F6     = (log10((v12F6+ A12p )))/(((Ik0F12 / Ip12)^ B12p)-1))+ C12p;
T10F6     = (log10((v10F6+ A10b )))/(((Ik0F10 / Ip10)^ B10b)-1))+ C10b;
T13F6     = (log10((v13F6+ A13p )))/(((Ik0F13 / Ip13)^ B13p)-1))+ C13p;
T15F6     = (log10((v15F6+ A15b )))/(((Ik0F15 / Ip15)^ B15b)-1))+ C15b;
%%%
T11F7     = (log10((v11F7+ A11 )))/(((Ik0G11 / Ip11)^ B11)-1))+ C11;
T13F7     = (log10((v13F7+ A13b )))/(((Ik0G13 / Ip13)^ B13b)-1))+ C13b;
T10F7     = (log10((v10F7+ A10p )))/(((Ik0G10 / Ip10)^ B10p)-1))+ C10p;
T8F8      = (log10((v8F8+ A8))/(((Ik0H8 / Ip8)^ B8)-1))+ C8;
T6F8      = (log10((v6F8+ A6b )))/(((Ik0H6 / Ip6)^ B6b)-1))+ C6b;
T9F8      = (log10((v9F8+ A9p )))/(((Ik0H9 / Ip9)^ B9p)-1))+ C9p;

% single phase

T1F1_s     = (log10((v1F1_s+A1p)))/(((Ik0A1_s / Ip1)^ B1p)-1))+ C1p;
T2F1_s     = (log10((v2F1_s+ A2 )))/(((Ik0A2_s / Ip2)^ B2)-1))+ C2;
T4F1_s     = (log10((v4F1_s+ A4b )))/(((Ik0A4_s / Ip4)^ B4b)-1))+
C4b;
%%%
T3F2_s     = (log10((v3F2_s+ A3p)))/(((Ik0B3_s / Ip3)^ B3p)-1))+ C3p;
T1F2_s     = (log10((v1F2_s+ A1b)))/(((Ik0B1_s / Ip1)^ B1b)-1))+ C1b;
T4F2_s     = (log10((v4F2_s+ A4p )))/(((Ik0B4_s / Ip4)^ B4p)-1))+ C4p;
T16F2_s    = (log10((v16F2_s+ A16b)))/(((Ik0B16_s/Ip16)^ B16b)-1))+C16b;
T7F2_s     = (log10((v7F2_s+A7b)))/(((Ik0B7_s / Ip7)^ B7b)-1))+ C7b;
%%%
T5F3_s     = (log10((v5F3_s+ A5))/(((Ik0C5_s / Ip5)^ B5)-1))+ C5;
T3F3_s     = (log10((v3F3_s+A3b)))/(((Ik0C3_s/Ip3)^ B3b)-1))+ C3b;
T7F3_s     = (log10((v7F3_s+A7b)))/(((Ik0C7_s/Ip7)^ B7b)-1))+ C7b;
T16F3_s    = (log10((v16F3_s+A16p)))/(((Ik0C16_s/Ip16)^ B16p)-1))+ C16p;
%%%
T7F4_s     = (log10((v7F4_s+A7p)))/(((Ik0D7_s/Ip7)^B7p)-1))+ C7p;
T9F4_s     = (log10((v9F4_s+A9b)))/(((Ik0D9_s/Ip9 )^B9b)-1))+ C9b;
T6F4_s     = (log10((v6F4_s+A6p)))/(((Ik0D6_s/Ip6)^B6p)-1))+ C6p;
T16F4_s    = (log10((v16F4_s+A16b)))/(((Ik0D16_s/Ip16)^B16b)-1))+ C16b;
T3F4_s     = (log10((v3F4_s+A3b)))/(((Ik0D3_s/Ip3)^B3b)-1))+C3b;
%%%
T14F5_s    = (log10((v14F5_s+A14)))/(((Ik0E14_s/Ip14)^B14)-1))+ C14;
T12F5_s    = (log10((v12F5_s+A12b)))/(((Ik0E12_s/Ip12)^B12b)-1))+ C12b;
T15F5_s    = (log10((v15F5_s+A15p)))/(((Ik0E15_s/Ip15)^B15p)-1))+ C15p;
%%%
T12F6_s    = (log10((v12F6_s+A12p)))/(((Ik0F12_s/Ip12)^B12p)-1))+ C12p;
T10F6_s    = (log10((v10F6_s+A10b)))/(((Ik0F10_s/Ip10)^B10b)-1))+ C10b;
T13F6_s    = (log10((v13F6_s+A13p)))/(((Ik0F13_s/Ip13)^B13p)-1))+ C13p;
T15F6_s    = (log10((v15F6_s+A15b)))/(((Ik0F15_s/Ip15)^B15b)-1))+ C15b;
%%%
T11F7_s    = (log10((v11F7_s+A11)))/(((Ik0G11_s/Ip11)^B11)-1))+ C11;
T13F7_s    = (log10((v13F7_s+A13b)))/(((Ik0G13_s/Ip13)^B13b)-1))+ C13b;
T10F7_s    = (log10((v10F7_s+A10p)))/(((Ik0G10_s/Ip10)^B10p)-1))+ C10p;

```

```

T8F8_s      =(log10((v8F8_s+A8))/(((Ik0H8_s/Ip8)^B8)-1))+      C8;
T6F8_s      =(log10((v6F8_s+A6b))/(((Ik0H6_s/ Ip6)^B6b)-1))+      C6b;
T9F8_s      =(log10((v9F8_s+A9p))/(((Ik0H9_s/ Ip9)^ B9p)-1))+      C9p;

T1F1_ds     = (log10((v1F1_ds+ A1p))/(((Ik0A1_ds/Ip1)^B1p)-1))+      C1p;
T2F1_ds     = (log10((v2F1_ds+ A2))/(((Ik0A2_ds/Ip2)^ B2)-1))+      C2;
T4F1_ds     = (log10((v4F1_ds+ A4b))/(((Ik0A4_ds /Ip4)^B4b)-1))+      C4b;
%%%
T3F2_ds     = (log10((v3F2_ds+A3p))/(((Ik0B3_ds/Ip3)^B3p)-1))+      C3p;
T1F2_ds     = (log10((v1F2_ds+ A1b))/(((Ik0B1_ds/Ip1)^ B1b)-1))+      C1b;
T4F2_ds     = (log10((v4F2_ds+ A4p ))/(((Ik0B4_ds/Ip4)^B4p)-1))+      C4p;
T16F2_ds    = (log10((v16F2_ds+A16b))/(((Ik0B16_ds/Ip16)^B16b)-1))+ C16b;
T7F2_ds     = (log10((v7F2_ds+A7b))/(((Ik0B7_ds/Ip7)^B7b)-1))+      C7b;
%%%
T5F3_ds     = (log10((v5F3_ds+A5))/(((Ik0C5_ds/Ip5)^B5)-1))+      C5;
T3F3_ds     = (log10((v3F3_ds+A3b))/(((Ik0C3_ds/Ip3)^B3b)-1))+      C3b;
T7F3_ds     = (log10((v7F3_ds+A7b))/(((Ik0C7_ds/Ip7)^B7b)-1))+      C7b;
T16F3_ds    = (log10((v16F3_ds+ A16p))/(((Ik0C16_ds/Ip16)^B16p)-1))+ C16p;
C16p;
%%%
T7F4_ds     = (log10((v7F4_ds+A7p))/(((Ik0D7_ds/Ip7)^ B7p)-1))+      C7p;
T9F4_ds     = (log10((v9F4_ds+A9b))/(((Ik0D9_ds/Ip9 )^ B9b)-1))+      C9b;
T6F4_ds     = (log10((v6F4_ds+A6p))/(((Ik0D6_ds/Ip6)^ B6p)-1))+      C6p;
T16F4_ds    = (log10((v16F4_ds+A16b))/(((Ik0D16_ds/Ip16)^B16b)-1))+C16b;
T3F4_ds     = (log10((v3F4_ds+A3b))/(((Ik0D3_ds/Ip3)^B3b)-1))+      C3b;
%%%
T14F5_ds    = (log10((v14F5_ds+A14))/(((Ik0E14_ds/Ip14)^B14)-1))+      C14;
T12F5_ds    = (log10((v12F5_ds+A12b))/(((Ik0E12_ds/Ip12)^B12b)-1))+C12b;
T15F5_ds    = (log10((v15F5_ds+A15p))/(((Ik0E15_ds/Ip15)^B15p)-1))+C15p;
%%%
T12F6_ds    = (log10((v12F6_ds+A12p))/(((Ik0F12_ds/Ip12)^B12p)-1))+C12p;
T10F6_ds    = (log10((v10F6_ds+A10b))/(((Ik0F10_ds/Ip10)^B10b)-1))+C10b;
T13F6_ds    = (log10((v13F6_ds+A13p))/(((Ik0F13_ds/Ip13)^B13p)-1))+C13p;
T15F6_ds    = (log10((v15F6_ds+A15b))/(((Ik0F15_ds/Ip15)^B15b)-1))+C15b;
%%%
T11F7_ds    = (log10((v11F7_ds+A11))/(((Ik0G11_ds/Ip11)^ B11)-1))+C11;
T13F7_ds    = (log10((v13F7_ds+A13b))/(((Ik0G13_ds/Ip13)^B13b)-1))+C13b;
T10F7_ds    = (log10((v10F7_ds+A10p))/(((Ik0G10_ds/Ip10)^B10p)-1))+C10p;
T8F8_ds     = (log10((v8F8_ds+A8))/(((Ik0H8_ds/Ip8)^B8)-1))+      C8;
T6F8_ds     = (log10((v6F8_ds+ A6b))/(((Ik0H6_ds/ Ip6)^B6b)-1))+      C6b;
T9F8_ds     = (log10((v9F8_ds+ A9p ))/(((Ik0H9_ds/Ip9)^B9p)-1))+      C9p;

```

%phase to phase

```

T1F1_dd     = (log10((v1F1_dd+ A1p))/(((Ik0A1_dd/Ip1)^B1p)-1))+C1p;
T2F1_dd     = (log10((v2F1_dd+A2))/(((Ik0A2_dd/Ip2)^B2)-1))+      C2;
T4F1_dd     = (log10((v4F1_dd+A4b ))/(((Ik0A4_dd/ Ip4)^B4b)-1))+      C4b;
%%%
T3F2_dd     = (log10((v3F2_dd+A3p))/(((Ik0B3_dd/Ip3)^B3p)-1))+      C3p;
T1F2_dd     = (log10((v1F2_dd+A1b))/(((Ik0B1_dd/Ip1)^B1b)-1))+      C1b;
T4F2_dd     = (log10((v4F2_dd+A4p))/(((Ik0B4_dd/ Ip4)^B4p)-1))+      C4p;
T16F2_dd    = (log10((v16F2_dd+A16b))/(((Ik0B16_dd/Ip16)^B16b)-1))+C16b;
T7F2_dd     = (log10((v7F2_dd+A7b))/(((Ik0B7_dd/Ip7)^B7b)-1))+      C7b;
%%%
T5F3_dd     = (log10((v5F3_dd+A5))/(((Ik0C5_dd  / Ip5)^      B5)-1))+
C5;
T3F3_dd     = (log10((v3F3_dd+A3b))/(((Ik0C3_dd  / Ip3)^      B3b)-1))+
C3b;
T7F3_dd     = (log10((v7F3_dd+A7b))/(((Ik0C7_dd  / Ip7)^      B7b)-1))+
C7b;

```

```

T16F3_dd = (log10((v16F3_dd+A16p))/(((Ik0C16_dd / Ip16)^ B16p)-
1))+ C16p;
%%%
T7F4_dd = (log10((v7F4_dd+A7p))/(((Ik0D7_dd / Ip7)^B7p)-1))+ C7p;
T9F4_dd = (log10((v9F4_dd+A9b))/(((Ik0D9_dd /Ip9 )^B9b)-1))+ C9b;
T6F4_dd = (log10((v6F4_dd+A6p))/(((Ik0D6_dd /Ip6)^B6p)-1))+ C6p;
T16F4_dd =(log10((v16F4_dd+A16b))/(((Ik0D16_dd /Ip16)^B16b)-1))+C16b;
T3F4_dd = (log10((v3F4_dd+A3b))/(((Ik0D3_dd/ Ip3)^B3b)-1))+ C3b;
%%%
T14F5_dd = (log10((v14F5_dd+A14))/(((Ik0E14_dd/Ip14)^B14)-1))+ C14;
T12F5_dd = (log10((v12F5_dd+A12b))/(((Ik0E12_dd/Ip12)^B12b)-1))+C12b;
T15F5_dd = (log10((v15F5_dd+A15p))/(((Ik0E15_dd/Ip15)^B15p)-1))+C15p;
%%%
T12F6_dd =(log10((v12F6_dd+A12p))/(((Ik0F12_dd/Ip12)^B12p)-1))+C12p;
T10F6_dd =(log10((v10F6_dd+A10b))/(((Ik0F10_dd/Ip10)^B10b)-1))+C10b;
T13F6_dd =(log10((v13F6_dd+A13p))/(((Ik0F13_dd/Ip13)^B13p)-1))+C13p;
T15F6_dd =(log10((v15F6_dd+A15b))/(((Ik0F15_dd/Ip15)^B15b)-1))+C15b;
%%%
T11F7_dd =(log10((v11F7_dd+A11))/(((Ik0G11_dd/Ip11)^B11)-1))+ C11;
%R
T13F7_dd =(log10((v13F7_dd+A13b))/(((Ik0G13_dd/Ip13)^B13b)-1))+C13b;
T10F7_dd =(log10((v10F7_dd+A10p))/(((Ik0G10_dd/Ip10)^B10p)-1))+C10p;

T8F8_dd =(log10((v8F8_dd+A8))/(((Ik0H8_dd/Ip8)^ B8)-1))+ C8;
T6F8_dd =(log10((v6F8_dd+A6b))/(((Ik0H6_dd/Ip6)^ B6b)-1))+ C6b;
T9F8_dd =(log10((v9F8_dd+A9p))/(((Ik0H9_dd/Ip9)^ B9p)-1))+ C9p;

rolelerinAcmaSureleri =
    [T1F1;T2F1;T4F1;T3F2;T1F2;T4F2;T16F2;T7F2;T5F3
    ;T3F3;T7F3;T16F3;T7F4;T9F4;T6F4;T16F4;T3F4;T14
    F5;T12F5;T15F5;T12F6...

    ;T10F6;T13F6;T15F6;T11F7;T13F7;T10F7;T8F8;T6F8
    ;T9F8;T1F1_s;T2F1_s;T4F1_s;T3F2_s;T1F2_s;T4F2_
    s;T16F2_s;T7F2_s;T5F3_s;T3F3_s;T7F3_s;T16F3_s;
    T7F4_s;T9F4_s;T6F4_s;T16F4_s;T3F4_s;T14F5_s;T1
    2F5_s;T15F5_s;T12F6_s...

    ;T10F6_s;T13F6_s;T15F6_s;T11F7_s;T13F7_s;T10F7
    _s;T8F8_s;T6F8_s;T9F8_s;T1F1_ds;T2F1_ds;T4F1_d
    s;T3F2_ds;T1F2_ds;T4F2_ds;T16F2_ds;T7F2_ds;T5F
    3_ds;T3F3_ds;T7F3_ds;T16F3_ds;T7F4_ds;T9F4_ds;
    T6F4_ds;T16F4_ds;T3F4_ds;T14F5_ds;T12F5_ds;T15
    F5_ds;T12F6_ds...

    ;T10F6_ds;T13F6_ds;T15F6_ds;T11F7_ds;T13F7_ds;
    T10F7_ds;T8F8_ds;T6F8_ds;T9F8_ds;T1F1_dd;T2F1_
    dd;T4F1_dd;T3F2_dd;T1F2_dd;T4F2_dd;T16F2_dd;T7
    F2_dd;T5F3_dd;T3F3_dd;T7F3_dd;T16F3_dd;T7F4_dd
    ;T9F4_dd;T6F4_dd;T16F4_dd;T3F4_dd;T14F5_dd;T12
    F5_dd;T15F5_dd;T12F6_dd...

    ;T10F6_dd;T13F6_dd;T15F6_dd;T11F7_dd;T13F7_dd;
    T10F7_dd;T8F8_dd;T6F8_dd;T9F8_dd];

ToplamAcma =
    T1F1+T2F1+T4F1+T3F2+T1F2+T4F2+T16F2+T7F2+T5F3+T3F3+T7F3+T1
    6F3+T7F4+T9F4+T6F4+T16F4+T3F4+T14F5+T12F5+T15F5+T12F6...

    +T10F6+T13F6+T15F6+T11F7+T13F7+T10F7+T8F8+T6F8+T9F8+T1F1_s

```

+T2F1_s+T4F1_s+T3F2_s+T1F2_s+T4F2_s+T16F2_s+T7F2_s+T5F3_s+
T3F3_s+T7F3_s+T16F3_s+T7F4_s+T9F4_s+T6F4_s+T16F4_s+T3F4_s+
T14F5_s+T12F5_s+T15F5_s+T12F6_s...

+T10F6_s+T13F6_s+T15F6_s+T11F7_s+T13F7_s+T10F7_s+T8F8_s+T6
F8_s+T9F8_s+T1F1_ds+T2F1_ds+T4F1_ds+T3F2_ds+T1F2_ds+T4F2_d
s+T16F2_ds+T7F2_ds+T5F3_ds+T3F3_ds+T7F3_ds+T16F3_ds+T7F4_d
s+T9F4_ds+T6F4_ds+T16F4_ds+T3F4_ds+T14F5_ds+T12F5_ds+T15F5
_ds+T12F6_ds...

+T10F6_ds+T13F6_ds+T15F6_ds+T11F7_ds+T13F7_ds+T10F7_ds+T8F
8_ds+T6F8_ds+T9F8_ds+T1F1_dd+T2F1_dd+T4F1_dd+T3F2_dd+T1F2_
dd+T4F2_dd+T16F2_dd+T7F2_dd+T5F3_dd+T3F3_dd+T7F3_dd+T16F3_
dd+T7F4_dd+T9F4_dd+T6F4_dd+T16F4_dd+T3F4_dd+T14F5_dd+T12F5
_dd+T15F5_dd+T12F6_dd...

+T10F6_dd+T13F6_dd+T15F6_dd+T11F7_dd+T13F7_dd+T10F7_dd+T8F
8_dd+T6F8_dd+T9F8_dd ;

```
FarkVektoru = zeros(14*4,1);
FarkVektoru(1)  = T4F1  - T2F1;
FarkVektoru(2)  = T1F2  - T3F2;
FarkVektoru(3)  = T16F2 - T4F2;
FarkVektoru(4)  = T7F2  - T4F2;
FarkVektoru(5)  = T3F3  - T5F3;
FarkVektoru(6)  = T7F3  - T5F3;
FarkVektoru(7)  = T9F4  - T7F4;
FarkVektoru(8)  = T16F4 - T6F4;
FarkVektoru(9)  = T3F4  - T6F4;
FarkVektoru(10) = T12F5 - T14F5;
FarkVektoru(11) = T10F6 - T12F6;
FarkVektoru(12) = T15F6 - T13F6;
FarkVektoru(13) = T13F7 - T11F7;
FarkVektoru(14) = T6F8  - T8F8;

FarkVektoru(15) = T4F1_s - T2F1_s;
FarkVektoru(16) = T1F2_s - T3F2_s;
FarkVektoru(17) = T16F2_s - T4F2_s;
FarkVektoru(18) = T7F2_s - T4F2_s;
FarkVektoru(19) = T3F3_s - T5F3_s;
FarkVektoru(20) = T7F3_s - T5F3_s;
FarkVektoru(21) = T9F4_s - T7F4_s;
FarkVektoru(22) = T16F4_s - T6F4_s;
FarkVektoru(23) = T3F4_s - T6F4_s;
FarkVektoru(24) = T12F5_s - T14F5_s;
FarkVektoru(25) = T10F6_s - T12F6_s;
FarkVektoru(26) = T15F6_s - T13F6_s;
FarkVektoru(27) = T13F7_s - T11F7_s;
FarkVektoru(28) = T6F8_s - T8F8_s;

FarkVektoru(29) = T4F1_ds - T2F1_ds;
FarkVektoru(30) = T1F2_ds - T3F2_ds;
FarkVektoru(31) = T16F2_ds - T4F2_ds;
FarkVektoru(32) = T7F2_ds - T4F2_ds;
FarkVektoru(33) = T3F3_ds - T5F3_ds;
FarkVektoru(34) = T7F3_ds - T5F3_ds;
FarkVektoru(35) = T9F4_ds - T7F4_ds;
FarkVektoru(36) = T16F4_ds - T6F4_ds;
FarkVektoru(37) = T3F4_ds - T6F4_ds;
FarkVektoru(38) = T12F5_ds - T14F5_ds;
FarkVektoru(39) = T10F6_ds - T12F6_ds;
```

```

FarkVektoru(40) = T15F6_ds - T13F6_ds;
FarkVektoru(41) = T13F7_ds - T11F7_ds;
FarkVektoru(42) = T6F8_ds - T8F8_ds;

FarkVektoru(43) = T4F1_dd - T2F1_dd;
FarkVektoru(44) = T1F2_dd - T3F2_dd;
FarkVektoru(45) = T16F2_dd - T4F2_dd;
FarkVektoru(46) = T7F2_dd - T4F2_dd;
FarkVektoru(47) = T3F3_dd - T5F3_dd;
FarkVektoru(48) = T7F3_dd - T5F3_dd;
FarkVektoru(49) = T9F4_dd - T7F4_dd;
FarkVektoru(50) = T16F4_dd - T6F4_dd;
FarkVektoru(51) = T3F4_dd - T6F4_dd;
FarkVektoru(52) = T12F5_dd - T14F5_dd;
FarkVektoru(53) = T10F6_dd - T12F6_dd;
FarkVektoru(54) = T15F6_dd - T13F6_dd;
FarkVektoru(55) = T13F7_dd - T11F7_dd;
FarkVektoru(56) = T6F8_dd - T8F8_dd;

k = 100;

for index = 1:length(FarkVektoru)

    if((FarkVektoru(index) < CTImin))
        ToplamAcma = ToplamAcma + penaltiDegeri*k;
    end
end

mutasyon.m
function [CaprazlamaSonrasiJenerasyon,mutasyonCounter] =
    Mutasyon(CaprazlamaSonrasiJenerasyon,RoleIpSayisi,BirRoleIpBi
        tUzunlugu,Np,mutasyonCounter)
y = 0.05*RoleIpSayisi*BirRoleIpBitUzunlugu;
x = 100*rand;
    if (x < y)
        a = 1 + ((Np-1)*rand) ;
        b = 1 + ((BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi - 1)*rand );
        CaprazlamaSonrasiJenerasyon(round(a),round(b)) =
            ~CaprazlamaSonrasiJenerasyon(round(a),round(b));
        mutasyonCounter = mutasyonCounter + 1;
    end
end

ruletmasasi.m
function EslesmeHavuzu =
    ruletmasasi(fitnessvalues,CaprazlamaSonrasiJenerasyon,Np,BirR
        oleIpBitUzunlugu,RoleIpSayisi)
EslesmeHavuzu=zeros(Np,BirRoleIpBitUzunlugu*RoleIpSayisi);
y=sum(fitnessvalues);

for r=1:Np
    sel=rand*y;
    top=0;
    ih=1;
    while (top < sel)
        top1=top;
        top=fitnessvalues(ih,1);
        top=top1+top;
        ih=ih+1;
    end
end

```

```
        end
        EslesmeHavuzu(r,:)=CaprazlamaSonrasiJenerasyon(ih-1,:);
    end
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hasan Can KILIÇKIRAN

Doğum Tarihi ve Yeri : 13.07.1987, İstanbul

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : hckilickiran@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Elektrik Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lisans	Elektrik Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen-Matematik	Büyükşehir Hüseyin Yıldız Anadolu Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2017 - 2018	Eindhoven University of Technology / EES Group	Misafir Araştırmacı
2013 - 2018	Yıldız Teknik Üni. / Elektrik-Elektronik Müh.	Araştırma Görevlisi
2012 - 2013	Karel İnşaat	Şantiye Şefi

YAYINLARI

Makaleler

1. Kılıçkiran H.C., Şengör İ., Akdemir H., Kekezoğlu B., Erdiñç O. ve Paterakis N.G., (2018). "Power System Protection with Digital Overcurrent Relays: A Review of Non-Standard Characteristics", Electric Power Systems Research, 164: 89-102.
2. Kılıçkiran H.C., Akdemir H., Şengör İ., Kekezoğlu B. ve Paterakis N.G., (2018). "A Non-Standard Characteristic Based Protection Scheme for Distribution Networks", Energies, 11 (5): 1241.
3. Şengör İ., Kılıçkiran H.C., Akdemir H., Kekezoğlu B., Erdiñç O. ve Catalão J.P.S., (2018). "Energy Management of a Smart Railway Station Considering Regenerative Braking and Stochastic Behaviour of ESS and PV Generation", IEEE Transactions on Sustainable Energy, 9 (3): 1041-1050.
4. Kekezoğlu B., Kılıçkiran H.C., Şengör İ. ve Akdemir H., (2017). "An Education Kit Design for Lightning Protection Of A Wind Turbine", Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17: 1-10.

Bildiriler

1. Şengör İ., Kılıçkiran H.C., Akdemir H., Kekezoğlu B., Erdiñç O. ve Catalao J.P.S., (2017). "Smart railway station energy management considering regenerative braking and ESS", 7th IEEE PES International Conference on Innovative Smart Grid Technologies — ISGT Europe 2017, 26-29 Eylül 2017, Torino.
2. Akdemir H., Şengör İ., Kılıçkiran H.C. ve Kekezoğlu B., (2017). "The Potential of Reducing the Carbon Footprint in Electricity Generation Using a Roof Mounted PV Solar Energy System", International Conference on Science, Ecology and Technology, 14-16 Ağustos 2017, Roma.

3. Erduman A., Durusu A., Kılıçkiran H.C., Kekezoğlu B. ve Tanriöven M., (2016). "The Effect of Soiling Factor on PV Array Performance: A Case Study for Istanbul", 4th European Conference on Renewable Energy Systems (ECRES2016), 28-31 Ağustos 2016, İstanbul.
4. Kılıçkiran H.C., Şengör İ., Akdemir H. ve Kekezoğlu B., (2016). "Optimal Overcurrent Relay Coordination Using Hybrid Genetic Algorithm and Linear Programming Method", 4th International Conference on Advances in Computing, Electronics and Communication , 15-16 Aralık 2016, Roma.
5. Şengör İ., Kılıçkiran H.C., Akdemir H. ve Kiliç B., (2016). "Determination of Potential Regenerative Braking Energy in Railway Systems: A Case Study for Istanbul M1A Light Metro Line", 5th International Conference on Power Science and Engineering, 14-17 Aralık 2016, Venedik.
6. Erduman A., Kılıçkiran H.C., Kekezoğlu B., Durusu A. ve Tanriöven M., (2013). "Wind Turbine Effects on Power System Voltage Fluctuations ", 3rd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS), 2-4 Ekim 2013, İstanbul.

Proje

1. "İstanbul Enerji Verimliliği Merkezi", İstanbul Kalkınma Ajansı, Uzman Yardımcısı, 01/09/2014 - 01/09/2015 (Ulusal).

ÖDÜLLERİ

1. Elektrik Mühendisliği Bölüm Birinciliği Ödülü, 2011.