



**AŞIRI AKIM RÖLE KOORDİNASYONUNA ETKİ
EDEN GÜÇ SİSTEM BİLEŞENLERİNİN
İZLENMESİ VE ANALİZİ**

İshak ÖZER

**Yüksek Lisans Tezi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali ÜNLÜTÜRK**

**2023
Her hakkı saklıdır.**



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AŞIRI AKIM RÖLE KOORDİNASYONUNA ETKİ EDEN
GÜÇ SİSTEM BİLEŞENLERİNİN İZLENMESİ VE ANALİZİ**

İshak ÖZER

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ali ÜNLÜTÜRK

Anabilim Dalı: Elektrik Elektronik Mühendisliği

Erzurum

2023

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

05 / 09 / 2023

İmzası

İshak ÖZER

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AŞIRI AKIM RÖLE KOORDİNASYONUNA ETKİ EDEN GÜÇ SİSTEM BİLEŞENLERİNİN İZLENMESİ VE ANALİZİ

İshak ÖZER

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali ÜNLÜTÜRK

Elektrik Dağıtım Şebekelerinde (EDŞ) röle koordinasyonun güvenilirliği açısından, Dijital Aşırı Akım Koruma Rölelerinin (DAAKR) açma kontaklarının gecikme süresi, akım trafolarının hata oranları ve SF₆ gazlı kesicilerin açma süreleri büyük öneme sahiptir. Bu nedenle koruma rölelerinin kontak gecikmelerinin, kesicilerin açma zaman gecikmelerinin ve akım trafolarının çevirme oranı hatalarının belirli periyotlarla test edilmesi ve hatalı ölçümler yapan ekipmanlarda gerekli bakımların ve değişimlerin yapılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, Erzurum ilinde EDŞ’de yaygın olarak kullanılan farklı marka DAAKR’nin, farklı tip akım trafolarının ve farklı marka ve model SF₆ gazlı kesicilerin gerçek zamanlı testleri gerçekleştirilmiştir. Gerçek zamanlı test sonuçlarının röle koordinasyonu üzerindeki etkileri incelendikten sonra DAAKR’nin açma kontaklarının gecikme süresi ve SF₆ gazlı kesicilerin açma zamanı gecikmesi dikkate alınarak optimum aşırı akım röle koordinasyonu gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Elektrik Güç Sistemi Analiz ve İşletme Yazılımı (ETAP Demo) ile EDŞ’ye ait güç sistem modelinde, her bir baraya ait olası 3 faz kısa devre arıza durumlarında rölelerin karşılaşacağı maksimum arıza akımları tespit edilmiştir. Bu arıza akımı verileri kullanılarak optimizasyon algoritmaları ile işletmede yer alan rölelerin toplam operasyon zamanı optimize edilmiştir. EDŞ’ye ait röle koordinasyonu kısıtlı optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır. EDŞ modeline ait tanımlanan röle koordinasyon kısıtlarında gerçek zamanlı test verileri kullanılmıştır. Daha sonra, metasegzisel optimizasyon algoritmalarından olan Genetik Algoritma (GA), Karınca Aslanı Optimizasyonu (ALO), Balina Optimizasyonu Algoritması (WOA), Salp Sürü Optimizasyonu (SSA), Çember Arama Algoritması (CSA) ve Bal Porsuğu Algoritması (HBA) yöntemleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, kullanılan optimizasyon algoritmalarının minimum toplam röle operasyon zamanını elde etme performansları karşılaştırılmıştır.

2023, 71 sayfa

Anahtar Kelimeler: Aşırı Akım Röle Koordinasyonu, Güç Sistem Bileşenleri, Kısıtlı Optimizasyon Problemi, Metasegzisel Optimizasyon Algoritmaları

ABSTRACT

MS. Thesis

MONITORING AND ANALYSIS OF POWER SYSTEM COMPONENTS AFFECTING OVERCURRENT RELAY COORDINATION

İshak ÖZER

Erzurum Technical University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Electronic Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali ÜNLÜTÜRK

In terms of the reliability of relay coordination in Electricity Distribution Networks (EDN), the delay time of the opening contacts of Digital Overcurrent Protection Relays (DOCPR), the error rates of current transformers and the opening times of SF₆ gas circuit breakers are of great importance. For this reason, contact delays of protection relays, tripping time delays of breakers and turning ratio errors of current transformers must be tested periodically, and necessary maintenance and replacement must be carried out on equipment that makes faulty measurements. In this thesis study, real-time tests of different brands of DOCPR, different types of current transformers and different brands and models of SF₆ gas circuit breakers, which are widely used in EDN in Erzurum province, were carried out. After examining the effects of real-time test results on relay coordination, optimum overcurrent relay coordination was achieved by taking into account the delay time of the opening contacts of DOCPR and the opening time delay of SF₆ gas circuit breakers. In addition, the maximum fault current that the relays will encounter in possible 3-phase short circuit fault situations of each busbar have been determined by means of the Electrical Power System Analysis and Operation Software (ETAP Demo) in the power system model of EDN. Using this fault current data, the total operation time of the relays in operation was optimized with the help of optimization algorithms. Relay coordination of EDN is considered as a constrained optimization problem. Real-time test data was used in the defined relay coordination constraints of the EDN model. Later, the metaheuristic optimization algorithms Genetic Algorithm (GA), Antlion Optimization (ALO), Whale Optimization Algorithm (WOA), Salp Swarm Optimization (SSA), Circle Search Algorithm (CSA) and Honey Badger Algorithm (HBA) methods were used. As a result, the performances of the optimization algorithms used in obtaining the minimum total relay operation time were compared.

2023, 71 page

Keywords: Overcurrent Relay Coordination, Power System Components, Constrained Optimization Problem, Metaheuristic Optimization Algorithms

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmamda bilgi ve tecrübesiyle bana yardımcı olan, yaptığı önerilerle tez çalışmama önemli katkılarda bulunan, iyi bir mühendis olmam için hayat tecrübeleriyle beni aydınlatan değerli hocam, Dr. Öğr. Üyesi Ali ÜNLÜTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek Lisans tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde, maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, her zaman yanımda olan Erzurum ARAS EDAŞ'ın değerli yöneticilerine ve çalışanlarına teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmama katkıda bulunan Numan YANIKLAR'a da teşekkür ediyorum.

Yüksek Lisans tez çalışmam süresince manevi olarak her zaman desteklerini benden esirgemeyen anneme, kardeşlerime ve dar-ı bekaya irtihal eden babama ve dedeme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, yoğun çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olan değerli eşime de minnettarım.

İshak ÖZER
Eylül 2023

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM	16
3.1. Koruma Röle Koordinasyonunda Kullanılan Güç Sistem Bileşenleri.....	16
3.1.1. Aşırı akım koruma rölesi.....	16
3.1.2. Akım trafosu	24
3.1.3. SF6 gazlı kesiciler	33
3.2. Güç Sistem Bileşenlerinin Gerçek Zamanlı Testleri ve Analizi	35
3.3. Optimum Aşırı Akım Röle Koordinasyonu İçin Metasezgisel Yöntemler.....	38
3.3.1. Röle koordinasyonu probleminin metasezgisel optimizasyonu ile çözümü	40
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	46
4.1. Röle Açma Kontak Testleri.....	46
4.2. Akım Trafosu Çevirme Oranı Testleri	48
4.3. Kesici Açma Sürelerinin Testleri	50
4.4. Aşırı Akım Koruma Fonksiyonu İçin Optimum Röle Koordinasyonu.....	53
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	65
EKLER	71
EK 1.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Amper
A/D	Analog Dijital
B _m	Maksimum akı yoğunluğu
f _r	Frekans (Hz)
I>, I>>	Faz aşırı akım koruma fonksiyonu
I _{dir} >, I _{dir} >>	Yönlü aşırı akım koruma fonksiyonu
I _E	Mıknatıslanma akımı
I _E >, I _E >>	Toprak aşırı akım koruma fonksiyonu
I _{Edir} >, I _{Edir} >>	Yönlü toprak aşırı akım koruma fonksiyonu
I _{primer}	Nominal birincil akım
I _{ref}	Referans akım değeri
I _S	Sekonder yük akımı
I _{sekonder}	Nominal ikincil akım
I _{şebeke}	Şebeke akımı
kA	Kiloamper
K _n	Çevirme Oranı
K _{si}	Aşırı akım katsayısı
kV	Kilovolt
mA	Mili amper
MVA	Mega Volt Amper
N ₂	Sekonder sargı sarım sayısı
N ₂ : N ₁	Sargı oranı
Q _m	Sinüzoidal akı yoğunluğu
R _{sekonder}	Sekonder direnç
SF ₆	Kükürt hekza florür
U _p	Primer sargı gerilimi
V	Volt
VA	Çıkış gücü
V _B	Yüklerin bağlı olduğu sekonder terminal gerilimi

V_S	Sekonder uyartım gerilimi
X_{sekonder}	Kaçak reaktans
Z_B	Yük empedansı
Z_E	Mıknatıslanma empedansı
27	Düşük gerilim koruma fonksiyonu
49	Termik açma koruma fonksiyonu
50,51	Faz aşırı akım koruma fonksiyonu
50N,51N	Toprak aşırı akım koruma fonksiyonu
59N	Düşük gerilim koruma fonksiyonu
67	Yönlü aşırı akım koruma fonksiyonu
67N	Yönlü toprak aşırı akım koruma fonksiyonu
74TCS	Açma devresi denetimi

Kısaltmalar

ALO	Karınca aslanı optimizasyonu
ANSI	Amerikan standartlar enstitüsü
BFP	Kesici arıza koruma fonksiyonu
CSA	Çember arama algoritması
DC	Doğru akım
DLF	Doğruluk limit faktörü
ETAP	Elektrik güç sistemi analiz programı
GA	Genetik algoritma
GAMS	Genel cebirsel modelleme sistemi
GWO	Gri kurt optimizasyonu
HBA	Bal porsuğu algoritması
IEC	Uluslararası elektroteknik komisyonu
IEEE	Elektrik ve elektronik mühendisleri enstitüsü
MATLAB	Matrix laboratuvarı
MINLP	Karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama
PSM	Ayar çarpanı
PSO	Parçacık sürü optimizasyonu
SCADA	Merkezi denetim ve veri toplama
SSA	Salp sürü algoritması
STRŞ	Sekonder röle teknik şartnamesi
TCCs	Zaman-akım karakteristikleri
TEDAŞ	Türkiye elektrik dağıtım a.ş.
TEİAŞ	Türkiye elektrik iletim a.ş.
TMS	Zaman çarpanı ayarı
WOA	Balina optimizasyonu algoritması

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Modern güç sistemi yapısı ve bileşenleri	1
Şekil 1.2. Dördüncü nesil bir dijital rölenin yapısı	3
Şekil 3.1. Aşırı akım rölesi a) elektromekanik b) dijital.....	17
Şekil 3.2. Aşırı akım rölesi model algoritması	19
Şekil 3.3. Aşırı akım rölesinin tasarım modeli	19
Şekil 3.4. Erzurum ilinden örnek radyal dağıtım şebekesi ETAP modeli	21
Şekil 3.5. TMS değerlerine göre rölelerin akım-zaman eğrisi.....	22
Şekil 3.6. Akım trafosu eşdeğer devresi	25
Şekil 3.7. Sekonder tarafa indirgenmiş akım trafosu devresi	25
Şekil 3.8. Primer akımı sekonder tarafa indirgenmiş eşdeğer devre.....	27
Şekil 3.9. Doyuma ulaşmış akım transformatörüne ait eşdeğer devre.....	28
Şekil 3.10. Ölçüm sınıfı için akım trafosunun çalışma aralığı.....	32
Şekil 3.11. Koruma sınıfı için akım trafosunun çalışma aralığı	32
Şekil 3.12. SF6 gazlı kesici a) önden mekanizmalı b) yandan mekanizmalı	34
Şekil 3.13. SF6 kesici temel elemanları	34
Şekil 3.14. ISA T1000 Plus	36
Şekil 3.15. TURA 01	37
Şekil 3.16. CIBRE L3	38
Şekil 3.17. Radyal dağıtım şebekesi	41
Şekil 3.18. 3 Faz kısa devre arıza durumunda sistem davranışı	42
Şekil 4.1. Röle dijital kontak testi deney sistemi	46
Şekil 4.2. X, Y, Z marka rölenin farklı ayar değerlerinde kontak gecikmeleri	47
Şekil 4.3. Akım trafosu tipi a) Mesnet b) Toroidal.....	49
Şekil 4.4. Akım trafosu testi deney sistemi	49
Şekil 4.5. Kesici testi deney sistemi	51
Şekil 4.6. Kesici fazlara ait kontak ayırma süresi.....	52
Şekil 4.7. Marka ve üretim yılı farklı olan kesicilerin karşılaştırılması.....	53
Şekil 4.8. Dağıtım şebekesi ETAP modeli	54
Şekil 4.9. GA ile elde edilen çözüm	60
Şekil 4.10. ALO ile elde edilen çözüm	60
Şekil 4.11. SSA ile elde edilen çözüm.....	61

Şekil 4.12. CSA ile elde edilen çözüm	61
Şekil 4.13. HBA ile elde edilen çözüm.....	61
Şekil 4.14. WOA ile elde edilen çözüm.....	62

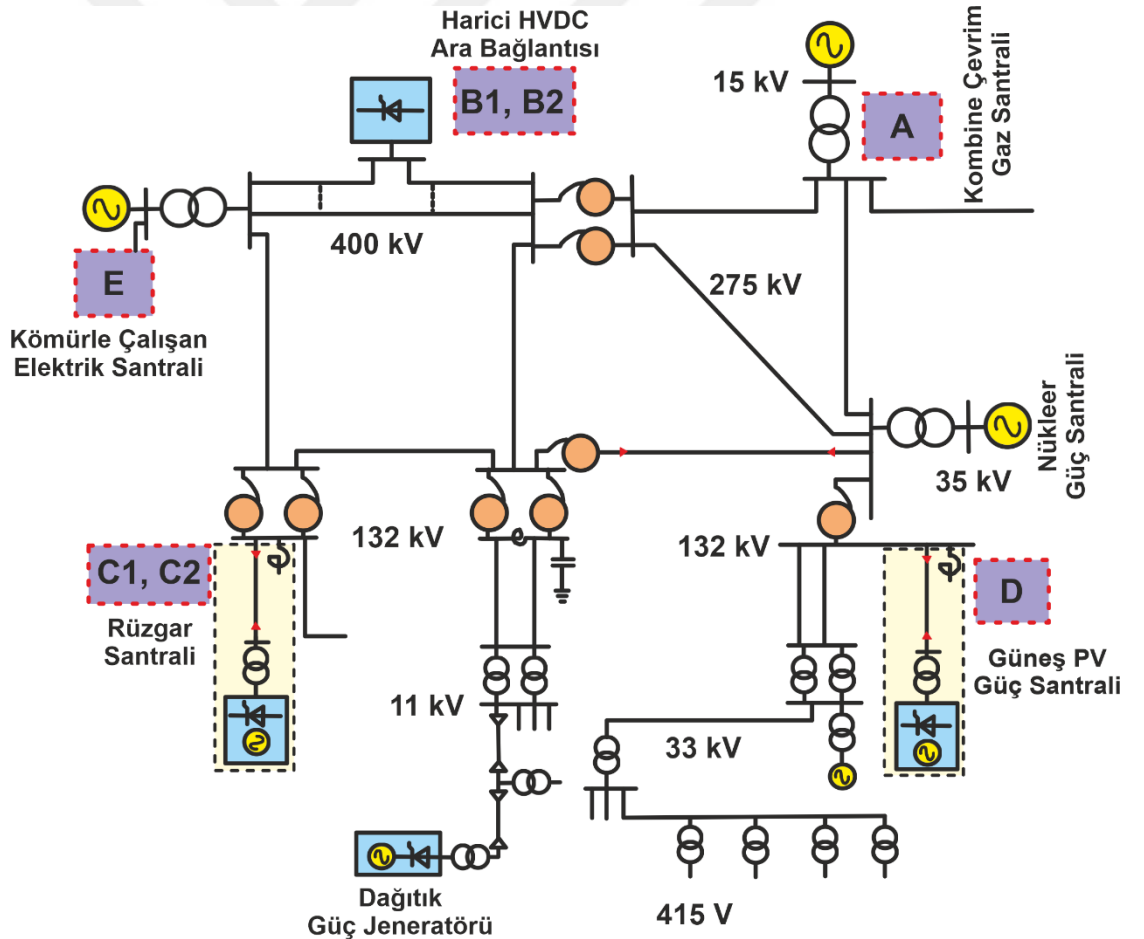


ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Aşırı akım koruma fonksiyonları kodları.	23
Çizelge 3.2. IEC standardı ters zaman fonksiyon sabitleri	24
Çizelge 3.3. EDŞ’de kullanılan örnek akım trafosu	29
Çizelge 3.4. Koordinasyon için optimizasyon parametreleri.....	44
Çizelge 3.5. Penaltı fonksiyonu	45
Çizelge 4.1. X marka rölenin kontak gecikmeleri.....	48
Çizelge 4.2. Y marka rölenin kontak gecikmeleri.....	48
Çizelge 4.3. Z marka rölenin kontak gecikmeleri	48
Çizelge 4.4. Akım trafolarının ölçülen çevirme oranı hataları.....	50
Çizelge 4.5. 2015 üretim yılı kesicilerin açma süreleri.....	51
Çizelge 4.6. 2017 üretim yılı kesicilerin açma süreleri.....	52
Çizelge 4.7. Koordinasyon kısıt tablosu	54
Çizelge 4.8. Röle akım ayar değer tablosu.....	55
Çizelge 4.9. 3 Faz kısa devre arıza akımları	55
Çizelge 4.10. 3 Faz kısa devre arızası durumunda röle akımı ve sabit değerler	56
Çizelge 4.11. Optimum TMS değerleri ve amaç fonksiyonu.....	62

1.GİRİŞ

Elektrik enerjisi, doğal gaz çevrimi, termik, hidroelektrik, nükleer ve yenilenebilir (güneş ve rüzgâr gibi) gibi farklı yapıdaki enerji santrallerinde üretilir. Üretilen bu enerji; üretim tesisleri, uzun mesafeli iletim hatları ve elektrik dağıtım şebekeleri aracılığıyla tüketicilere sunulmaktadır. Tüketicilere sunulan elektrikte kesintisiz ve süreklilik çok önemlidir. Artan tüketici talebi ile elektrik enerjisi dağıtım şebekeleri hızla genişlemektedir. Modern elektrik güç şebekesi, jeneratörler, güç ve dağıtım trafoları, enerji iletim hatları ve kablolar, devre kesicileri vb. dahil olmak üzere elektrik enerjisi üretmek, iletmek ve dağıtmak için gereken tüm tesisler olarak kabul edilir (Rebizant et al. 2011). Şekil 1.1’de, modern bir üretim, iletim ve dağıtım güç sisteminin tipik yapısı ve bileşenleri ayrıntılı olarak verilmiştir (Tleis 2007).



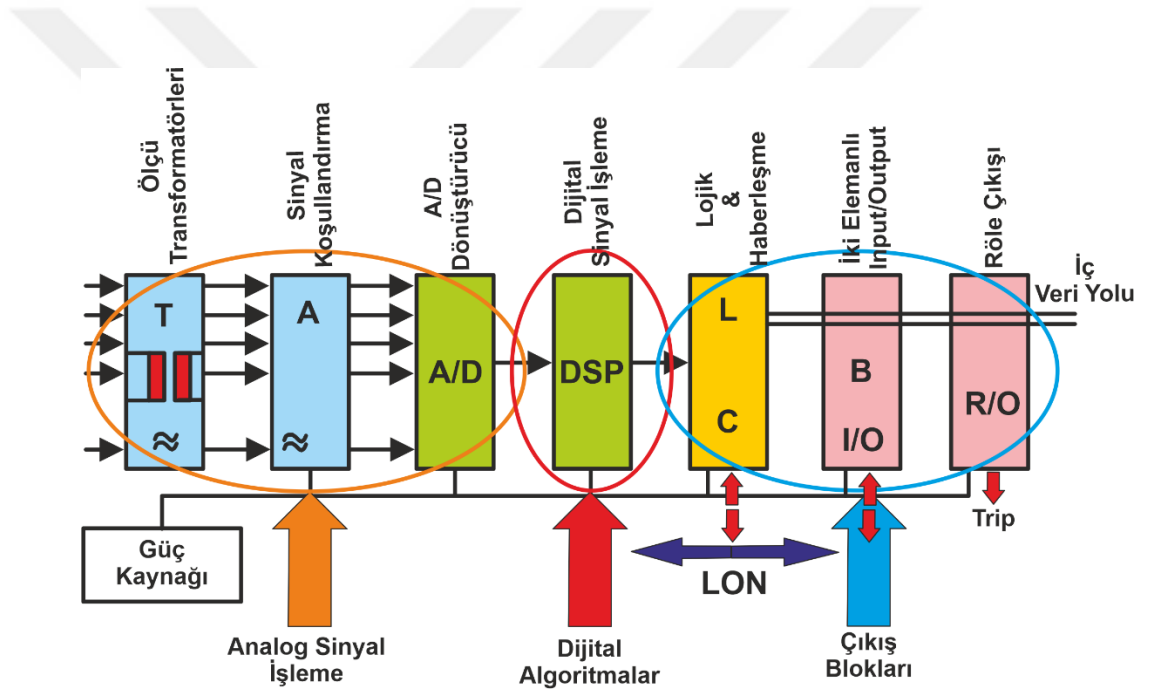
Şekil 1.1. Modern güç sistemlerinin yapısı ve bileşenleri

Tüketicilere yasal gerekliliklere uygun olarak daha iyi hizmet verilebilmesi için elektrik şebeke yapısındaki sistem elemanlarının bakımlarının yapılması, kontrollerinin yapılması ve olası arızalara ve diğer anormal durumlara karşı korunması gerekmektedir. Çünkü bir enerji üretim, iletim ve dağıtım sisteminin temel amacı, yeterli elektrik enerjisi üretmek ve üretilen bu enerjiyi çeşitli yük merkezlerine ileterek çeşitli tüketicilere dağıtmak, aynı zamanda kalite ve güvenilirliği ekonomik bir fiyata sağlamaktır.

Elektrik güç sistemleri 380 V'dan 380 kV'a kadar değişen gerilim seviyelerinde veya daha fazla çeşitli gerilim seviyelerinde çalışabilir. Elektriksel ekipmanlar motorlardaki iletkenler gibi yalıtımlı veya iletim hatları gibi yalıtımsız olabilirler. Elektriksel ekipmanlar çeşitli nedenlerden dolayı kullanım ömrü boyunca istenmeyen durumlara maruz kalırlar. Örneğin, yıpranmış yatak bir motorun aşırı yüklenmesine neden olabilir, havai hatta düşen veya dokunan bir ağaç arızaya neden olabilir. Ayrıca yıldırım gibi doğal afetler, ekipmanların kirlenmesi, düşük frekans ve yüksek-düşük gerilim seviyeleri gibi istenmeyen etkenlerde elektriksel ekipmanların mekanik olarak zorlanmasına ve hasar görmesine sebep olurlar (Anonymous 2023a). Arıza ve anormal durumlarda, elektriksel ekipmanların güvenliği için en önemlisi de elektriksel ekipmanlarla temas halinde olabilecek kişilerin can güvenliğinin sağlanabilmesi için elektrik güç sistem bileşenlerinin istenmeyen iç ve dış etkenlerden korunması gerekmektedir. Bilindiği gibi 50 mA seviyesinde bir akım canlılar için ölümcül düzeydedir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda güç sistemine ait elektriksel ekipmanların gerektiğinde enerjisinin kesilmesi ve zararlı etkenlerinin izole edilmesi büyük önem arz etmektedir (Anonymous 2023a).

Transformatör, generatör ve enerji nakil hattı gibi elektrik güç sistemi elemanlarının korunması için ayarlanan sınır değer girişine uygulanan çalışma değerinin dışına çıktığında kontak durumunu değiştiren (açık kontağı kapayan, kapalı kontağı açan) rölelere koruma röleleri denir (Turan 2014). Elektrik güç sistemindeki koruma, enerji akışının kesintisiz sürekliliğini sağlamak için güç sisteminin izlenmesini ve röle koordinasyonunu sağlamak üzere tasarlanmıştır. Kısa devrelere bağlı yüksek akımın ekipmana zarar vermemesini sağlamak ve güç sistemi bileşenlerini aşırı sıcaklık artışına karşı korumak için uygun koruyucu röleler ve devre kesiciler seçilmelidir. Günümüzde güç sistemi bileşenlerinin kararlı bir şekilde çalışmasını amaçlayan çok çeşitli koruma,

ölçüm ve kontrol cihazları geliştirilmiştir. Özellikle modern güç şebekelerinde bulunan dijital röleler, elektrik şebekelerinin hayati unsurlarından biridir. Çok Büyük Ölçekli Entegre (VLSI) ve bilgisayar donanımı teknolojisindeki muazzam ilerleme nedeniyle dijital röleler geliştirilmiştir. VLSI devrelerinin maliyetindeki mevcut düşüş eğilimi, modern karmaşık güç ağlarının korunması için dijital rölelerin geniş çapta uygulanmasını teşvik etmiştir. Dijital röleler sayesinde ölçü transformatörlerinden alınan analog akım ve gerilimler sayısal değere çevrilir. Koruma ve kontrol fonksiyonu sayısal hesaplamalar, sinyal analiz algoritmaları ile gerçekleştirilir. Bu nedenle, dijital röleler çok işlevseldir. Ayrıca güç sistemlerinde çok çeşitli marka ve tipte dijital röleler aktif olarak kullanılmaktadır. Şekil 1.2’de 4. Nesil bir dijital rölenin yapısı ayrıntılı olarak verilmiştir (Rebizant et al. 2011).



Şekil 1.2. Dördüncü nesil bir dijital rölenin yapısı

Sonuç olarak elektrik ekipmanlarının izlenmesi ve anormal çalışma koşullarından sistemin korunması gerekmektedir. Bu koruma işlemi günümüzde röleler vasıtasıyla sağlanmaktadır. Röleler güç sistemi bileşenleri olan akım trafoları, kesiciler vb. elemanlar ile takım çalışması yaparak sistemde sekonder koruma yaparlar. Elektrik Dağıtım Şebekelerinde (EDŞ) sekonder koruma yapılabilmesi için kullanılan dijital aşırı akım koruma rölelerinin açma kontaklarının gecikme süresi, SF₆ kesicilerin açma süresi ve akım trafolarının hata oranları röle koordinasyonun güvenilirliği açısından büyük öneme sahiptir. Bu nedenle rölelerin, akım trafolarının ve kesicilerin belirli periyotlarla

test edilmesi ve hatalı ölçümler alınan ekipmanlarda gerekli bakımların yapılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında ilk olarak Erzurum ilindeki EDŞ'lerde kullanılan dijital akım rölelerinin ayar değerlerinde açma yapıp yapmadığının gerçek zamanlı testleri gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, dağıtım sisteminde yaygın olarak kullanılan farklı marka dijital aşırı akım rölelerinin açma zaman gecikmeleri analiz edilmiştir. Dağıtım sisteminin farklı noktalarına konumlandırılmış 3 farklı marka röle ve her marka röleden 5'er adet olmak üzere toplamda 15 adet röle üzerinde testler yapılmıştır. İkinci aşamada, orta gerilim iletkeninden geçen anlık akımları ve hata akımlarını röle tarafından ölçülebilir seviyeye indirmek için kullanılan akım transformatörlerinin çevirme oranlarının gerçek zamanlı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Dağıtım sektöründe yaygın olarak kullanılan toroidal ve mesnet tipi akım trafolarının çevirme oranları hataları karşılaştırılarak röle koordinasyonu üzerindeki performansı analiz edilmiştir. Üçüncü aşamada çeşitli dağıtım merkezlerinde bulunan kesicilerin gerçek zamanlı açma süreleri ölçülmüştür. Kesicilerin üretim yılının ve markalarının farklı olmasının açma gecikmeleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

Ayrıca, Elektrik Güç Sistemi Analiz ve İşletme Yazılımı (ETAP Demo) ile EDŞ'ye ait güç sistem modelinde, 3 faz kısa devre arıza senaryoları oluşturularak rölelerin karşılaşıcağı maksimum arıza akımları tespit edilmiştir. Arıza akımı verileri kullanılarak optimizasyon algoritmaları ile işletmede yer alan rölelerin toplam operasyon zamanı optimize edilmiştir. EDŞ'ye ait röle koordinasyonu kısıtlı optimizasyon problemi olarak ele alınmış ve gerçek zamanlı veriler kullanılarak EDŞ modeline ait problem kısıtları belirlenmiştir. Metasegizsel optimisazyon algoritmalarından olan Genetik Algoritma (GA), Karınca Aslanı Optimizasyonu (ALO), Balina Optimizasyonu Algoritması (WOA), Salp Sürü Optimizasyonu (SSA), Çember Arama Algoritması (CSA) ve Bal Porsuğu Algoritması (HBA) yöntemleri kullanılmıştır. Sonuç olarak, optimizasyon algoritmalarının minimum röle operasyon zamanını elde etmedeki performansları karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Aşırı akım röle koordinasyonu konusunda birçok akademik yayın çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu akademik çalışmalardan bazıları şöyledir;

Al-Nujaimi et al. (2017) çalışmalarında, sayısal sinyal işleme yöntemlerinin aşırı akım koruma rölelerinin davranışı ve açma süreleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, rölelerin arızaları sınırlamada ve işletme kayıplarını en aza indirmede üstlendiği görevin önemi vurgulanmıştır. Rölelerin olay kaydı saklama, kolay kurulum ve kontrol, farklı koruma fonksiyonlarını kullanabilme, hızlı operasyon zamanı, örnekleme geliştirme gibi yönlerinin sinyal işleme yöntemi ile geliştirilebileceği anlatılmıştır. İlk olarak MATLAB/SIMULINK ortamında bir sayısal aşırı akım rölesi geliştirilmiştir. Sonra bu rölenin açma süresi performansının IEC standardında belirtilen açma zaman fonksiyonlarına kıyasla daha iyi olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca tasarlanan röle gerçek zamanlı bir arıza üzerinde test edilmiştir. Tasarlanan röle içerisindeki alçak geçirgen filtrenin kesme frekansı çeşitli değerlerde test edilmiş ve yüksek kesme frekansında röle performansının yüksek olacağı belirtilmiştir.

Atteya et al. (2017) yaptıkları çalışmada, birbirine bağlı güç sistemlerinde meydana gelen yapısal değişikliklere cevap vermek için uyarlanabilir koruma diyagramı önermişlerdir. Çalışmada modern dağıtım ağlarında röle koordinasyon problemini çözmek için Değiştirilmiş Parçacık Sürü Optimizasyonu (MPSO) algoritmasına dayalı olarak tasarlanmış bir yazılım önerilmektedir. Bu çalışmada, 14 IEEE veri yolu sistemi, şebekeye dağıtık üretim birimlerinin eklenmesi ve bağlantısının kesilmesinin ile sistemde ani hat kesintilerinin meydana gelmesinin etkisini gösteren üç adet güç sistemi senaryosu test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmanın mevcut her ağ topolojisi için optimum röle ayarlarına ulaştığını göstermektedir.

Rahmania et al. (2018) kaynak bildiride, aşırı akım rölelerinin koordinasyonunu geliştirirken ortaya çıkan ana sorun, birincil ve yedek röle çalışmasının zamanlamasının belirlenmesidir denilmiştir. Bu çalışmada, röle koordinasyonunun daha hızlı çalışma süresini sağlamak için bir optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir. Hesaplama için optimizasyon yöntemi olarak Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSA) yöntemi

önerilmiştir. CSA yönteminin röle ayar koordinasyonunu hesaplamada manuel hesaplamalardan daha yetenekli ve daha hızlı olduğu gösterilmiştir.

Biswas et al. (2018) çalışmalarında, optimum aşırı akım rölesi koordinasyonu üzerinde Labview tabanlı çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada, radyal dağıtım veya mikro şebekelerde kullanılan aşırı akım koruma rölelerinin optimum koordinasyon açısından büyük kısıtlara sahip olduğu vurgulanmıştır. Aşırı akım koordinasyonunda bu kısıtın aşılması için Labview tabanlı merkezi koruma ünitesi önerilmiştir. Önerilen bu merkezi koruma ünitesinde Dual-Simplex algoritması ile röle açma gecikmesini en aza indirmek amaçlanmıştır. Önerilen bu yöntem 18 baralı dağıtım şebekesi üzerinde test edilmiştir.

Akdağ et al. (2019) kaynak çalışmada, aşırı akım rölelerine ait optimum ayar değerlerinin elde edilmesi için Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) ve Karga Arama Algoritması (CSA) kullanılmıştır. Bu algoritmalar ile elde edilen röle ayarları, modellemesi yapılan güç sistemindeki sanal modelde aşırı akım rölelerinin ayar değeri olarak girilmiştir. Daha sonra modellenen sistemde, arıza akım senaryoları oluşturularak rölelerin bu arızalara tepkisi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan, PSO ve CSA algoritmalarının güç sistemlerindeki en iyi röle ayarlarının elde edilmesindeki başarısı test edilmiştir

Çimen et al. (2019) kaynak yayında, LabVIEW tabanlı optimum röle koordinasyonu geliştirilerek röle açma sayılarının azaltılması ve dağıtım şebekesi üzerindeki ekonomik maliyetin düşürülmesi hedeflenmiştir. Çalışmada elektronik ve analog koruma röleleri kullanılarak koordinasyon sağlanmıştır. Arızalı kısımları sistemden en başarılı şekilde ayırma noktasında elektronik koruma röleleri ile analog koruma rölelerinin performansları karşılaştırılmıştır. Elektrik şebekesinin daha güvenilir ve sağlam olması için uygun parametrelerin ayarlanması ve seçicilik açısından dijital koruma rölelerinin üstünlüğü gösterilmiştir. Yapılan çalışmada analog röleler yerine dijital akım koruma rölelerinin kullanılmasının maliyet, işletme ve bakım açısından da birçok avantaj sağladığı kanıtlanmıştır.

Meskin and Grinberg (2019) çalışmalarında, birbiriyle bağlantılı güç şebekelerinde, bazı şebeke bilgilerinin eksikliği ve yazılımsal kısıtlamalardan dolayı, şebeke modellemesi yapılırken, şebekenin simülasyonunun sadeleştirilmesinin kaçınılmaz olduğunu vurgulamışlardır. Şebeke sadeleştirilmesi için kullanılan Ward yönteminin aşırı akım röle koordinasyonu üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Ward yöntemi ile şebeke, çalışma yapılacak (dahili) ve harici alt ağ olmak üzere iki bölüme ayrıştırılır. Çalışma yapılacak alt ağ içerisindeki sınır baralar doğrudan harici alt ağa bağlantılı olup çalışma ağının sınırlarını belirlerler. Gauss eliminasyon yöntemi şebeke giriş matrislerine uygulanarak harici baralar adım adım ayıklanarak şebeke sadeleştirilir. Böylelikle Ward yöntemi ile Power World yazılımı üzerinden orijinal şebekenin en sade eşdeğer devresi elde edilir. Birbirine bağlı güç sistemleri analiz edilirken, şebeke sadeleştirilmesi uygulaması kaçınılmaz olduğu gibi sıklıkla başvurulmuş bir yöntemdir. Sadeleştirme yapılırken aşırı akım röle koordinasyonunun orijinal şebekeye uygun, yanlış olmayacak şekilde yapılabilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada Ward yöntemi ile şebeke sadeleştirilmesi yapılarak orijinal şebekede aşırı akım röle koordinasyonunda oluşabilecek hata ihtimallerinin azaltıldığı gösterilmiştir.

Oğuz et al. (2019) yaptıkları çalışmalarında, koruma rölelerinin, doğru, seçici ve sürekli çalışması için röle tasarımı yapılarak enerjinin sürekli ve kaliteli bir şekilde tüketicilere ulaştırılması amaçlanmıştır. Yeni nesil şebekelerde, mevsimsel tüketim değişikliğine, besleme yönünün değiştirilmesine ve işletme koşullarındaki değişimlere uyum sağlaması amacıyla tasarımı yapılan koruma rölesi birçok koruma fonksiyonunu barındırmaktadır. Düşük gerilim koruma (27), Arıza yeri tespit edici (FL), Aşırı gerilim koruma (59N), Termik koruma (49), Açma devresi denetimi (74TCS) koruma fonksiyonları tasarlanan dijital koruma rölesinde sunulmuştur. Tasarlanan röle fonksiyonlarının, adaptif koruma yaparak şebekenin işletme şartlarındaki değişimlere cevap verecek teknolojide olması amaçlanmıştır. Tasarım mevcut standart ve prosedüre göre test edilmiştir.

Swathika and Hemapala (2019) kaynak çalışmasında, mikro şebeke ağları için optimize edilmiş bir aşırı akım rölesi koordinasyon diyagramı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemde mikro şebekeler için uygun aşırı akım koruma şeması tasarlamak için, öncelikle mikro şebekenin tüm topolojileri için normal ve arıza akımları elde

edilmiştir. Her topoloji için, aşırı akım rölelerinin optimize edilmiş zaman çarpanı ayarları (TMS) Dual Simplex Algoritması kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler 21 baralı bir mikro şebeke sistemi üzerinde test edilerek röle performansındaki iyileşmeler gösterilmiştir. Önerilen yöntemin daha fazla baraya sahip olan şebekeler üzerinde rahatlıkla uygulanabileceği gösterilmiştir.

Naresh et al. (2020) makalelerinde, aşırı akım rölesi koordinasyonu, faz ve toprak arızaları için MiPower yazılımı kullanılarak bir IEEE 9 baralı test sisteminde uygulamışlardır. IEEE 9 baralı test sistemi üzerinde ilk olarak yük akış analizi ve kısa devre analizi yapılmıştır, ardından röle koordinasyonu yapılmıştır. Kısa devre analizinden elde edilen arıza gücü (MVA) ve arıza akım verileri, test sisteminde kullanılan rölelerin çalışma sürelerini hesaplamada kullanılmıştır. Hesaplanan çalışma süresi değeri tüm rölelerin koordineli çalışmasını sağlamıştır. MiPower yazılımının, aşırı akım rölelerinin uygun koordinasyonun yapılmasında sağladığı avantajlar gösterilmiştir.

Nayanatara et al. (2020) yazdıkları makalede, simetrik ve simetrik olmayan arızalar göz önünde bulundurularak mikro şebekeler için röle koordinasyonu ele alınmıştır. Mikro şebekeler, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve besleyicilere bağlı yüklerin ana güç şebekesinden paralel veya otonom olarak çalıştığı aktif bir dağıtım sistemi olarak tanımlanmıştır. Bir mikro şebekede, kısa devre akımında değişikliğe yol açacak nedenlerin röle koordinasyonu üzerindeki etkilerini azaltmak için, ETAP (Elektrik Güç Sistemi Analiz Programı) ile 9 baralı 18 düğümlü sistem simülasyonu üzerinde yük akışı ve kısa devre analizleri yapılmıştır. Yapılan simülasyon ve analizler dikkate alınarak röle koordinasyonu geliştirilmiştir.

Bawayan and Younis (2021) çalışmalarında, mikro şebeke koruması için adaptif aşırı akım röle koordinasyonu geliştirmişlerdir. Arıza akımı değişimlerinin mikro şebeke üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla geliştirilen adaptif aşırı akım röle koordinasyonu iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada tolere edilebilir düzeyde olan bozucu etkiler dikkate alınarak jeneratörlerin aktif güç kaybını minimuma indirgeyen optimum güç akışı elde edilmiştir. İkinci aşamada, aşamada tolere edilebilir düzeyde olmayan bozucu etkilerin sınırlı alanlarda kalabilmesi birincil ve yedek koruma röleleri arasında korelasyon yoluyla sağlanmıştır. Röle çalışma zamanlarını minimum seviyeye indirmek

için optimum aşırı akım röle koordinasyonu doğrusal olmayan bir program olarak formüle edilmiştir. Geliştirilen adaptif koruma yöntemi IEEE 9, IEEE 14, IEEE 15 baralı test sistemleri üzerinde simülasyon yoluyla doğrulanmıştır. Simülasyon sonuçlarında geliştirilen yöntemin etkili ve üstün yönleri gösterilmiştir.

Jena et al. (2021) gerçekleştirdikleri çalışmalarında trafo merkezlerinde devre kesicilerinin çoğaltılmasının, ekonomik ve operasyonel kısıtlamalar nedeniyle gerçekçi olmadığı belirtilmiştir. Bir kesicinin arızalanması durumunda, hatayı izole etmek için bitişik kesicilerin kullanılması gerekliliği vurgulanmıştır. Tipik olarak, bu tür durumları izlemek için ticari rölelere bir kesici arıza koruma fonksiyonu (BFP) entegre edilmiştir. Ancak, önemli ölçüde azalan DC bileşenine sahip arızalardan kaynaklanan akım trafolarında çökme nedeniyle bu fonksiyon hatalı çalışmaya yatkındır denilmiştir. Bu çalışmada, BFP işlevi için güvenilir bir resetleme algoritması sunulmuştur. Yapılan çalışmada tek döngülü hareketli bir pencerede azalan dc bileşenin akımı ölçüldükten sonra, önerilen algoritma, arıza akımı ile çökme akımı ayırt edilir. Ayrıca geliştirilen algoritma performansı, arıza akımı seviyesi, azalan DC bileşeni, akım trafosu doygunluğu, çökme seviyesi ve rastgele gürültüdeki değişiklik gibi bozuculardan etkilenmez. Önerilen algoritmanın pratik senaryolardaki etkinliği, hata analizi yoluyla doğrulanan bir donanım kurulumu aracılığıyla gösterilmiştir. Güvenilirlik endeksleri açısından genel performans değerlendirmesi, mevcut tekniklere göre üstünlüğünü kanıtlanmıştır. Böylelikle röle koordinasyonu açısından hatalı tahminlere sebebiyet verecek hatalı kesici açmalarının önüne geçilmiştir.

Nasibullin et al. (2021) kaynak bildiride, geleneksel rölelerin sabit ayarları olduğundan değişen güç sistemi koşullarında koruma gereksinimlerini karşılamayı zorlaştırdığı belirtilmiştir. Bu sorunun çözümüne, güç sistemindeki değişikliklere yanıt olarak ayarlarını veya performansını değiştirebilen uyarlanabilir koruma yöntemi önerilmiştir. Röle koruma sisteminin matematiksel bir modelini geliştirmek için, çok sayıda rasgele değişkeni hesaba katarak statik ve dinamik deneylere izin veren, güç sisteminin kararlı durum çalışma modlarını hesaplamak ve analiz etmek için tasarlanmış MATLAB yazılım paketi kullanılmıştır. Elde edilen uyarlanabilir algoritmaların ana avantajları, röle koruma cihazlarının hızında bir artış, hatalı işlemlerin sayısında bir

azalma, güç kaynağındaki bir kesintiden kaynaklanan ekonomik zararda bir azalma ve teknik sürecin çalışma süresi olarak belirtilmiştir.

Summers et al. (2021) konferans bildiride, Geleneksel üretim kaynaklarının yerini evirici tabanlı kaynaklar almaya devam ettikçe, dağıtım seviyesinde kullanılan geleneksel sabit aşırı akım koruma diyagramlarını geçerli kılmak ve uyarlanabilir koruma, güvenilirliği sağlamak ve şebekenin dayanıklılığını artırmak için koruma diyagramı neredeyse gerçek zamanlı olarak güncellemek amacıyla bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde, rölelerle gereksiz yere haberleşmeyi önlemek için uyarlanabilir bir koruma algoritması ile hesaplanan koruma parametrelerinin ne zaman güncelleneceğinin bilinmesi ve tespit edilmesi için çözüm önerilmiştir. Önerilen yöntem, rölelere yeni parametreler vermenin ne zaman gerekli olduğunu anlamak için bir duyarlılık analizi sağlamıştır. Sonuçlar, ayarların her kullanılabilir zaman adımında verilmesi gerekmediğini göstermiştir. Önerilen hassasiyet analizi yöntemi, röleye yalnızca zorunlu koruma parametrelerinin iletilmesini sağlamak için kullanılabilmüş ve iletişimin daha optimum şekilde kullanılmasına olanak tanımıştır. Sonuçlar, duyarlılık analizinin cihazlara iletilen ayarları yıl boyunca %93 oranında azalttığını göstermiştir.

Acharya and Das (2022) makalelerinde, optimum röle koordinasyonunu sağlamak için sigmoid ivme katsayısı tabanlı kaotik arama sınıfı üst optimizasyonu (SCCTO) algoritması önermişlerdir. Optimizasyon probleminin amacı, elektrik dağıtım şebekelerinde kullanılan birincil ve ikincil veya yedek röleler arasında optimum açma süresi koordinasyonu yaparak güç sisteminde güvenilir koruma sağlamaktır. Zaman çarpanı ayarı (TMS), geliştirilen algoritma ile optimize edilerek radyal ve paralel fiderlerden beslenen şebekeler üzerinde test edilmiştir. Önerilen algoritmada, röle koordinasyonu açısından ortaya çıkacak kısıtlarda %25 ila %35 arasında iyileşme sağladığı gösterilmiştir.

Alasalı et al. (2022) kaynak makalede, aşırı akım röleleri için hibrit açma karakteristiğine dayalı yeni ve dinamik bir optimal koordinasyon diyagramı tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Fotovoltaik (PV) sistem gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının arıza karakteristiği üzerindeki etkisini göz önünde bulunduran bu çalışma, minimum açma süresi elde etmek, güvenlik, hassasiyet ve seçicilik açısından rölelerinin koordinasyon

performansını iyileştirmek için yeni bir dinamik ve hibrit açmayı sunmakta ve doğrulamaktadır. Önerilen dinamik ve hibrit şema, ETAP yazılımı kullanılarak IEEE-9 ve IEEE-33 baralı şebeke üzerinde test edilmiştir. Test sonuçlarında, önerilen yöntemin geleneksel koordinasyon yöntemlerine göre daha iyi performans sergilediği kanıtlanmıştır.

Atsever ve Hocaoglu (2022) çalışmalarında, dağıtım sistemlerinde aşırı akım koruma diğer korumalara kıyasla yaygın olduğu için aşırı akım röle koordinasyonunun en uygun şekilde tasarlanması gerekliliğini tartışmışlardır. Bu tasarımda, rölelerin arıza anında istenildiği gibi çalışması, etkin ve seçici olabilmesi, değişen dağıtım şebeke modellerine uyumlu olabilmesi için aşırı akım röle koordinasyonu yüksek sayıda kısıt içeren bir optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır. Optimizasyon probleminin çözümü noktasında meta sezgisel algoritma geliştirilmiştir. IEEE 8 Baralı test şebekesi üzerinde meta sezgisel bir yöntem olan Bozkurt Optimizasyon Algoritması (BOA) başarılı bir şekilde uygulanmış ve aşırı akım röle koordinasyonu için kapsamlı performans analizi gerçekleştirilmiştir.

Evkay et al. (2022) makalede, fiderlerin enerji verdiği yüklerin tipleri ile röle koordinasyonu arasındaki ilişki araştırılmıştır. Farklı yük dağılımlarında, sistemin vermiş olduğu tepkiler ve röle açma sürelerindeki değişimler incelenmiştir. Makalede, IEEE 14 baralı test sisteminin dağıtım şebekesi olan bölümü, test sistemi olarak kullanılmıştır. Sistem modelleme ve simülasyon işlemleri, ETAP (Elektrik Güç Sistemi Analiz Programı) gerçekleştirilmiştir. Röle koordinasyonu için kullanılan Zaman Çarpanı Ayarı (TMS) değerlerinin, GAMS (Genel Cebirsel Modelleme Sistemi) aracı vasıtasıyla optimizasyonu yapılmıştır. Statik yük yoğunluğu ve motor yük yoğunluğu durumunda rölelerin toplam açma süreleri analiz edilmiştir. Analizler sonucunda, dağıtım şebekesinde kullanılan statik yük yoğunluğu artması toplam röle açma zamanlarının artmasına sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir.

Issabekov (2022) çalışmasında, bir şalt sisteminin her bir elemanının uzaktan ve sürekli hizmet verebilirlik kontrolünü sağlayan, kaynak tasarrufu sağlayan bir güç sistemi koruma setinin düzeni ve işleyişi ilkesini önermektedir. Sete bağlı güç ekipmanı arızalarından kaynaklanan dahili kısa devreler, ark arızaları ve harici kısa devrelerden her

bir şalt bölmesinin (6–10 kV’da çalışan) evrensel olarak korunmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Birleştirilmiş tüm önerilen öneriler, güç sistemi korumasında koruyucu röle kullanımına yönelik yeni bir yaklaşım olarak ele alınmıştır. Bu çok amaçlı set, birçok koruma türü sağlayabilmiştir. Örneğin elektrik arklarına neden olan kısa devrelere karşı hızlı önlem; foto diyotlara, termistörlere ve manyetik anahtarlara dayalı aşırı yük koruması, setin hücrelerinde gözlenen ışık şiddeti ve sıcaklık değişimine tepki gösteren; küçük indüklemeye anahtarlarına dayanan (iletken fazlarının manyetik alanına duyarlı) aşırı akım koruması ve harici fazdan faza kısa devrelere karşı koruma sağlanmıştır. Sunulan koruma yöntemlerinin kullanılması hem hücre hem de ona bağlı elektrikli ekipman için korumanın güvenilirliğini artırabilmiştir. Tartışılan koruyucu röle seti hem iç hem de dış mekân kurulumlarındaki tüm şalt cihazları versiyonlarına uyulanmıştır.

Matthews et al. (2022) yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının, dağıtılmış depolamanın ve dağıtılmış jeneratörlerin elektrik şebekesine nüfuz etmesi daha yaygın hale geldiği belirtilmiştir. Bu dağıtılmış enerji kaynaklarının artan kullanımı, ek koruma endişelerine yol açtığı vurgulanmıştır. Dağıtılmış enerji kaynaklarında veya dağıtılmış enerji kaynakları içeren mikro şebekelerde sona eren radyal besleyicilerle, standart yönsüz radyal koruma işe yaramaz hale gelebilir ve sistemi makul bir maliyetle düzgün bir şekilde korumak için hangi yönlü ve yönsüz eleman kombinasyonunun gerekli olduğunu belirlemesine ihtiyaç duyulabilir denilmiştir. Bu kaynak çalışmasında, her hatta yerleştirilmesi gereken koruma türünü belirlemek için bir yöntem önerilmiştir. Ayrıca, yalnızca aşırı akım koruma cihazları kullanılarak iç içe geçmiş bir ağı (mesh network) korumaya çalışılması için aşırı bir maliyet kısıtlaması varsayılmıştır. Bir arıza oluştuğunda sistemin geçici olarak radyal hale gelmesine neden olan konumlara ani tekrar kapaticıların yerleştirildiği bir yöntem önerilmiştir. Yönlü ve yönsüz aşırı akım röleleri, sürekli arızaları temizlemek için tekrar kapaticılar açıkken standart radyal koordinasyon tekniklerinin kullanılmasına izin veren konumlara yerleştirilmiştir. Önerilen algoritmanın, minimum sayıda yönlü cihaz kullanırken koruma cihazlarının yerleşimini etkili bir şekilde belirlediği bulunmuştur. Ek olarak, IEEE 14 baralı test sistemi için önerilen röle yerleştirme algoritmasının, röle koordinasyonunun mümkün olduğu bir sistemle sonuçlandığı gösterilmiştir.

Obire et al. (2022) kaynak çalışmada, kısa devre analizi yöntemi kullanılarak röle koordinasyonunun planlanması hedeflenmiştir. İlk olarak örnek dağıtım şebekesinin kısa devre analizi yapılarak sistem arıza akımı hesaplanmıştır. Şebeke ETAP 19.0 yazılımı vasıtasıyla modellenerek şebekede meydana gelecek 3 faz kısa devre arızalarında mevcut değerlerde koruma cihazlarının kötü performans sergilediği gözlemlenmiştir. Röle performanslarının iyileştirilmesi için rölelerin zaman-akım eğrileri üzerinde bir ayarlama yapılmasının gerekliliği tespit edilmiştir. Manuel olarak ve simülasyon yöntemiyle yeniden koruma cihazları için ayar değerleri önerilmiştir. Önerilen ayar değerleri ile rölelerin hassasiyet, güvenlik ve seçicilik açısından iyi bir performans sergilemesi sağlanmıştır.

Tiwari et al. (2022) makalede, mikro şebekelerde işletme koşullarındaki değişikliklerden dolayı koruma şemasının değiştirilmesi gerekliliğinin ekonomik zorluğa ve zaman kaybına sebebiyet verdiği belirtilmiştir. Bu nedenle, şebeke işletme koşullarındaki değişimlere uyum sağlayacak yeni bir optimal koruma şeması önerilmiştir. Röle koordinasyon problemi, bir karma tamsayılı doğrusal olmayan programlama (MINLP) problemi olarak formüle edilmiş olup, röle TMS ve PSM ayar değerleri Genetik Algoritması (GA) ve Gri Kurt Optimizasyon (GWO) algoritması kullanılarak belirlenmiştir. Önerilen optimizasyonun avantajını doğrulamak için koruma diyagramı, IEEE-14 ve IEEE-30 baralı test sistemlerine ait dağıtım şebekesi bölümleri üzerinde uygulanmıştır.

Barranco-Carlos et al. (2023) kaynak makalede, yapay zekâ algoritmalarına dayalı birkaç ayar grubuna sahip aşırı akım cihazlarına dayalı uyarlanabilir bir koruma diyagramı önermektedir. Geliştirilen strateji iki aşamadan oluşmaktadır. Çevrim dışı aşamada, benzerlik gösteren aktif dağıtım şebekesi işletim senaryolarını gruplandırmak için bir kümeleme tekniği kullanılır. Koruma cihazları için en uygun ayarlar, her bir senaryo grubu için belirlenir. Öte yandan çevrimiçi aşamada, aktif dağıtım şebekesinin mevcut haberleşme sistemi dikkate alınarak koruma stratejisinin uygulanması ve işletilmesi tanımlanır. Ayrıca yaklaşım, aşırı akım rölesi koordinasyonunu karma tamsayılı doğrusal olmayan bir optimizasyon problemi olarak formüle eder ve sonuç olarak aşırı akım koruma cihazlarının optimum ayarı elde edilir. Transformatörlerin termik limitleri, sigorta çalışma eğrileri ve aşırı akım röle ayarları dikkate alınarak

çalışma sürelerinin en aza indirilmesi amaçlanır. Çözüm, Genişletilmiş Lagrange genetik algoritması kullanılarak belirlenir. Sunulan koruma diyagramı, topoloji değişiklikleri, dağıtılmış enerji kaynağına bağlanma/bağlantı kesme ve mikro şebeke çalışma modları (şebekeye bağlı ve şebeke dışı) şeklindedir. Elde edilen sonuçlar ve kolay uygulanabilirliği, gerçek hayattaki uygulamalar için yüksek potansiyele işaret etmiştir.

ElSamahy et al. (2023) kaynak bildiride, aşırı akım rölesinin optimal koordinasyonu ve röle ayarları, optimal çözüm dahilinde koordinasyon zaman aralığı dikkate alınarak sunulmuş ve tartışılmıştır. ETAP yazılım paketi, genetik ve parçacık sürüşü optimizasyon algoritmalarına ek olarak, bir aşırı akım rölesinin optimum ayarının (doğrusal ve doğrusal olmayan parametreler) belirlenmesine yardımcı olmak için kullanılmıştır. Farklı vaka çalışmaları dikkate alınarak mikro şebeke sistemleri için aşırı akım rölelerinin optimal koordinasyonunun zorlukları, IEEE 4-bara test sistemi ile analiz edilmiş ve test edilmiştir ve 10-baradan alınan gerçek mikro şebeke verileri bir örnek olay çalışması olarak değerlendirilmiştir.

Ferrari et al. (2023) kaynak çalışmalarında, izole grup modunda çalıştırılan invertör tabanlı mikro şebekelerde arızaları tespit etmek ve röleler arasındaki koordinasyonu gerçekleştirmek için mevcut nesil ve ağ topolojisine dayalı olarak bir röle önermişlerdir. Önerilen yöntemde, mikro şebekenin gerçek zamanlı bir modelini çalıştırılır, belirtilen düğümdeki mevcut kısa devre akımını hesaplamak için ağdan bilgi toplanmıştır. Modelden gelen arıza akımı daha sonra adaptif algoritma tarafından röle ayarlarını hesaplamak için kullanılmıştır. Önerilen yöntem ağ modunda çalıştırılan gerçek zamanlı bir mikro şebeke üzerinde test edilmiştir.

Rojnić et al. (2023) kaynak çalışmada, bir dağıtım şebekesindeki ters zamanlı aşırı akım rölelerini koordine etme optimizasyon probleminin çözümüne, arıza noktasının önemli bir etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla yazarlar modifiye edilmiş bir genetik algoritma geliştirmişler ve bunu gerçek bir 15-bara radyal dağıtım sistemi üzerinde iki farklı senaryo durumu için test etmişlerdir. Elde edilen sonuçlardan, arıza yerinin dikkate alınmasının aslında aşırı akım rölelerinin çalışmasını iyileştirmediği ve nispeten basit bir amaç fonksiyonu kullanmanın daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Oussama et al. (2023) kaynak çalışmada, birbirine bağlı bir güç sisteminde yönlü aşırı akım rölelerinin (DOCR) koordinasyonunun optimizasyonu anlatılmıştır. Koruyucu röle koordinasyonunun amacı, hassasiyeti ve hızlı arızayı izole etme süresini korurken seçiciliği sağlamaktır. Koordinasyon araştırmasında, rölelerin zaman çarpanı ayarının (TMS) ve PMS ayarının hesaplanmasını yapılmıştır. DOCR koordinasyonu, doğrusal olmayan zor bir optimizasyon problemi olarak tanımlanmıştır. Çok fazla arıza ve paraziti önlemek için gerekli tüm rölelerin toplam çalışma süresini minimumda tutulması gerektiği belirtilmiştir. DOCR'deki koordinasyon sorununu çözmek için Goril Asker Optimizasyonu (GTO), IEEE 3-bara ve 8-bara test sistemleri üzerinde uygulanmıştır.

Zareein et al. (2023) yaptıkları çalışmada, aşırı akım rölesini, dağıtım ağı besleyicisini koruyan ana cihaz olarak tanımlamışlardır. Etkin dağıtım ağlarına gömülü dağıtılmış üretim ile aşırı akım rölesinin sorunlarının artacağı belirtilmiştir. Ek olarak, yüksek empedans arızası, güç sistemlerindeki arızayı doğru bir şekilde tespit etmeyi zorlaştırmaktadır denilmiştir. Körleştirme alanları, aşırı akım rölelerinde bir gecikmeye veya açmamaya neden olduğundan körleme alanı kapsamanın tipik yöntemi, röle ayarlarının hassasiyetinin artırılmasıyla sağlanacağı vurgulanmıştır. Bu çalışmada, aşırı akım rölesi ve termik aşırı yük rölesi ile körleme alanlarındaki arızayı korumak için basit ve ekonomik bir çözüm sunulmuştur. Kör olasılık noktaları, arıza empedansları ve gömülü dağıtılmış üretim yapısı değiştirilerek bir örnek olay çalışmasında belirlenmiştir. Örnek olay çalışması, 4 MW kapasiteli iki jeneratör içeren gerçek bir dağıtım ağı üzerinde yapılmıştır. Simülasyonlar, DIgSILENT yazılımı kullanılarak gerçek bir vaka çalışması üzerinden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda, önerilen yöntemin körleme bölgelerini termal aşırı yük ve aşırı akım röleleri ile kapatılabildiğini göstermektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Elektrik Dağıtım Şebekelerinde (EDŞ) aşırı akım röle koordinasyonu için gerekli olan temel güç sistem bileşenleri sırasıyla aşırı akım rölesi, akım transformatörleri ve SF₆ gazlı kesicilerdir. Bu bölümde bu bileşenlerin röle koordinasyonundaki görevleri detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

3.1. Koruma Röle Koordinasyonunda Kullanılan Güç Sistem Bileşenleri

3.1.1. Aşırı akım koruma rölesi

Koruma röleleri güç sistemlerinde oldukça hayati bir role sahiptirler. Koruma rölelerinin koordinasyonu ile güç sistemlerinde hızlı, seçici ve güvenilir bir şekilde arızalı bölgenin sistemden izole gerçekleştirilir. Koruma rölesi güç sistemine ait akım trafoları, kesiciler ve diğer elemanlar ile adeta bir takım çalışması yaparak sistemde meydana gelen anormal durumları algılayarak sistemin hatalı kısımlarını sistemden ayırırlar. Böylelikle sistemin düzgün ve güvenilir bir şekilde çalışması sağlanmış olurlar (Farkhani et al. 2019).

Erzurum ili EDŞ’de kullanılan röle türleri elektromekanik röleler ve statik röleler (analog veya dijital) olarak sınıflandırılabilir. Bir aşırı akım rölesi, akım transformatöründen aldığı analog akım bilgisini Analog Dijital Dönüştürücüler (ADC) vasıtasıyla dijital sinyale dönüştürürler. Sayısal olarak örneklenen bu dijital sinyaller alçak geçiren filtre vasıtasıyla sistemin temel (nominal) frekansının üzerindeki sinyaller ayıklanır. Daha sonra Fourier transformu kullanılarak sistem akımının temel frekansına ait genlik ve açı değerleri hesaplanır. Hesaplanan akım genlik değeri röle koruma fonksiyonunda tanımlanan akım sınır değerlerini aştığında içerisindeki yer alan mikro denetleyici vasıtasıyla bu akımın arıza akımı olduğuna karar verilip kesiciye röle açma kontağı ile açma sinyali gönderilir (Jhanwar et al. 2008).

Günümüzde elektrik dağıtım şebekelerinde aşırı akım koruması yapılabilmesi için Şekil 3.1a’da gösterilen elektromekanik röleler ve Şekil 3.1b’de gösterilen dijital röleler kullanılmaktadır (Anonymous 2022).



Şekil 3.1 Aşırı akım rölesi a) elektromekanik b) dijital

Günümüzde genellikle elektromekanik röleler yerine dijital röleler tercih edilmektedir. Çünkü, dijital röleler kompakt bir boyuta sahipken elektromekanik röleler boyut olarak daha büyüktürler. Elektromekanik röleler bir işlevi gerçekleştirmek için birçok bileşen içerirken sayısal röleler, bir mikroişlemci vasıtasıyla programlamaya dayalı olarak çalıştıkları için daha az donanım gerektirirler. Ayrıca sayısal rölelerde, ilave donanım gerekmeden tek bir röle aracılığıyla farklı koruma türleri sağlama esnekliği vardır, yani içindeki mikroişlemciye yazılım yüklenerek gerekli işlevler kolayca etkinleştirilebilir. Elektromekanik rölelerin güvenilirliği, mekanik parçalarında aşınma ve yıpranma olasılığı nedeniyle çok düşüktür. Ancak dijital röleler, elektromekanik rölelere kıyasla arıza olasılığı çok düşük olduğundan daha yüksek güvenilirliğe sahiptir. Ölçümü yapılan elektriksel büyüklükler yani analog girişler elektromekanik rölelerde mekanik kuvvet, tork vb. dönüştürülürken dijital rölelerde, elektriksel büyüklükler analogdan dijitala dönüştürme mekanizması ve farklı algoritma teknikleri kullanılarak sayısallaştırılırlar. Elektromekanik rölelerin veri saklama özelliği yoktur. Karşılaştırıldığında, sayısal röleler arıza kayıtları, yani türleri, zamanlamaları, yapıları, meydana gelme süreleri vb. gibi büyük miktarda veri toplayabilir. Bu verileri sistemin performansını ve güvenilirliğini analiz etmek için kullanılır. Elektromekanik rölelerde koordinasyon ve konfigürasyon değerleri mekanik olarak ayarlanırken sayısal rölelerde, bir tuş takımı veya bilgisayar vasıtasıyla ayarlanır. Mekanik parçaların bir işlemi başlatması ve yürütmesi biraz zaman aldığından, elektromekanik röleler çok düşük çalışma hızına sahiptir. Ancak, dijital rölelerin çalıştırılması ve tepki zamanı çok daha hızlıdır. Elektromekanik rölelerde programlanabilir özellik bulunmadığından SCADA veya trafo merkezi otomasyon sistemi için kullanılamazken dijital röleler, tamamen programlanabilir olduğundan, trafo merkezi otomasyonu veya Merkezi Denetim ve Veri Toplama (SCADA) birimleri üzerinde çalışmak için uyumludur. Elektromekanik

rölelerin herhangi bir haberleşme özelliği bulunmazken dijital röleler tüm standart protokollerle haberleşme sağlamakla birlikte birden çok röle, iletişim bağlantıları aracılığıyla birbirine bağlanabilir. Elektromekanik röleler, sık bakım gerektiren birçok bileşen içerdiklerinden yüksek sermaye ve bakım maliyetlerine sahiptir. Çeşitli fonksiyonların tek bir üniteye bir araya gelmesi nedeniyle, dijital rölelerin sermaye maliyeti nispeten düşüktür ve daha az bakım gerektirdiği için onarım maliyeti düşüktür. Tüm bunlarla birlikte dijital röleler arızalı bölgeyi sistemden izole ettikten sonra otomatik olarak kendini resetleme, bağlı oldukları akım ve güç transformatörlerinden az yük çekme, uygun maliyet ve uzun kullanım ömürlü olma yönlerinden dolayı avantajlıdır (Anonymous 2023b).

Sonuç olarak günümüzde bir röleden beklentiler küçük boyut, güvenilirlik, esneklik, sayısal ölçüm yapabilme, verilerin saklanması, parametre ayar kolaylığı, hızlı çalışma, az miktarda bakım onarım gerektirme, SCADA sistemine uyumlu olma, haberleşme kolaylığı, kendi kendine teşhis ve resetleme özelliği, düşük iç empedansa sahip olma şeklinde sıralanabilir.

Elektrik dağıtım şebekelerinde koruma koordinasyonu yapılırken şebekede meydana gelebilecek riskli koşullar dikkate alınmalıdır. Koordinasyondaki temel amaç şebekedeki elemanları karşılaştacakları maksimum kısa devre akımları olan faz-faz ve faz toprak arızalarına karşı korumaktır. Koordinasyonda röle set değeri ayarlanırken akım değeri maksimum kısa devre akımı olarak seçilmeyerek ve açma zaman değeri optimum şekilde seçilerek şebeke elemanlarının ömrü uzatıldığı gibi enerji kalitesi de sağlanmış olur (Soria et al. 2014).

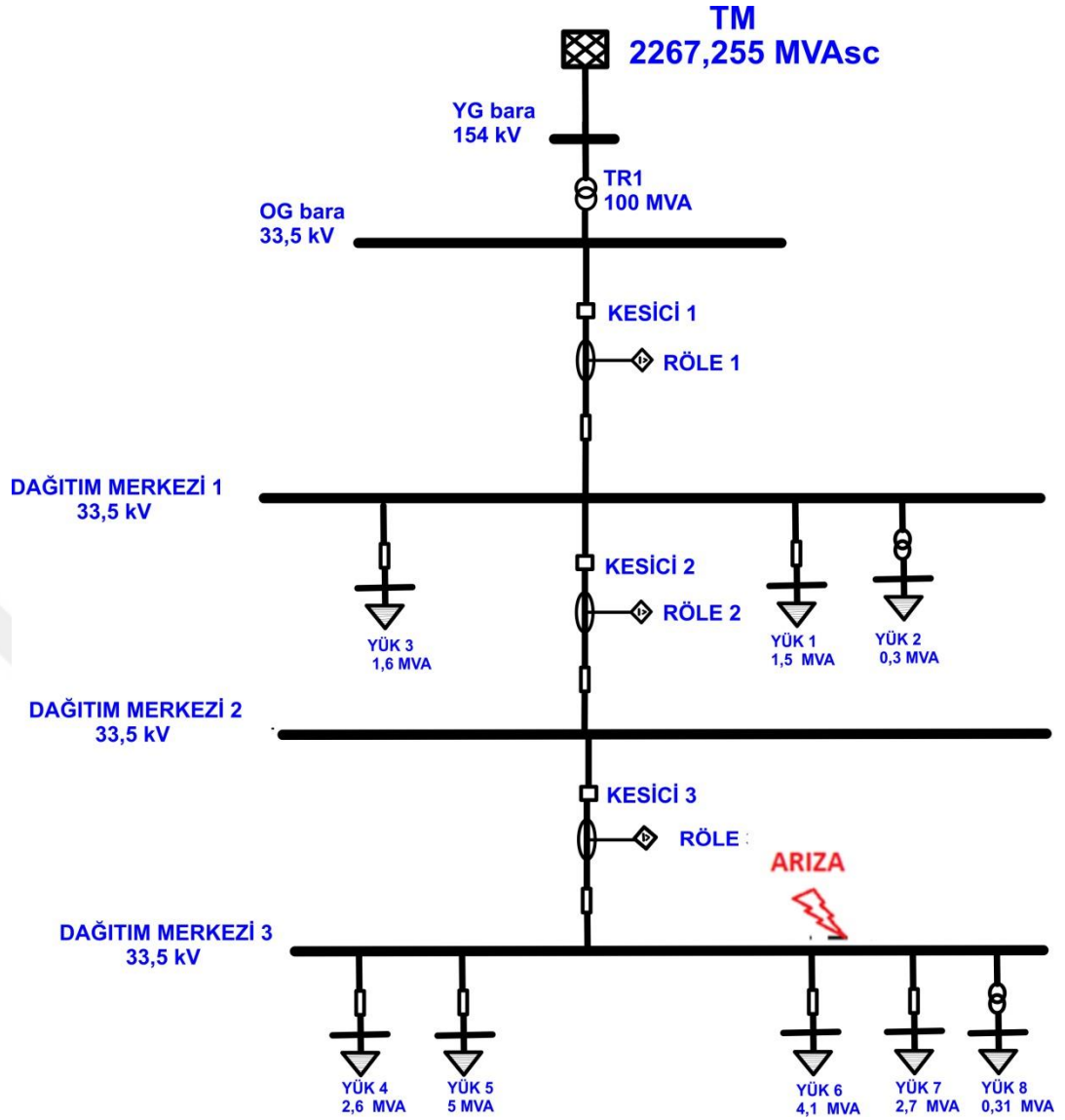
Aşırı akım kavramını dağıtım şebekesindeki sistem elemanlarının sağlıklı bir şekilde çalışacağı sınır değer akımı olarak tanımlayabiliriz. Şebekeye bağlı olan yüklerin çekebileceği maksimum akımın üzerindeki akımlar ve kısa devre akımları aşırı akım olarak kabul edilir. Aşırı akım koruma felsefesi, röleler içerisinde bulunan mikroişlemciler vasıtasıyla aşağıda belirtilen şekilde uygulanır.

Röle akım trafosu vasıtasıyla küçültülmüş şebeke akım değerini bir ADC tarafından dijital sinyale çevirir. Akım sinyali rölede ayarlı olan referans akım değerini geçtiği anda, röle ayarlanan zaman değeri kadar bekler ve normalde açık kontak olan çıkışından kesiciye açma sinyali gönderir. Şebeke akım değeri ($I_{şebeke}$) ile referans akım değeri (I_{ref}) oransal olarak karşılaştırılır.

$PSM > 1$ olduğunda röle açma sinyali gönderir. PSM değerinin büyüklüğü arıza şiddeti ile doğru orantılıdır (Paithankar 2004). Örneğin, 100/5 akım trafosu bağlı olan bir fiderin yükü normal şartlarda 50 A olsun. Röle referans akım değeri 50 A olarak ayarlandığında fiderde meydana gelecek 500 A ‘lık arıza akımında PSM değeri Denklem 3.2’deki gibi hesaplanır.

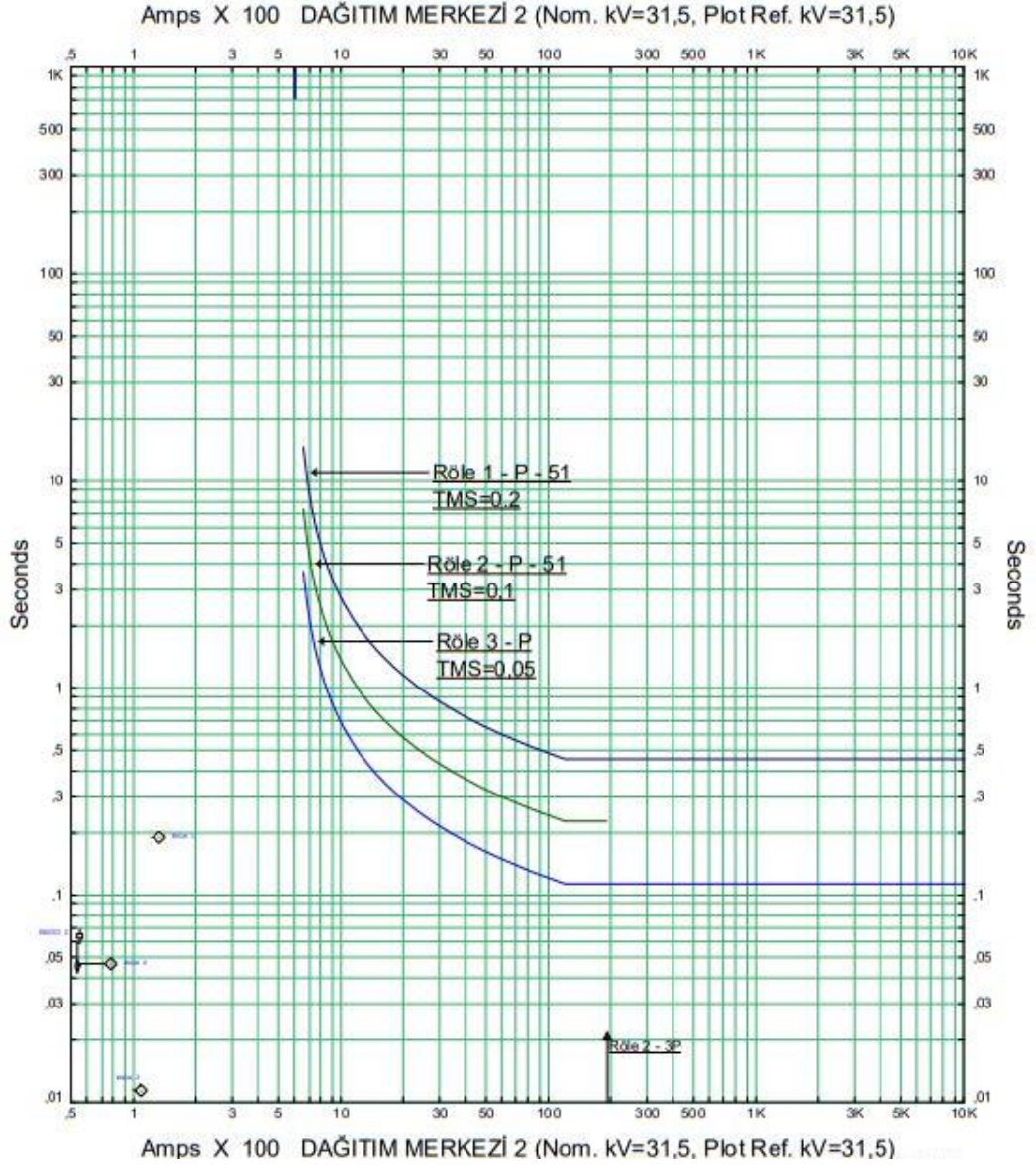
$$PSM = \frac{I_{şebeke}}{I_{ref}} = \frac{500}{50} = 10 \quad (3.1)$$

Koruma rölesi bağlı olduğu çıkış fiderinin önündeki ve gerisindeki güç elemanlarının korunmasında önemli bir role sahiptir. Dağıtım şebekeleri, birçok fiderin birbirine bağlantılı olduğu sistemler bütünüdür. Şekil 3.4’deki Erzurum iline ait örnek bir Radyal Dağıtım Şebekesi (RDS) verilmiştir. Bu EDŞ güç sistemi ETAP demo güç sistem yazılımı ile modellenmiştir. Model göz önünde bulundurulduğunda Dağıtım Merkezi (DM) 3’deki bara da meydana gelecek kısa devre arızasında röle 3’ün arızayı röle 1 ve röle 2 ‘den daha önce algılayarak arızalı sistemi olabildiğince hızlı bir şekilde baradan ya da hattan ayırabilmesi gerekmektedir. Röle 3’ün başarısız olması durumunda ise Röle 2 ‘nin arızayı sistemden izole etmesi gerekmektedir.



Şekil 3.4. Erzurum ilinde yer alan radyal dağıtım şebekesi örneğine ait ETAP modeli

Güç sistem koordinasyonda rölelerin açma zamanı tanımlanan TMS değerleri artırılıp veya azaltılarak belirlenir. DM 3'te yani şebekenin en uç noktasında meydana gelecek arızlardan dolayı DM 1 ve DM 2'nin enerjisiz kalmaması için röle 3 TMS değeri röle 1 ve röle 2 'ye göre küçük seçilir. Böylece röle 3 bağlı olduğu kesicisine, arıza durumunda en erken açma sinyali göndererek kesinti yaşanacak bölge sayısı minimize edilir. Röle 1'in TMS değeri 0,2, Röle 2'in TMS değeri 0,1, Röle 3'ün TMS değeri 0,05 olarak seçildiğinde karşılaşılabilecek arıza akımlarında açma eğrileri Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.5. TMS değerlerine göre rölelerin akım-zaman eğrisi

Elektrik dağıtım şebekelerinde aşırı akım rölesi için çeşitli zaman-akım karakteristikleri (TCCs) kullanılmaktadır. Bu karakteristikler temel olarak ters zaman ve sabit zaman olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bir aşırı akım rölesinin koruma yapacağı karakteristikle ilgili fonksiyonlar IEEE ve IEC standartlarında tanımlanmış olup koruma yapılacak fonksiyon kodlarının bazıları Çizelge 3.1.'deki gibi sınıflandırılmıştır (Anonim 2020a).

Çizelge 3.1. Aşırı Akım Koruma Fonksiyonları Kodları

Koruma Fonksiyonları	ANSI/IEEE Kodları	IEC Sembolleri
Faz aşırı akım koruma	50, 51	$I >, I >>$
Toprak aşırı akım koruma	50N, 51N	$I_E >, I_E >>$
Yönlü aşırı akım koruma	67	$I_{dir} >, I_{dir} >>$
Yönlü toprak aşırı akım koruma	67N	$I_{Edir} >, I_{Edir} >>$

Erzurum EDŞ’de kullanılan rölelerde ters zaman karakteristikleri IEC Standartlarında belirtilen fonksiyonlarla tanımlanmıştır. Ters zaman fonksiyon kodları; aşırı akım: $I >$, toprak aşırı akım: $I_E >$, yönlü aşırı akım: $I_{dir} >$, yönlü toprak aşırı akım: $I_{Edir} >$ şeklindedir. Denklem 3.2’deki gibi tanımlanır. IEC standartında denklemdeki B değeri sıfır olarak kabul edilir.

$$t_{trip} = TMS \left(\frac{A}{PSM^p - 1} + B \right) + K \quad (3.2)$$

Burada;

t_{trip} : Rölenin açma sinyali göndermesi için geçen süre (saniye)

TMS : Zaman çarpanı ayarı

PSM : Ölçülen akımın röleye tanımlanan ayar akımına oranı

A, B, K, p : Standartlarda belirtilen sabit sayılar

A, B, K, p sabitlerinin Çizelge 3.2’de IEC’ye göre almış olduğu değerlere göre fonksiyonlar normal ters, çok ters ve aşırı ters olarak sınıflandırılır (Vala et al. 2020).

Çizelge 3.2. IEC standardı ters zaman fonksiyon sabitleri

Fonksiyon Tipi	A	B	K	P
Normal Ters	0,14	0	0	0,02
Çok Ters	13,5	0	0	1
Aşırı Ters	80	0	0	2

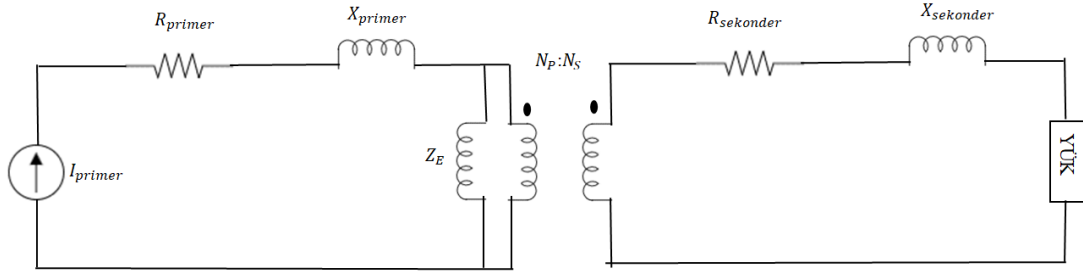
Sabit zaman karakteristiğinde ise röleye akan akım, ayar değerini aştığında yani $PSM > 1$ olduğunda röle tanımlanan gecikme süresi sonunda açmaya gider. Sabit zaman fonksiyon kodları; aşırı akım: $I >>$, toprak aşırı akım: $I_E >>$, yönlü aşırı akım: $I_{dir} >>$, yönlü toprak aşırı akım: $I_{Edir} >>$ şeklindedir. Örneğin, bir röleye 600 A'ın üzerinde bir akım algılandığında 0.2 sn sonra kesiciye açma sinyali gönder şeklinde sabit zaman fonksiyonu tanımlanırsa, röle 600A den büyük bütün akım değerlerinde 0.2 sn sonra kesiciye açma sinyali gönderir.

3.1.2. Akım transformatörleri

Elektrik üretim, dağıtım ve iletim sistemlerinde kullanılan ölçü aletleri ve koruma röleleri akım ve gerilim transformatörlerinden elde edilen analog sinyallere göre davranış sergilerler. Röleler ve ölçü aletlerine ait donanımlar küçük akım ve gerilimler seviyesinde çalıştıkları için üretim, dağıtım ve iletim hatlarına ait fider akım ve gerilim seviyelerinin kA ve kV seviyelerinden daha küçük amper ve volt seviyelerine indirilmesi gerekmektedir. Akım ve gerilim transformatörleri vasıtasıyla fider akım ve gerilim seviyeleri ölçü aletleri ve rölelerin çalışabileceği seviyelere düşürülür. Aynı zamanda bu transformatörler vasıtasıyla ölçü ve koruma cihazlarının güç sistemlerinden yalıtımı sağlanır. Sonuç olarak, hem cihaz donanımlarının yüksek gerilim ve akımdan dolayı zarar görmesinin önüne geçilir hem de personellerin can güvenliği de sağlanmış olur.

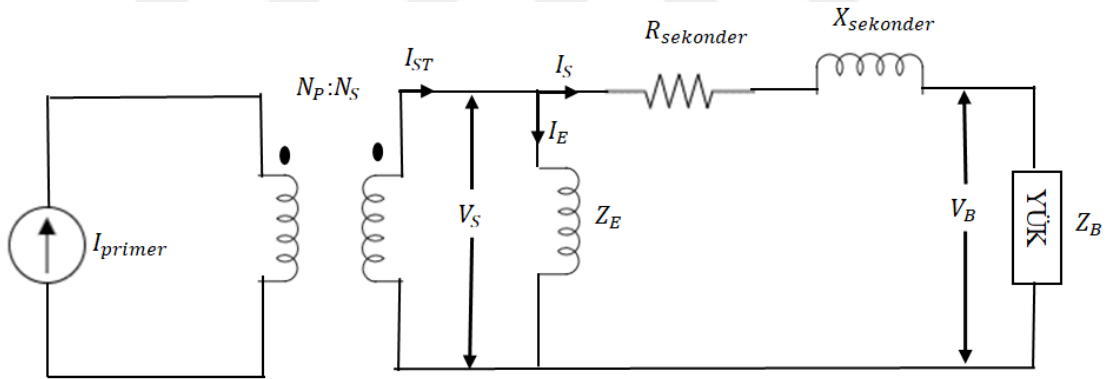
Güç sistemlerinin korunması için kullanılan akım ve gerilim transformatörleri koruma röleleri için bir sensör görevi görmektedirler. Koruma röleleri aldıkları akım ve gerilim bilgilerine göre karar vererek alarm sinyalleri ve kesicilere açma sinyalleri göndermektedirler. Geleneksel güç transformatörleri bir gerilim vasıtasıyla uyarılırken akım transformatörleri akım vasıtasıyla uyarılmaktadır. Akım transformatörünün primer tarafı dağıtım ve iletim hattına seri olarak bağlanır. Sekonder tarafına ait yükler ise koruma rölesi ve bağlantı kablolarından oluşmaktadır. Primer sargılarının bağlı olduğu

çıkış fiderine ait bara empedansı çok küçük olduğundan ihmal edilirse akım transformatörüne ait eşdeğer devre Şekil 3.6'daki gibi elde edilir (Anonymous 2023d).



Şekil 3.6. Akım trafosu eşdeğer devresi

Akım transformatörünün primer sargısına bağlı olan bara empedansı ihmal edilecek derecede küçük olduğundan trafo primer direnci ve kaçak reaktansı da ihmal edilecek olursa mıknatıslanma empedansı Z_E sekonder tarafa indirgenerek Şekil 3.7'deki devre elde edilir (Anonymous 2023d).



Şekil 3.7. Sekonder tarafa indirgenmiş akım trafosu devresi

Burada;

V_S : Sekonder uyartım gerilimi

V_B : Yüklerin bağlı olduğu sekonder terminal gerilimi

I_{primer} : Primer akımı

Z_E : Mıknatıslanma empedansı

I_{ST} : Toplam sekonder akımı

$R_{sekonder}$: Sekonder direnci

I_S : Sekonder yük akımı

$X_{sekonder}$: Kaçak reaktans

I_E : Mıknatıslanma akımı

$N_s : N_p$: Sargı oranı

Z_B : Röle ve bağlantı kablolarını içeren yük empedansı olarak tanımlanır.

Şekil 3.7’de sekonder sargı dirençleri ve kaçak reaktansları akım transformatörünün performansını etkilediğinden dolayı ihmal edilmemiştir. Bu yüzden sekonder tarafa ait toplam empedans değerlerini, koruma rölesinden kaynaklı empedans, bağlantı kablo direnci ve akım trafosunun sekonder sargılarından kaynaklı kaçak empedans oluşturmaktadır. Dolayısıyla akım transformatörü tarafından üretilen sekonder gerilimi bu empedans değerlerine doğrudan bağlıdır. Bu nedenle akım transformatörünün sargılarında oluşan akı yoğunluğu φ_m sekonder gerilimi gözlemlenerek Denklem 3.3.’te gösterilen emf denklemine göre hesaplanır (Anonymous 2023d).

$$E_2 = 4,44 f N_2 \varphi_m \quad (3.3)$$

$$\varphi_m = B_m * A \quad (3.4)$$

Burada;

φ_m : Nüvede oluşan maksimum sinüzoidal akı

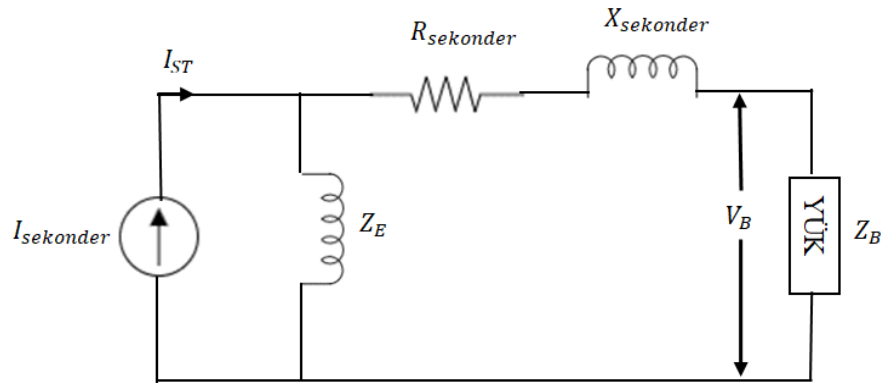
N_2 : İkincil sargıdaki sarım sayısı

f : Hz cinsinden besleme frekansı

B_m : Maksimum akı yoğunluğu

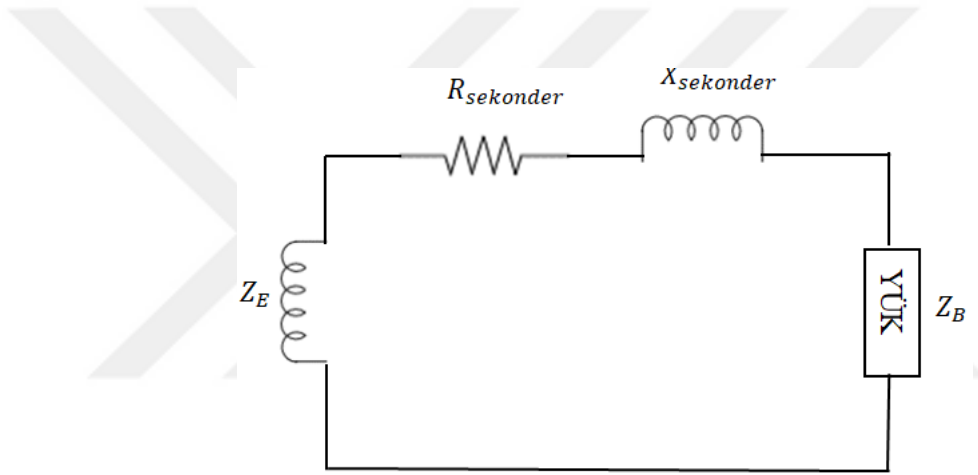
A : Demir nüvenin kesit alanı

Eğer maksimum akı yoğunluğu B_m , trafo doyum noktası üzerinde olursa akım transformatörü doyuma gidecektir. Akım transformatörü doyuma gidince primer sargıdan geçecek olan fider akımı doğru ölçülememekle birlikte transformatör performansı ciddi oranda düşmektedir. Akım transformatörleri seçilirken bağlantı yapılan fiderin sinüzoidal akımı dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte akım transformatörünün sekonder uçlarına bağlı olacak yüklerin düşük empedanslı olması gerekmektedir. Dolayısıyla dağıtım sektöründe akım transformatörünün sekonder yükünü oluşturan röleler, elektromekanik röleler yerine düşük empedans değerine sahip olan dijital röleler olarak seçilmelidir. Son olarak akım transformatörünün ideal olarak düşünürsek primer akımın sekonder tarafa indirgenmiş haliyle en basit devresi Şekil 3.8'deki gibi elde edilir (Anonymous 2023d).



Şekil 3.8. Primer akımı sekonder tarafa indirgenmiş eşdeğer devre

Akım transformatörlerinde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri geçici arıza durumlarından kaynaklı olarak meydana gelen aşırı akımlardan ve Doğru Akım (DC) bileşenlerinden kaynaklı olarak doyuma gitmesidir. Akım transformatörü doyuma ulaştığı andan itibaren primer tarafından geçen akımlar sekonder tarafta doğru bir şekilde ölçülememektedir. Doyum boyunca bir akım transformatöründe manyetik empedans değeri düşmekle birlikte transformatör primer ve sekonder sargıları arasındaki manyetik etkileşim ihmal edilecek seviyeye ulaşmaktadır. Böylelikle transformatör hava nüveli bir cihaz olarak davranış sergiler. Havanın yüksek relüktansından kaynaklı olarak mıknatıslanma empedansı (endüktif reaktans) düşer. Doyuma ulaşmış bir akım transformatörüne ait eşdeğer devre şeması Şekil 3.9'daki gibi elde edilir (Anonymous 2023d).



Şekil 3.9. Doyuma ulaşmış akım transformatörüne ait eşdeğer devre

Akım transformatörleri, primer sargılarından geçen akımla doğru orantılı olacak şekilde sekonder sargılarından akım üretmektedir. Akım transformatörleri primer sargıları doğrudan baraya bağlı mesnet tipi veya içerisinden kablo geçecek toroidal tip şeklinde tasarlanırken, sekonder sargıları, ölçü ve koruma devrelerine bağlanacak şekilde tasarlanır. Orta gerilim dağıtım şebekelerinde kullanılan akım transformatörlerinin tüm tertibatları yalıtımlı bir muhafaza içine yerleştirilerek, üç adete kadar bağımsız sekonder sargı çıkışına sahiptirler. Bu sekonder çıkışlar koruma ve ölçüm amaçlı kullanılmaktadır (Anonymous 2023e).

Akım transformatörlerinin boyutu ve doğruluk sınıfı kullanım amacına göre değişiklik göstermektedir. Örneğin faturalandırma amaçlı kullanılan ölçüm çıkışları,

yüksek doğruluk sınıfına sahip olarak seçilir (Kaczmarek et al. 2022). Akım transformatörleri IEC ve IEEE standartlarına göre sınıflandırılmış olup bu çalışmada yer alan EDŞ’de kullanılan akım trafoları IEC ye uygun üretilmiştir. IEC 61869-2’ye göre akım trafosu, primer akımı, faz kaymasının yaklaşık sifıra eşit olduğu orantılı bir sekonder akıma dönüştüren cihaz olarak tanımlanır (IEC 61869-2 2012). IEC’ye göre bir akım trafosunun etiket değerleri Çizelge 3.3’te gösterildiği gibi olmalıdır.

Çizelge 3.3. EDŞ’de kullanılan örnek akım trafosu

Örnek Bir Akım trafosuna Ait Etiket Bilgileri	
Marka	ALCE
Model-Seri numarası	2015-1001482588
Nominal primer akımı I_{primer} (A)	600
Nominal primer akımı $I_{sekonder}$ (A)	5
Çevirme oranı K_n	120
Nominal termal dayanma akımı I_{th}	30kA 1sec
Birincil devre gerilim değeri U_p (kV)	0,72/3/-kV
Frekans değeri f_r	50
Çıkış gücü (VA)	5
Ölçüm sınıfı	0,5
Koruma sınıfı	5P10

Bir akım trafosunun primer nominal akım değeri, bağlı olduğu çıkış fiderinin maksimum yük akımından büyük olmalıdır. Ölçüm amaçlı kullanılacak akım trafolarının primer akımının nominal değeri fider yük akımının maksimum değerinin 1,5 katı olacak şekilde seçilirken, koruma amaçlı kullanılacak akım trafolarında röle açma değerine uygun seçilmelidir. IEC 60044-1’e göre primer akımın standart değerleri I_{primer} : 10A, 12.5A, 15A, 20A, 25A, 30A, 40A, 50A, 60A, 75A ve bu değerlerin ondalık katları şeklindedir. Nominal sekonder akım değerleri standarda göre 1A veya 5A olacak şekilde üretilir (Anonymous 2023e). Akım trafolarının bağlandığı sekonder ekipmanlara çekilen kablo kesitlinin ve transformatör boyutunun küçük olması tercih edilecek olursa 1A çıkışlı akım trafoları 5A olanlara göre kullanıcıya avantaj sağlamaktadır.

Çevirme Oranı K_n , akım trafosunun primer sarım sayısının (N_p) sekonder sarım sayısına (N_s) veya primer nominal akımın sekonder nominal akıma oranı şeklinde tanımlanır. Bir akım trafosunun çevirme oranı denklem 3.5'daki gibi hesaplanır.

$$K_n = \frac{I_{primer}}{I_{sekonder}} \quad (3.5)$$

Nominal kısa süreli termal dayanma akım I_{th} (kA), değeri akım trafosunun, 1 saniye boyunca dinamik ve termal olarak dayanabileceği maksimum primer sargı akımının etkin değeri olarak tanımlanır. Çizelge 3.3'teki örnek trafo etiketinde bu değer 30 kA'e 1 saniye dayanabilecek şekilde tanımlanmıştır.

Aşırı akım katsayısı K_{si} , akım trafosunun kısa süreli termal dayanma akımının nominal primer akımına oranı olarak tanımlanır ve Denklem 3.6'daki gibi hesaplanır.

$$K_{si} = \frac{I_{th}}{I_{primer}} \quad (3.6)$$

Bu katsayı değeri ne kadar büyük olursa akım trafosunun üretimi o derece zor olup boyutu büyük olacaktır. Bu katsayı değeri (Anonymous 2023e).

$K_{si} < 100$ ise, transformatör üretimi kolay

$100 < K_{si} < 500$ ise, transformatör üretimi belirli sınırlamalarla zor

$K_{si} > 500$ ise, transformatör üretimi aşırı zor olacaktır.

Çizelge 3.3'deki trafonun K_{si} değeri hesaplanacak olursa

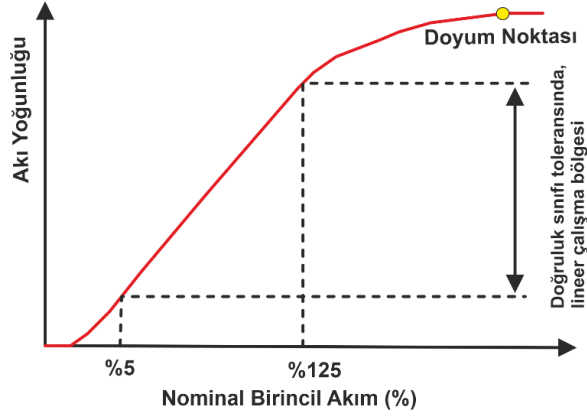
$$K_{si} = \frac{I_{th}}{I_{primer}} = \frac{30.000}{600} = 5 \quad (3.7)$$

olarak elde edilir.

Birincil devre gerilim seviyesi U_p (kV), akım trafosunun yalıtım gerilimini temsil etmektedir. Yani bir trafosunun bağlandığı bara ya da kablolar ile arasında oluşacak maksimum dayanma gerilimidir.

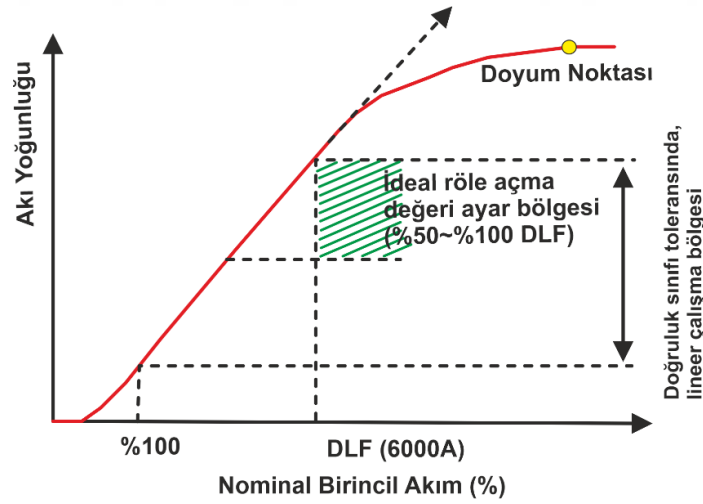
Trafonun kullanılacağı şebekenin frekansı ile etiket değerindeki şebeke frekansı eşleşmelidir. IEC'ye göre üretilen akım trafoları standart 50Hz ve 60Hz frekansındadır.

Bir akım trafosuna ait çıkış gücü (VA) olarak tanımlanır. Bu değerler standartta 1VA, 2.5VA, 5VA, 10VA ve 15VA şeklindedir. Örneğin Çizelge 3.3'teki akım trafosunun koruma amaçlı kullanılan 2S1 ve 2S3 sekonder sargı uçlarına bağlanacak kabloların, bağlantı aparatlarının ve koruma rölesinin toplam çıkış gücü 5 VA seviyesini geçmemelidir. Bir ölçüm sınıfı, nominal primer akımın 5%'den 125%'ine kadar akım trafosunun sekonder akımının doğruluğunu gösterir. Anma akımın 1,25 katının üzerindeki akımlarda trafo doymaya başlar ve bağlı olduğu ikincil ekipmanları korumak için sekonder akım kesilir. Çizelge 3.3' teki akım trafosunun ölçüm sınıfı 0,5 olup ölçüm sınıfı için çalışma aralığı Şeki 3.10 deki gibi elde edilir (Anonymous 2023e). Akım trafosunun koruma sınıfı, yüksek aşırı yük seviyelerinde primer akımdan sekonder akıma doğrusal bir dönüşüm sağlar. Akım trafolarının bu özelliği onları aşırı akım röleleri ile kullanıma uygun hale getirir. Röle aşırı akım ani açma değeri genelde maksimum yük akımının yaklaşık 10~15 katıdır. Bu seviye akım trafosu sekonder akım eğrisinin lineer kısmına düşmelidir. Bir akım trafosu röle açma seviyesine ulaşılmadan önce doygunluğa ulaşırsa, arıza tespit edilemeyerek kesiciye açma sinyali gönderilemeyecektir. Bu durum ekipman hasarına ve personel için ciddi tehlikeye yol açacaktır.



Şekil 3.10. Ölçüm sınıfı için akım trafosunun çalışma aralığı

En yaygın kullanılan koruma sınıfı 5PX şeklinde olup, burada X, anma primer akımının Doğruluk Limit Faktörü (DLF) olarak tanımlanır. 5PX koruma sınıfına sahip bir akım trafosunun anma akımında çevirme oranı hatası 1% iken doyma sınırına yaklaştığında (anma akımının X katında) bu hata oranı 5% seviyelerine çıkar. Akım trafolarının tipik koruma sınıf değerleri 5P10, 5P15, 5P20 şeklindedir. Çizelge 3.3'teki akım trafosunun koruma sınıf değeri 5P10 olup koruma sınıfı için çalışma aralığı Şekil 3.11'deki gibi elde edilir (Anonymous 2023e).



Şekil 3.11. Koruma sınıfı için akım trafosunun çalışma aralığı

3.1.3. SF₆ gazlı kesiciler

Kesiciler, elektrik hatlarının devre akımını, normal çalışma koşullarında iletme ve kesme ve anormal şebeke koşullarında otomatik kesme işlemi yapan anahtarlama cihazlarıdır. SF₆ gazlı kesiciler kükürt hekzaflorür gazını yalıtkan bir ortam ve ark söndürücü olarak kullanır. Trafo ve elektrik dağıtım merkezlerinde kesiciler en önemli güç sistemi bileşenlerinden biri olup yüksek güvenilirlik sunmalıdırlar. Devre kesicisi, kapalı konumda iken devre akımını izin verilen sınır ısınma değerlerini geçmeyecek şekilde iletme zorundadırlar. Açık konuma geçtikleri zaman kontakları arasındaki yalıtım mesafesi şebeke işletme gerilimine dayanmalıdır (Vianna et al. 2016).

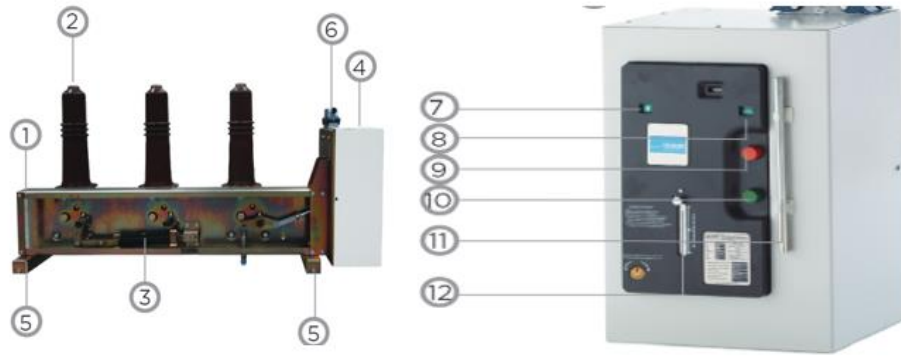
Bir devre kesicisinin kullanım ömrü, kesicinin yaşı ve açma sayısı ile tanımlanır. Kesiciler yük altında açma kapama yapmak için tasarlanmış cihazlardır. Bunun yanında enerjili bir elektrik şebekesinde meydana gelecek arızalar ve hata akımlarında açma yaparak koruma sağlayan elemanlardır. Dolayısıyla kesici uzun süre hareketsiz kalmış olmasına rağmen devreyi açıp kapatma durumuna hazır olmalıdır. (Vianna et al. 2016).

Orta Gerilim (OG) kesicilerde koruma fonksiyonu bir koruma rölesi tarafından gerçekleştirilmek zorundadır. Koruma esnasında kesicilerin çalışma prensibi sırasıyla; sistemde arıza meydana gelir, koruma rölesi arıza akımını algılayarak kesicinin açma devresi harekete geçirir, kesicinin kontakları arasında ark oluşur ve ark söndürülür. Sonuç olarak, arıza sistemden izole edilmiş olur. Türkiye elektrik dağıtım şebekelerinde yaygın olarak kullanılan SF₆ kesicilerde oluşan arkı söndürmek için SF₆ gazı kullanılır (Anonim 2023a). Dağıtım şebekelerinde kullanılmak üzere tasarlanmış SF₆ gazlı kesiciler sırasıyla Şekil 3.12’de gösterildiği gibi önden mekanizmalı ve yandan mekanizmalı olarak ikiye ayrılmakta olup çalışma prensipleri aynıdır (Anonim 2023a).



Şekil 3.12. SF6 gazlı kesici a) Önden mekanizmalı b) yandan mekanizmalı

SF₆ gazlı kesicilerde dielektrik dayanımı aynı basınçtaki havaya göre yaklaşık iki-üç kat değerdedir (Anonim 2023a). Isıyı çok çabuk çevreye dağıtarak arkın çabuk soğumasını sağlar. Devre kesilirken oluşabilecek tekrarlanan arklar ve yüksek gerilimler önlenir (Garzon 1997). SF₆ gazı metaller ile tepkimeye girmez, renksiz, kokusuz ve zehirsiz olmakla birlikte havaya göre beş kat daha ağırdır (Anonim 2023f) Uzun süre gaz ilavesine ihtiyaç duymadan kesiciler çalışabilir. Akım sönümlemede sorun çıkarmadan çalışmakla birlikte mekanik dayanım olarak bu kesiciler 10.000 açma ve kapama yapabilir ve arkı sönümleme zamanı 3-5 periyottur (Anonim 2023a). Şekil 3.13’de bir SF₆ gazlı kesicinin temel elemanları gösterilmiştir (Anonim 2023b).



Şekil 3.13. SF₆ kesici temel elemanları

Burada;

1: Kutup Bağlantı Şasesi

2: SF₆ yalıtımlı kesici kolu

3: Açma yayı

4: Çalıştırma mekanizması

5: Taşıyıcı tekerlek	6: Bağlantı
7: Kesicinin açık/kapalı göstergesi	8: Yay kurulu/yay boşta göstergesi
9: Kapama butonu	10: Açma butonu
11: Manuel kurma kolu	12: Mekanik kurma adaptörü

3.2. Güç Sistem Bileşenlerinin Gerçek Zamanlı Testleri ve Analizi

Elektrik dağıtım şebekelerinde sekonder koruma yapılabilmesi için kullanılan dijital aşırı akım koruma rölelerinin açma kontaklarının gecikme süresi, akım trafolarının hata oranları ve SF₆ gazlı kesicilerin açma süresi röle koordinasyonun güvenilirliği açısından büyük öneme sahiptir. Bu nedenle rölelerin, kesicilerin ve akım trafolarının belirli periyotlarla test edilmesi ve hatalı ölçümler alınan ekipmanlarda gerekli bakımların yapılması gerekmektedir.

Bu bölümde ilk olarak dağıtım şebekelerinde kullanılan dijital akım rölelerinin ayar değerlerinde açma yapıp yapmadığının gerçek zamanlı testleri yapılmıştır. Bilindiği üzere dağıtım şebekelerinde kullanılan bir sayısal aşırı akım rölesinin sağlıklı bir koruma yapabilmesi için dijital çıkış kontağının gecikme süresinin TEDAŞ Sekonder Röleler Teknik Şartnamesi'nde (SRTŞ) belirtildiği gibi 40 ms den az olması gerekmektedir (Anonim 2020b). Yani arıza anında kesiciye açma sinyali gönderen dijital çıkış kontağının ayarlanan zaman değerine ilave olarak gecikmesi en fazla 40 ms olmalıdır. Bu şartın sağlanıp sağlanmadığını görebilmek amacıyla dağıtım şebekelerinde yaygın olarak kullanılan rölelere ait dijital çıkış kontakların açma gecikmelerinin gerçek zamanlı testleri yapılmıştır. Açma zamanı gecikmelerini ölçmek için Şekil 3.14'te gösterilen ISA marka T1000 plus tek faz röle test cihazı kullanılmıştır. ISA T1000 plus cihazın temel işlevi, akım ve gerilim üretmek ve röle açma yaptığı anda üretimi keserek dijital çıkış kontağının açma gecikmesini hesaplar. Test sonuçları hafızada tutulabilir, bilgisayar ortamına aktarılabilir ve cihaz üzerindeki LCD ekran üzerinden anlık okunabilir (Anonymous 2020a).



Şekil 3.14. ISA T1000 Plus

İkinci aşamada, orta gerilim iletkeninden geçen anlık akımları ve hata akımlarını röle tarafından ölçülebilir seviyeye indirmek için kullanılan akım transformatörlerinin çevirme oranlarının gerçek zamanlı ölçümü yapılmıştır. Dağıtım şebekelerinde aynı anda ölçüm ve koruma yapabilmek amaçlı doğruluk sınıfı 1 olan akım trafoları yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğruluk sınıfı 1 olan bir akım trafosunun etiketinde 5P ifadesiyle gösterilir. 5P doğruluk sınıfına sahip olan bir akım trafosu anma akımında çevirme oranı hatası %1 iken doyma sınırına yaklaştığında bu hata oranı %5 seviyelerine çıkar. Akım ve Gerilim Ölçü Transformatörleri Muayene Yönetmeliği'nde akım transformatörlerinin hata payları transformatörlerin sınıfı ile orantılı olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla 5P doğruluk sınıfına sahip olan bir akım transformatöründe hata payı $\% \pm 1$ dir (Anonim 2007).

Bu şartın sağlanıp sağlanmadığını görebilmek amacıyla dağıtım şebekelerinde yaygın olarak kullanılan 5P doğruluk sınıfına sahip akım transformatörlerinin gerçek zamanlı çevirme oranları test edilmiştir. Trafo çevirme oranı ölçmek için Şekil 3.15'de gösterilen Hightest Technology firmasına ait TURA 01 tek fazlı transformatör çevirme oranı test cihazı kullanılmıştır. TURA 01, tek fazlı ve üç fazlı transformatörlerin dönüştürme oranını ölçmek için ileri mühendislik teknolojisi kullanılarak tasarlanmıştır. TURA 01 geniş aralığı (0,8 ila 33.000) oran ölçüm kabiliyeti ve yüksek hassasiyeti (%0,08) ile en doğru cihazlardan biridir (Anonymous 2023g).



Şekil 3.15. TURA 01

Son aşamada yeni nesil SF₆ gazlı kesicilerin arıza anında röleden aldığı trip sinyali ile kontaklarını yönetmeliklerde belirtilen sınır zaman değerinin altında ayırıp ayırmadığı test edilmiştir. Bir kesicinin sağlıklı bir koruma yapabilmesi için kesici kutuplarının ayrılma süresinin TEDAŞ orta gerilim kesicileri teknik şartnamesi'nde belirtildiği gibi 80 ms den az olması gerekmektedir (Anonim 2006). Yani bir kesici röleden açma sinyali aldığı andan itibaren açma işlemini 80 ms içerisinde yapmak zorundadır.

Bu şartın sağlanıp sağlanmadığını görebilmek amacıyla dağıtım şebekelerinde yaygın olarak kullanılan kesicilere ait açma gecikmelerinin gerçek zamanlı testleri yapılmıştır. Açma zamanı gecikmelerini ölçmek için Şekil 3.16'da gösterilen Hightest Technology firmasına ait CIBRE L3 serisi 3 faz kesici kontak ayırma ve kapama süresi ölçen cihazı kullanılmıştır. Kullanılan devre kesici zamanlayıcısı, devre kesicilerinin temas zamanlamalarını test etmek için ileri mühendislik teknolojisi kullanılarak tasarlanmıştır (Anonymous 2023h).



Şekil 3.16. CIBRE L3

3.3. Optimum Aşırı Akım Röle Koordinasyonu İçin Metasezgisel Yöntemler

Son yıllarda optimizasyon problemlerinin çözümü için birçok algoritma önerilmiştir. Bu algoritmalar genellikle doğadaki canlıların bireysel davranış şekillerinden, içgüdüsel hareketlerinden ve birbirleri ile aralarındaki akıllı etkileşimlerinden esinlenilerek geliştirilmişlerdir. Metasezgisel algoritmalar olarak isimlendirilen bu algoritmalar başlangıçta tek bir problemi çözmek için tasarlanıp sonrasında geliştirilerek birçok optimizasyon probleminin çözümünde kullanılmıştır (Korkmaz 2019).

Arıza durumunda, röle operasyon zamanının minimum olması gerekmektedir. Böylece sistemde oluşan hasarlar azaltılır. Ayrıca, sistem normal çalışma durumunda iken rölelerin açma yapmayacağından emin olunmalıdır. Aşırı akım röle koordinasyonu probleminde temel amaç, sistemde faaliyet gösteren rölelerin toplam operasyon zamanını optimize edilmesidir. (Choudhary and Das 2020).

Bu bölümde, Elektrik Dağıtım Şebekesi'nde (EDŞ/Erzurum) kullanılan aşırı akım koruma rölelerinin koordinasyonu kısıtlı optimizasyon problemi olarak tanımlanmıştır. ETAP ile elde edilen EDŞ'ye ait güç sistem modelinde, 3 faz kısa devre arıza senaryoları oluşturularak rölelerin karşılaşılabilecek maksimum arıza akımları tespit edilmiştir. Arıza

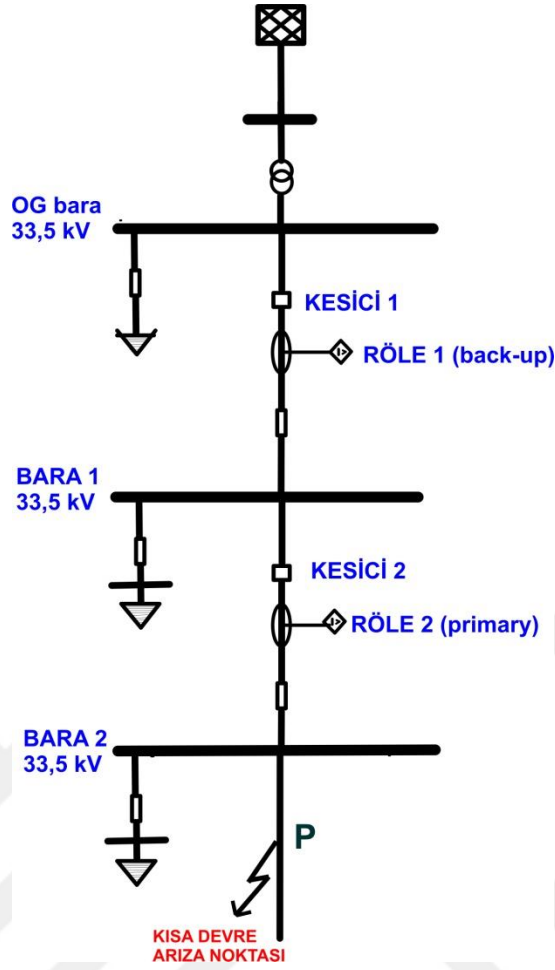
akımı verileri kullanılarak optimizasyon algoritmaları ile sistemde faaliyet gösteren rölelerin toplam operasyon zamanı optimize edilmiştir. Çalışmada rölelerin optimum ayarlarının bulunmasında sırasıyla metasegzisel optimisazyon algoritmalar olan Genetik Algoritmalar (GA), Karınca Aslanı Optimizasyonu (ALO), Balina Optimizasyonu Algoritması (WOA), Salp Sürü Algoritması (SSA), Çember Arama Algoritması (CSA) ve Bal Porsuğu Algoritması (HBA) kullanılmıştır. Daha sonra kullanılan bu algoritmaların optimum röle ayarlarını bulmadaki performansları karşılaştırılmıştır. GA; biyolojik evrimi taklit eden doğal seçim sürecine dayalı hem kısıtlı hem de kısıtlamasız optimizasyon problemlerini çözmeye yönelik bir yöntemdir. Algoritma, bireysel çözümlerden oluşan bir popülasyonu tekrar tekrar değiştirir. GA doğadaki evrim düşüncesinden ilham alarak üretilmiş ve iyi olan bireyin hayatta kalması mantığı üzerine çalışır (Çalışkan et al. 2016). ALO; 2015 yılında Mirjalili tarafından tasarlanmıştır. Karınca aslanlarının avlanma mekanizmasından esinlenerek tasarlanan optimizasyon algoritmasında, karınca aslanları, karıncaların bulunduğu bölgelere tuzaklarını dairesel bir yol çizerek bir koni şeklinde oluştururlar ve bu tuzağın dibine yani koninin sivri ucuna (optimum noktaya) kendilerini gömerek tuzağa düşecek karıncaları avlarlar (Mirjalili 2015). WOA; 2016 yılında Mirjalili ve arkadaşları tarafından önerilmiştir. Kambur balinaların av aramasını, avı çevrelemesini ve kabarcık ağı yiyecek arama davranışını taklit eden optimizasyon algoritmasıdır (Mirjalili et al. 2016). SSA; 2017 yılında Mirjalili ve arkadaşları tarafından önerilmiştir. Salpların okyanuslardaki sürü halindeki davranışından esinlenerek geliştirilmiş optimizasyon algoritmasıdır (Mirjalili et al. 2017). CSA; Qais ve arkadaşları tarafından 2022 yılında tasarlanmıştır. Geometrik özelliklerinden esinlenen yeni bir metasegzisel optimizasyon algoritması sunmaktadır (Qais et al. 2022). HBA; Haşim ve arkadaşları tarafından önerilen algoritma, optimizasyon problemlerini çözmek için matematiksel olarak verimli bir arama stratejisi geliştirmek için bal porsuğunun akıllı yiyecek arama davranışından esinlenmiştir (Hashim et al. 2022).

3.3.1. Röle koordinasyonu probleminin metasezgisel optimizasyon ile çözümü

Sezgisel optimizasyon yöntemlerinde, kazanç ve maliyet fonksiyonu, değerleri tespit edilecek olan karar parametreleri, kazanç ve maliyet fonksiyonuna ait kısıt fonksiyonları mevcuttur. Optimizasyon problemine ait fonksiyonun maksimum değer üreteceği nokta bulunmak isteniliyor ise denklem bir kazanç fonksiyonu olarak tanımlanır. Probleme ait fonksiyonun minimum değer üreteceği nokta bulunmak isteniliyor ise denklem bir maliyet fonksiyonu olarak tanımlanır (Karaboğa 2004).

Aşırı akım rölelerine ait optimum röle koordinasyonunu elde etmek için gerekli olan maliyet fonksiyonu kısıtlı bir optimizasyon problemi olarak ele alınmalıdır. Kısıtlı optimizasyon probleminde amaç fonksiyonun minimizasyonu yapılırken maliyet fonksiyonu, kısıt fonksiyonu ve uzay sınırlamaları olan üç durumun göz önünde bulundurulması gerekir.

Elektrik şebekelerinde koruma sisteminin temel amacı, arızalı bölümü hızlıca sistemden ayırarak sistemin daha fazla hasar görmesinin önüne geçmek ve arızalı olmayan bölümlerde enerji sürekliliğini sağlamaktır. Elektrik şebekelerinin korunması ve arızalı bölümün sistemden ayrılması için koruma röleleri hayati öneme sahiptirler. Optimizasyonu yapılacak sistem modeli Şekil 3.17 verilmiş olup P noktasında meydana gelecek arıza durumunda, birincil (primary) rölenin çalışması başarısız olduğunda ikincil (back-up) rölenin önceden tanımlanan süre sonunda çalışması sağlanır. Aşırı akım rölelerinin çalışması esnasında iki röle arasındaki koordinasyonu sağlamak için CTI (koordinasyon zaman aralığı) olarak tanımlanan minimum zaman aralıkları gereklidir (Damchi et al. 2018).

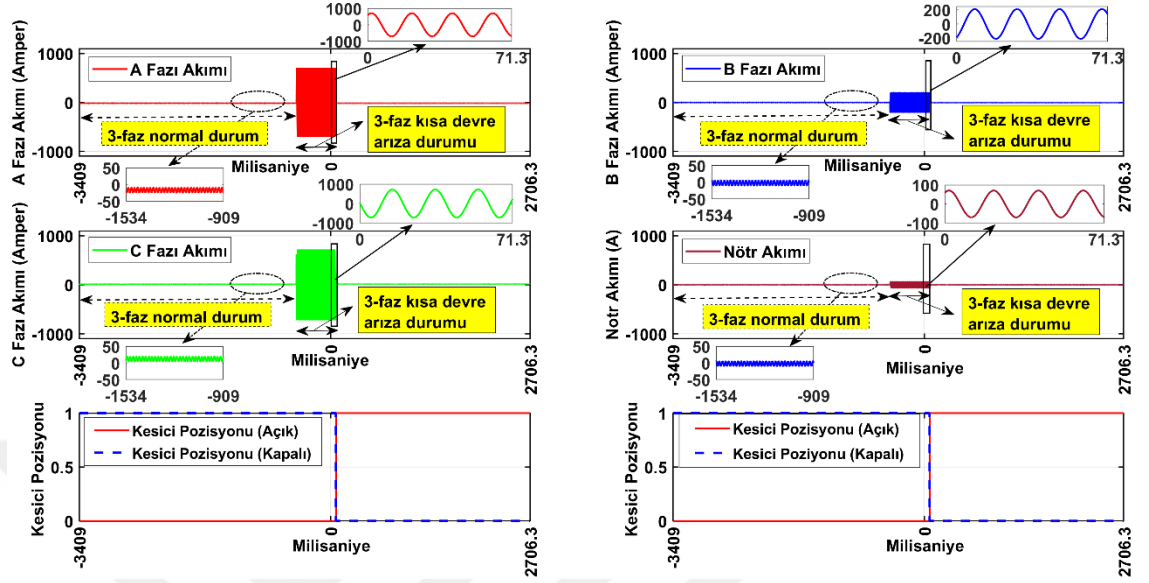


Şekil 3.17. Radyal dağıtım şebekesi

Güç sistem elemanlarını arıza, aşırı yük, aşırı gerilim vb. anormal durumlara karşı korumak için sisteme bağlanacak ekipmanların, uygun şekilde olması ve uygun zamanda çalışması gerekmektedir. Tüm bu gereksinimlerin karşılanması için aşırı akım rölelerinin ayar ve bakımlarının yapılması kolay bir görev değildir. Bu nedenle, optimizasyon algoritmaları röle ayarları için optimal değer sağlamak zorundadır. Böylece röle operasyon zamanları minimize edilmekle birlikte arızanın sistemden izole edilme süresi minimize edilir.

Erzurum ilinde yer alan EDŞ'ye ait gerçek zamanlı şebeke üzerinde meydana gelebilecek 3 faz kısa devre arızasında, şebeke bileşenlerinin hasar görmesini engellemek için koruma rölelerinin önemi Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Arıza oluşmadan önce şebekenin faz akım bileşenleri dengeli olup enerji kalitesi yüksektir. Aniden meydana gelen 3 faz kısa devre arızasında akımlar ciddi oranda yükselmekle birlikte şebekede faz

akım bileşenleri dengesiz konuma gelmektedir. Koruma rölesi vasıtasıyla arızalı noktanın sistemden izole edilme süreci Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18. 3 Faz kısa devre arıza durumunda sistem davranışı

Aşırı akım röle koordinasyonu için maliyet fonksiyonu Denklem 3.8’de tanımlanmıştır.

$$r = \sum_{i=1}^n X_j * T_{ip} \quad (3.8)$$

Burada r minimize edilecek maliyet fonksiyonu olup X_j arızalı noktanın ağırlık faktörünü (dağıtım sisteminin her noktasında arıza olabilir, sistemdeki hatlar kısa mesafeli ve eşit uzunlukta varsayılarak $X_j=1$ kabul edilmiştir.), n sisteme bağlı olan toplam röle sayısını T_{ip} i numaralı rölenin P noktasında meydana gelecek arıza durumunda operasyon zamanını göstermektedir. Bu çalışmada, 3 faz kısa devre akımlarına karşı sistemi korumak için IEC normal inverse akım-zaman karakteristiği formülü bütün röleler için kullanılmıştır. Bu karakteristiğe göre röle operasyon zamanı denklemi;

$$T_{ip} = TMS_i * \frac{0,14}{(PSM_{ip})^{0,02} - 1} \quad (3.9)$$

şeklinde tanımlanır. İncelenen sisteme ait baralarda meydana gelecek 3 faz kısa devre akımları güç sistem analizi programı olan ETAP demo ile hesaplanmıştır. Denklem 3.9 ve 3.10 göz önüne alınırsa Denklem 3.11 elde edilebilir.

$$\partial_i = \frac{0,14}{(PSM_{ip})^{0,02} - 1} \quad (3.10)$$

$$T_{ip} = TMS_i * \partial_{ip} \quad (3.11)$$

PSM değerleri sabit kabul edilirse maliyet fonksiyonu denklemleri lineer bir davranış sergiler. Böylece maliyet fonksiyonu Denklem 3.12'deki gibi olur.

$$r = \sum_{i=1}^n TMS_i * \partial_{ip} \quad (3.12)$$

Burada ∂_{ip} i rölesi için P noktasındaki arızada sabit değer alır. Röleler sistemde meydana gelecek yük değişimleri gibi (geçici durumlar) küçük bozucu etkileri arıza olarak algılayıp hiç beklemeden devreye girebilir. Bu problemin üstesinden gelmek için bir röle birincil röleden önce arıza durumunu algılayıp kayıt yapması için önceden tanımlanmış zamana (T_{ip}^{min}) ihtiyacı vardır (Choudhary and Das 2020). TEDAŞ Sekonder Röleler Teknik Şartnamesi'nde bir röle bu kriteri 40 ms den az olacak şekilde sağlamalıdır (Anonim 2020k). Bundan dolayı şebekede kullanılan rölelerin bu şartı sağlayıp sağlamadığı gerçek zamanlı test edilmiş olup ve şebekedeki her bir rölenin kontak gecikmeleri ölçülmüştür. Literatürde bu değer 0,1 sn olarak kabul edilmiştir. Fakat bu çalışmada, kısıt 0,1 sn kabul edilmek yerine yapılan ölçümlerden elde edilen gerçek zamanlı değerler olarak ele alınmıştır. Ayrıca röle çalışma zamanı sistemde izin verilen maksimum zaman değerinden küçük olmalıdır. Dolayısıyla sisteme ait ilk kısıt fonksiyonu Denklem 3.13'teki gibi elde edilir.

$$T_{ip} \geq T_{ip}^{min} \quad (3.13)$$

Aşırı akım rölelerinin çalışması esnasında birincil röle (primary relay) operasyon zamanı $T_{(i+1)p}$ ile yedek (back-up relay) operasyon zamanı T_{ip} arasındaki koordinasyonu sağlamak için CTI (koordinasyon zaman aralığı) olarak tanımlanan minimum zaman aralıkları gereklidir. Literatürde, CTI kesici açma hızına ve röle operasyon zamanına bağlı olup 0,1-0,5sn aralıklarında alınabilir denilmiştir (Choudhary and Das 2020). TEDAŞ orta gerilim kesicileri teknik şartnamesi'nde bir kesici bu kriteri 80 ms den az olacak şekilde sağlamalıdır (Anonim 2006). Dolayısıyla bu çalışmada, şebekede kullanılan kesicilerin bu şartı sağlayıp sağlamadığı gerçek zamanlı test edilmiş olup ve şebekedeki her bir kesicinin kutuplarının ayrılma süresi ölçülmüştür. Her bir rölenin operasyon zamanı ve bağlı oldukları kesicilerin açma süreleri ölçülerek CTI değerleri elde edilmiştir. Literatürde bu değer 0,2 sn olarak kabul edilmiştir. Fakat bu çalışmada, kısıt 0,2 sn kabul edilmek yerine yapılan ölçümlerden elde edilen gerçek zamanlı değerler olarak kabul edilmiştir. Dolayısıyla sisteme ait ikinci kısıt fonksiyonu Denklem 3.14'teki gibi elde edilir.

$$T_{(i+1)p} - T_{ip} \geq CTI \quad (3.14)$$

Sisteme ait optimizasyon fonksiyonunda yer alan TMS değerinin alt ve üst sınır değerleri üretici firma tarafından izin verilen ayarlanabilir minimum TMS değeri ve sistem tarafından izin verilen maksimum TMS değeri olarak tanımlanır. Bu çalışmadaki şebekede kullanılan röleler için bu değerler 0,05-0,2 olarak tanımlanmıştır. Sonuç olarak röle koordinasyonu için gerekli olan kısıtlı optimizasyon problemi parametreleri Çizelge 3.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 3.4. Röle Koordinasyonu için tanımlanan optimizasyon parametreleri

Fonksiyon Adı	Maliyet Fonksiyonu	Arama Uzayı	TMS*	r*
Toplam Röle Operasyon Zamanı	$r = \sum_{i=1}^n TMS_i * \partial_{ip}$	[0.05, 0.2]	$[\min TMS]^n$	$\min r$

Çizelge 3.5'deki r denklemin minimizasyonu gerçekleştirileceğinden dolayı bu fonksiyon bir maliyet fonksiyonu olarak ele alınmıştır. TMS^* değerleri olan $TMS_1, \dots, TMS_n$ optimizasyon yöntemi tarafından bulunması gereken değerlerdir. Bu değişkenler karar parametreleri olarak ifade edilir. TMS^* değerleri için arama uzayı $[0.05, 0.2]$ aralığında tanımlanmış olup elde edilen optimum karar parametreleri bu sınırlar içerisinde aranır. n değeri sistemde bulunan röle sayısı olup problem boyutu olarak tanımlanır. Optimizasyonu gerekli olan karar parametresi sayısı n adettir. Kısıtlı optimizasyonda, maliyet fonksiyonu ile birlikte kısıt fonksiyonlarının da minimizasyonu gereklidir. Maliyet fonksiyonu içerisinde kısıt fonksiyonlarının da işletileceği genel bir ifade elde edilmelidir. Genel uygunluk denklemi olarak tanımlanan bu ifade, literatürde en sık Penaltı fonksiyonu metodu ile sağlanmaktadır. Bundan dolayı elde edilen genel denklem Penaltı fonksiyonu olarak isimlendirilir. Penaltı fonksiyonu Çizelge 3.6'da gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Çizelge 3.5. Penaltı fonksiyonu

Amaç fonksiyonu	Kısıt Fonksiyonu (m adet)	Penaltı fonksiyonu
$\min r(\overline{TMS})$	$g(\overline{TMS})_k \leq 0,$ $k = 1, \dots, m$	$r(\overline{TMS})_p = r(\overline{TMS}) + \lambda \sum_{k=1}^m \delta_k \left[g(\overline{TMS})_k \right]^2, \lambda > 0,$ $\begin{cases} \delta_k = 1, \text{ ise kısıtlar sağlanmıyor} \\ \delta_k = 0, \text{ ise kısıtlar sağlanıyor} \end{cases}$ $\lambda : \text{Penaltı katsayısı}$ $\delta_k : \text{Sabit değer (1 veya 0)}$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

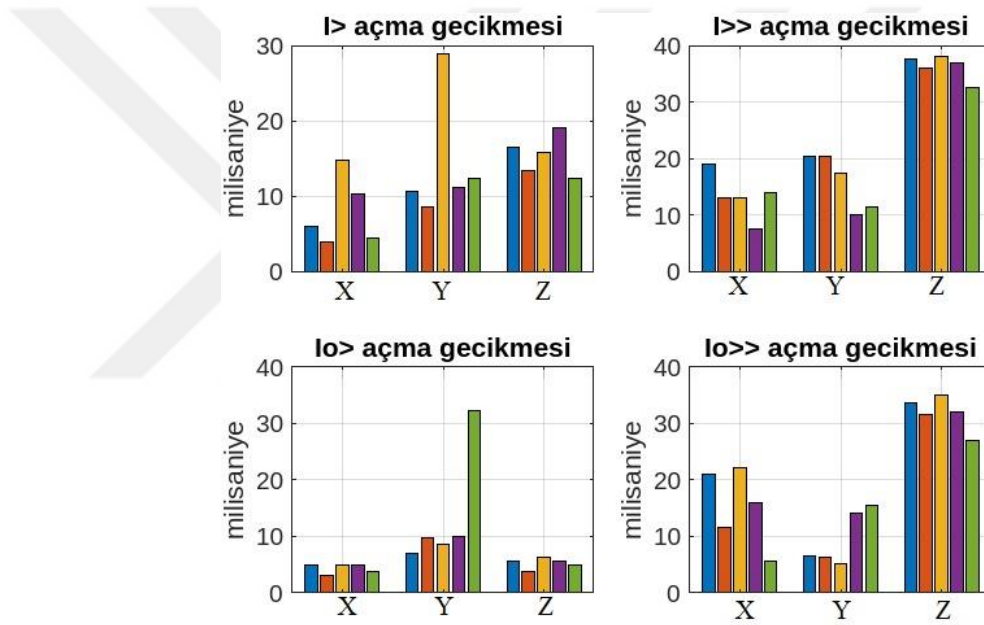
4.1. Röle Açma Zamanı Gecikme Testleri

DeneySEL çalışmaların tamamı Erzurum ilinde yer alan Elektrik Dağıtım Şebekesinde (EDŞ) serviste olan ekipmanların üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada dağıtım sisteminde yaygın olarak kullanılan farklı marka dijital aşırı akım rölelerinin açma zaman gecikmeleri analiz edilmiştir. Dağıtım sisteminin farklı noktalarına konumlandırılmış 3 farklı marka röle ve her marka röleden 5 er adet olmak üzere toplamda 15 adet röle üzerinde testler yapılmıştır. Rölelerin aşırı akım ($I >$), aşırı akım ani ($I >>$), toprak aşırı akım ($I_E >$) ve toprak aşırı akım ani ($I_E >>$) ayar değerleri alındıktan sonra her bir röle için Şekil 4.1'deki gibi ISA T1000 Plus cihazı kullanılarak deney düzeneği hazırlanmıştır.



Şekil 4.1. Röle dijital kontak testi deney sistemi

Her bir ayar değeri için farklı marka rölelerde dijital çıkış kontaklarındaki gecikmeler karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.1 (X marka rölenin kontak gecikmeleri), Çizelge 4.2 (Y marka rölenin kontak gecikmeleri) ve Çizelge 4.3 'de (Z marka rölenin kontak gecikmeleri) görüleceği üzere test edilen rölelerin tamamının dijital kontak gecikmeleri şartnamede belirtilen 40 ms sınır değerinin altındadır. Röle markalarının farklı olması dijital kontak gecikmelerinde de farklılıklara sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi X marka rölenin bütün ayar değerlerinde kontak gecikmelerinin tamamı 25 ms altındadır, Y marka rölenin bütün ayar değerlerinde kontak gecikmelerinin tamamı 35 ms altındadır ve Z marka rölenin bütün ayar değerlerinde kontak gecikmelerinin tamamı 40 ms altındadır.



Şekil 4.2. X, Y, Z marka rölenin farklı ayar değerlerinde kontak gecikmeleri

Röle markalarının farklı olması rölenin kontak gecikmesi performansı üzerinde değişikliklere neden olmaktadır. X marka röle, Y ve Z marka röleye göre daha iyi performans sergilerken Z marka rölenin performansı diğer iki röleye kıyasla daha düşük kalmaktadır. Bu durum, röle koordinasyonunda farklı marka röleler kullanılması durumunda gerekli dijital kontak gecikme testleri yapılarak optimum koordinasyonun sağlanmasının önemini göstermektedir.

Çizelge 4.1. X marka rölenin kontak gecikmeleri

Röle No	$I >$ Açma gecikmesi (ms)	$I >>$ Açma gecikmesi (ms)	$I_E >$ Açma gecikmesi (ms)	$I_E >>$ Açma gecikmesi (ms)
1	6	19	5	21
2	14	13	3	11,5
3	14,82	13	5	22,1
4	10,29	7,5	5	16
5	4,45	14	3,66	5,5

Çizelge 4.2. Y marka rölenin kontak gecikmeleri

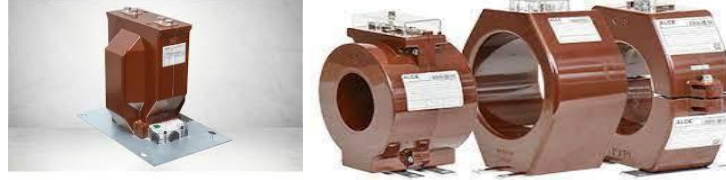
Röle No	$I >$ Açma gecikmesi (ms)	$I >>$ Açma gecikmesi (ms)	$I_E >$ Açma gecikmesi (ms)	$I_E >>$ Açma gecikmesi (ms)
1	10,64	20,5	7	6,5
2	8,58	20,5	9,66	6,32
3	28,9	17,5	8,66	5,13
4	11,24	10	10	14,15
5	12,37	11,5	32,3	13,52

Çizelge 4.3. Z marka rölenin kontak gecikmeleri

Röle No	$I >$ Açma gecikmesi (ms)	$I >>$ Açma gecikmesi (ms)	$I_E >$ Açma gecikmesi (ms)	$I_E >>$ Açma gecikmesi (ms)
1	16,48	37,5	5,6	33,5
2	13,48	36	3,66	31,5
3	15,82	38	6,33	35
4	19,15	37	5,66	32
5	12,3	32,5	5	27

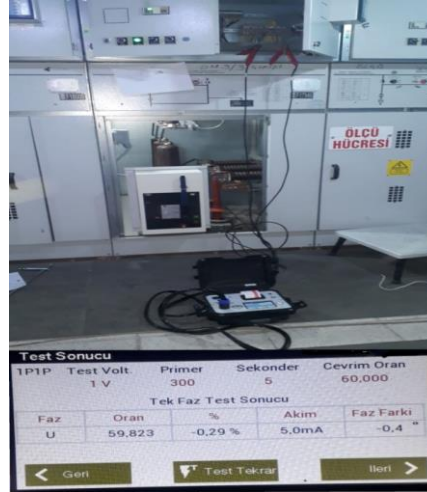
4.2. Akım Trafosu Çevirme Oranı Testleri

Bu bölümde, EDŞ’de yaygın olarak kullanılan 5P doğruluk sınıfına sahip olan Şekil 4.3a’da gösterilen mesnet tipi akım trafoları ile, Şekil 4.3b’de gösterilen toroidal akım trafolarının performansları karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.3. Akım trafosu tipi a) Mesnet b) Toroidal

Toplamda 20 adet mesnet tipi akım trafosu ve 20 adet toroidal akım trafosu olmak üzere 40 adet akım trafosu üzerinde testler yapılmıştır. Akım transformatörlerinin çevirme oranı hatalarının sınır değerlerinin altında olup olmadığını test edebilmek amacıyla her bir trafo için TURA 01 serisi cihazla Şekil 4.4’deki gibi deney sistemi kurulmuştur.



Şekil 4.4. Akım trafosu testi deney sistemi

Çizelge 4.4’te her bir akım trafosuna (20 adet mesnet ve toroidal akım trafosu) ait çevirme hatası ölçüm değerleri verilmiştir. Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi 1, 3, 7, 8 ve 20 nolu trafolarının dışındaki toroidal tipi akım trafolarının performansının ve çevirme oranı

kararlılığının mesnet tipi akım trafolarına kıyasla genel olarak daha iyi olduğu ölçüm sonuçları analizi ile elde edilmiştir.

Çizelge 4.4. Akım trafolarının ölçülen çevirme oranı hataları

Trafo No	Mesnet Tipi Akım Trafosu Çevirme Oranı hatası (%)	Toroidal Tipi Akım Trafosu Çevirme Oranı hatası (%)
1	0,25	0,56
2	0,2	0,14
3	0,49	0,63
4	0,99	0,13
5	0,67	0,51
6	0,67	0,43
7	0,01	0,56
8	0,21	0,62
9	0,66	0,68
10	0,68	0,34
11	0,74	0,58
12	0,61	0,43
13	0,67	0,46
14	1,16	0,56
15	0,97	0,88
16	0,25	0,13
17	1,61	0,46
18	1,61	0,8
19	1,96	0,31
20	0,63	0,72

4.3. Kesici Açma Sürelerinin Testleri

Bu aşamada, çeşitli dağıtım merkezleri içerisinde bulunan aynı marka 20 adet kesicinin gerçek zamanlı açma süreleri ölçülmüştür. Ölçümü yapılan 20 adet kesiciden 10 adeti 2015 yılında üretilmiş olup yaklaşık 8 yılı aşkın süredir dağıtım sisteminde serviste olan kesicilerdir. Diğer 10 adet kesici ise 2017 yılında üretilmiş olup yaklaşık 6 yıldır servistedir. Bakım planı kapsamında bu kesicilerin bulunduğu elektrik dağıtım merkezlerinde kesici açma sürelerinin yönetmelikte belirtilen sınır değerlerinin altında olup olmadığını test edebilmek amacıyla her bir kesici için CIBRE L3 serisi cihazla Şekil 4.5’deki gibi deney sistemi oluşturulmuştur. Markası ve üretim yılına göre kesicilerin açma sürelerinde farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.5. Kesici testi deney sistemi

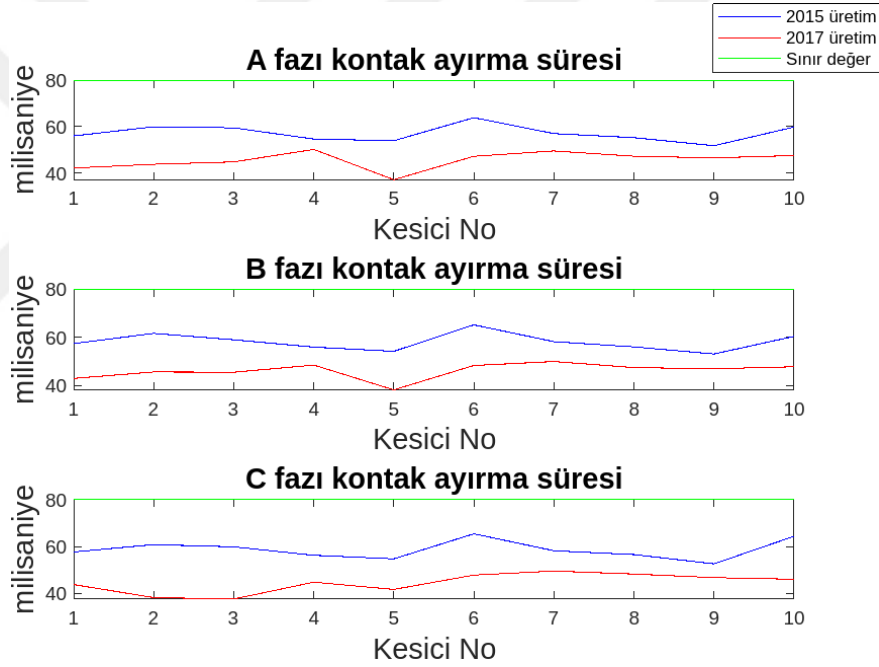
Çizelge 4.5’de 2015 üretim yılı kesicilerin açma süreleri ve Çizelge 4.6’da 2017 üretim yılı kesicilerin açma süreleri olarak gösterilmiştir. Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da görüleceği üzere test edilen kesicilerin tamamının kontaklarını ayırma süreleri yönetmelikte belirtilen 80 ms sınır değerinin altındadır. Fakat kesicilerin markalarının aynı olmasına rağmen üretim yılı 2017 olan kesicilerde açma süresi üretim yılı 2015 olan kesicilerden daha kısadır. Şekil 4.6’da Kesici A fazı, B fazı ve C fazı kontak ayırma süreleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.5. 2015 Üretim yılı kesicilerin açma süreleri

Kesici No	A Fazı Kontak Ayırma Süresi (ms)	B Fazı Kontak Ayırma Süresi (ms)	C Fazı Kontak Ayırma Süresi (ms)
1	55,99	57,43	57,7
2	59,93	61,66	60,82
3	59,47	59	59,89
4	54,64	55,94	56,29
5	53,92	54,2	54,78
6	63,84	65,21	65,41
7	57	58,21	58,21
8	55,25	56,03	56,6
9	51,77	53,09	52,66
10	59,81	60,43	64,36

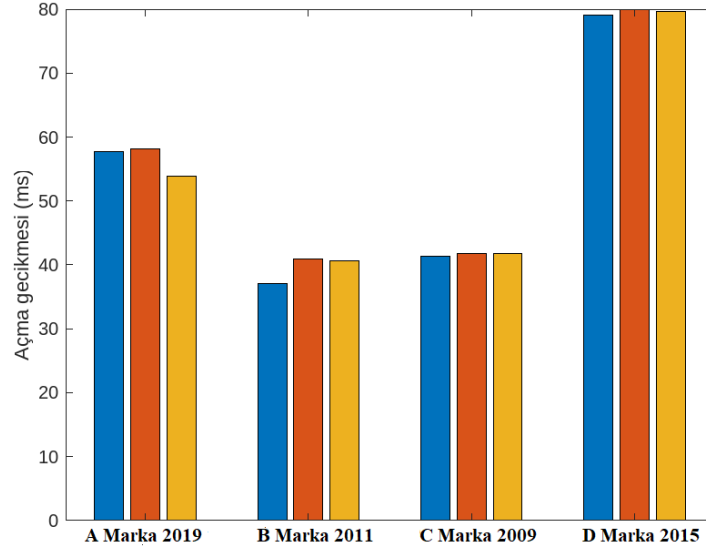
Çizelge 4.6. 2017 Üretim yılı kesicilerin açma süreleri

Kesici No	A Fazı Kontak Ayırma Süresi (ms)	B Fazı Kontak Ayırma Süresi (ms)	C Fazı Kontak Ayırma Süresi (ms)
1	42,15	42,91	43,85
2	43,76	45,59	38,3
3	44,78	45,49	37,69
4	50,17	48,45	44,86
5	37,11	38,13	41,77
6	47,2	48,29	47,88
7	49,51	49,95	49,59
8	47,23	47,42	48,33
9	46,53	46,93	46,8
10	47,51	47,76	46,12



Şekil 4.6. Kesici fazlarına ait kontak ayırma süresi

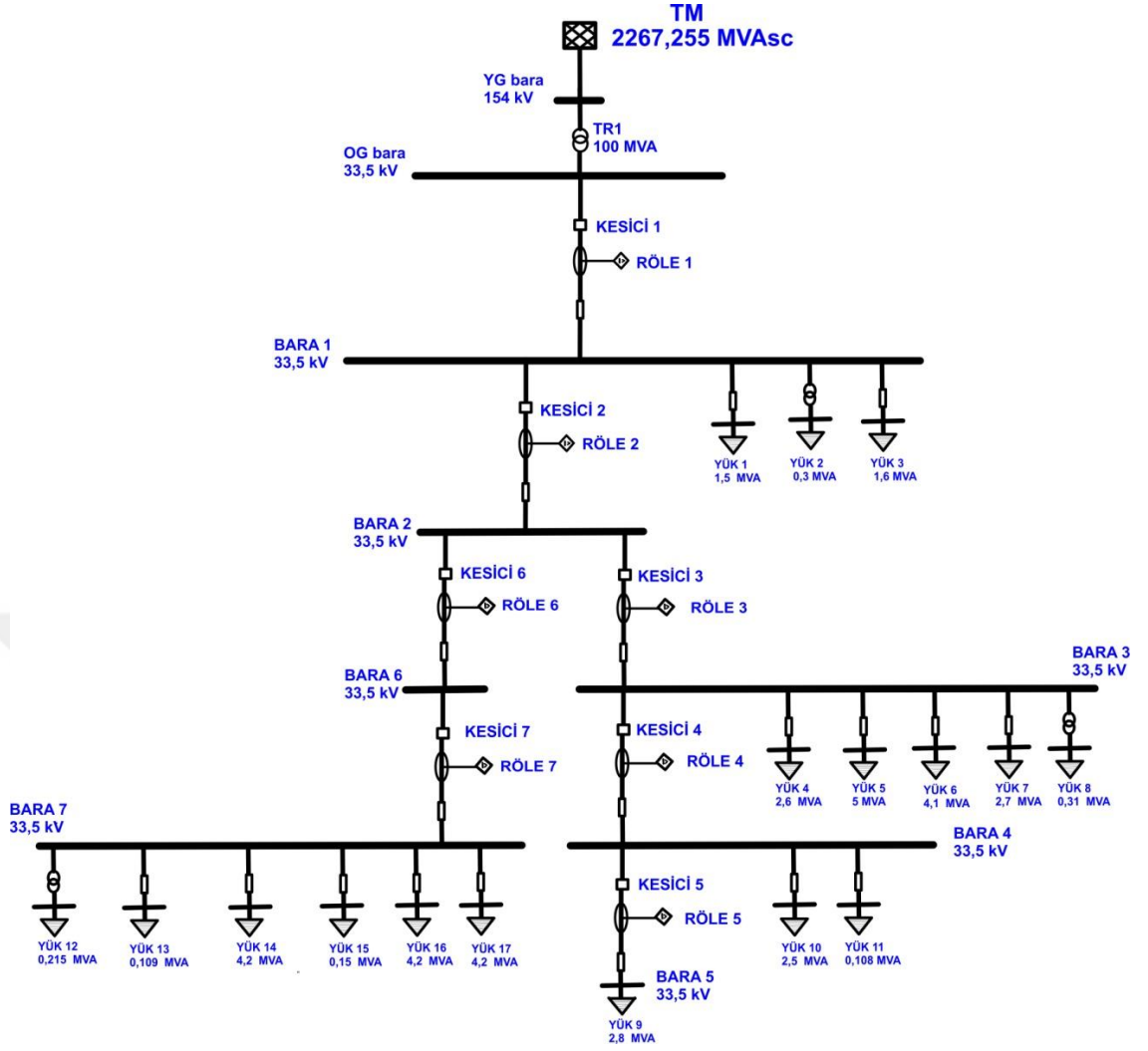
Üretim yılı ve markaları farklı olan kesicilerin açma sürelerine ait elde edilen deneysel verilere ait ekran çıktıları Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Kesicilerin kontaklarını ayırma süreleri yönetmelikte belirtilen 80 ms sınır değerinin altındadır. Şekil 4.7’de görüleceği gibi kesicilere ait farklı markalarının ve üretim yıllarının farklı olması kesicilerin açma sürelerini etkilemiştir.



Şekil 4.7. Marka ve üretim yılı farklı olan kesicilerin karşılaştırılması

4.4. Aşırı Akım Koruma Fonksiyonu İçin Optimum Röle Koordinasyonu

Erzurum ili Elektrik Dağıtım Şebekesinin (EDŞ) belirli bir kısmında kullanılan dijital aşırı akım koruma rölelerinin açma kontaklarının gecikme süreleri, akım trafolarının hata oranları ve SF₆ gazlı kesicilerin açma süreleri ilgili cihazlar ile test edildikten sonra şebekenin bir bölümü Şekil 4.8’de gösterildiği gibi ETAP Demo ile modellenmiş ve 3 faz kısa devre arıza senaryoları oluşturularak simülasyonlar yapılmıştır. Daha sonra test sonuçları ve arıza akım değerleri dikkate alınarak, aşırı akım koruma fonksiyonu ($I >$) için optimum röle koordinasyonu yapılmıştır.



Şekil 4.8. Dağıtım şebekesi ETAP Demo modeli

Şekil 4.8’de tek hat şeması verilen EDŞ’ye ait röle zaman gecikmeleri (T_{ip}^{min}), kesici açma süreleri ve CTI değerleri gerçek zamanlı ölçümlerden elde edilerek Çizelge 4,7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Koordinasyon kısıt tablosu

Röle No	Zaman Gecikmesi (ms)	Kesici No	Açma Gecikmesi (ms)	CTI
Röle 1	-	Kesici 1	-	0,2
Röle 2	12,1	Kesici 2	52,6	64,7
Röle 3	35	Kesici 3	42,3	77,3
Röle 4	38	Kesici 4	58,7	96,7
Röle 5	8	Kesici 5	47,14	55,14
Röle 6	31	Kesici 6	54,6	85,6
Röle 7	30	Kesici 7	46,5	76,5

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şebekeye ait Röle 1 ve Kesici 1 TEİAŞ sorumluluğunda olup ölçüm yapılamadığından Röle 1 için T_{ip}^{min} değeri literatürde kabul görülen 0,1 sn ve CTI değeri literatürde kabul görülen 0,2 sn olarak alınmıştır. Şebekeye ait röle akım ayar değer bilgileri Çizelge 4,8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Röle akım ayar değer tablosu

Röle No	Akım Trafosu Çevirme Oranı	Primer Akım Ayar Değeri (A)	Sekonder Röle Akım Ayar Değeri (A)
Röle 1	600/1	600	1
Röle 2	600/5	600	5
Röle 3	600/5	450	3,75
Röle 4	600/5	300	2,5
Röle 5	300/5	150	2,5
Röle 6	600/5	300	2,5
Röle 7	300/5	150	2,5

Rölelerin karşılaşacağı maksimum arıza akımları (3 faz kısa devre) Çizelge 4,9’da verilmiştir. EDŞ’ye ait baralarda meydana gelebilecek 3 faz kısa devre arızası durumunda röle akım değerleri ve ∂i sabit değerlerini Çizelge 4,10’daki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 4.9. 3 Faz kısa devre arıza akımları

Arıza Noktası	3 Faz Bara Kısa Devre Arıza Akım Değeri (kA)						
	Bara1	Bara2	Bara3	Bara4	Bara5	Bara6	Bara7
Bara 1	14,832	-	-	-	-	-	-
Bara 2	12,498	12,504	-	-	-	-	-
Bara 3	8,957	8,989	8,989	-	-	-	-
Bara 4	7,950	7,950	7,950	8,140	-	-	-
Bara 5	5,700	5,719	5,700	5,850	5,860	-	-
Bara 6	8,898	8,899	-	-	-	8,929	-
Bara 7	7,218	7,219	-	-	-	7,350	7,350

Çizelge 4.10. 3 faz kısa devre arızasında röle akımı ve sabit değerler

Arıza Noktası	3 Faz Kısa Devre Arızası	Röle						
		1	2	3	4	5	6	7
Bara 1	Röle Akımı	24,72	-	-	-	-	-	-
	∂i	2,1131	-	-	-	-	-	-
Bara 2	Röle Akımı	104.15	104,2	-	-	-	-	-
	∂i	2,2361	2,0363	-	-	-	-	-
Bara 3	Röle Akımı	14,9283	74,9083	74,9083	-	-	-	-
	∂i	2,5201	2,5167	2,2683	-	-	-	-
Bara 4	Röle Akımı	13,25	66,25	66,25	67,8333	-	-	-
	∂i	2,6396	2,6396	2,3683	2,0515	-	-	-
Bara 5	Röle Akımı	9,5	47,6583	47,5	48,75	97,6667	-	-
	∂i	3,0399	3,0353	2,6876	2,2873	1,8407	-	-
Bara 6	Röle Akımı	14,83	74,1583	-	-	-	74,408	-
	∂i	2,5231	2,5264	-	-	-	1,9937	-
Bara 7	Röle Akımı	12,03	60,1583	-	-	-	61,25	122,5
	∂i	2,7448	2,7446	-	-	-	2,1192	1,7296

Çizelge 4.10'daki veriler dikkate alınarak, minimize edilecek röle koordinasyonuna ait amaç fonksiyonu Denklem 4.1-4.3'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

$$r = \sum_{i=1}^n TMS_i * \partial_{ip} \quad (4.1)$$

$$r = \sum_{i=1}^n x_i * \partial_{ip} \quad (4.2)$$

$$r = 17,8167x_1 + 15,4989x_2 + 6,9043x_3 + 4,3388x_4 + 1,8406x_5 + 4,1129x_6 + 1,7296x_7 \quad (4.3)$$

$$x_1 = 0,2 \text{ ise,}$$

$$r = 3,5633 + 15,4989x_2 + 6,9043x_3 + 4,3388x_4 + 1,8406x_5 + 4,1129x_6 + 1,7296x_7 \quad (4.3)$$

şeklinde elde edilmiştir.

Çizelge 4.7'deki veriler dikkate alınarak, röle çalışma zaman (T_{ip}^{min}) kısıtları;

$$g_1 = 2,1131x_1 \geq 0,1 \quad (4.4)$$

$$g_2 = 2,0363x_2 \geq 0,0121 \quad (4.5)$$

$$g_3 = 2,2683x_3 \geq 0,0350 \quad (4.6)$$

$$g_4 = 2,0515x_4 \geq 0,0380 \quad (4.7)$$

$$g_5 = 1,8407x_5 \geq 0,008 \quad (4.8)$$

$$g_6 = 2,1192x_6 \geq 0,0310 \quad (4.9)$$

$$g_7 = 1,7296x_7 \geq 0,0300 \quad (4.10)$$

şeklinde elde edilmiştir.

Çizelge 4.7'deki veriler dikkate alınarak, CTI kısıtları;

$$g_8 = 2,2873x_4 - 1,8407x_5 \geq 0,05514 \quad (4.11)$$

$$g_9 = 2,2678x_3 - 2,2873x_4 \geq 0,0967 \quad (4.12)$$

$$g_{10} = 3,0353x_2 - 2,2678x_3 \geq 0,0773 \quad (4.13)$$

$$g_{11} = 3,0399x_1 - 3,0353x_2 \geq 0,0647 \quad (4.14)$$

$$g_{12} = 2,3682x_3 - 2,0515x_4 \geq 0,0967 \quad (4.15)$$

$$g_{13} = 2,6396x_2 - 2,3682x_3 \geq 0,0773 \quad (4.16)$$

$$g_{14} = 2,6396x_1 - 2,6396x_2 \geq 0,0647 \quad (4.17)$$

$$g_{15} = 2,5167x_2 - 2,2683x_3 \geq 0,0773 \quad (4.18)$$

$$g_{16} = 2,5201x_1 - 2,5167x_2 \geq 0,0647 \quad (4.19)$$

$$g_{17} = 2,2361x_1 - 2,0363x_2 \geq 0,0647 \quad (4.20)$$

$$g_{18} = 2,1192x_6 - 1,7296x_7 \geq 0,0765 \quad (4.21)$$

$$g_{19} = 2,7446x_2 - 2,1192x_6 \geq 0,0856 \quad (4.22)$$

$$g_{20} = 2,7448x_1 - 2,7446x_2 \geq 0,0647 \quad (4.23)$$

$$g_{21} = 2,5264x_2 - 1,9937x_6 \geq 0,0856 \quad (4.24)$$

$$g_{22} = 2,5231x_1 - 2,5264x_2 \geq 0,0647 \quad (4.25)$$

şeklinde elde edilmiştir.

Sisteme ait *TMS* kısıtları $[0.05, 0.2]$ aralığında olup, optimizasyon problemine ait uzay sınırlamaları;

$$x_1 = 0,5 \quad (4.27)$$

$$0,05 \leq x_2 \leq 0,2 \quad (4.28)$$

$$0,05 \leq x_3 \leq 0,2 \quad (4.29)$$

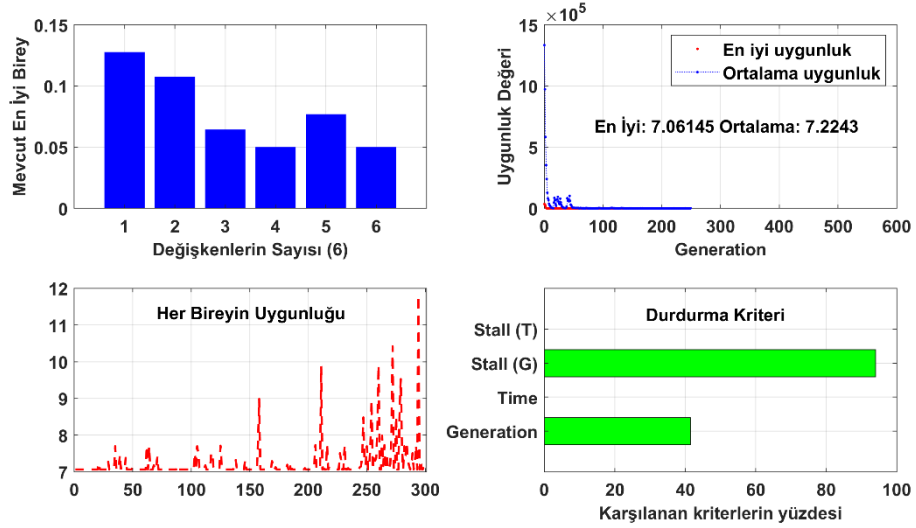
$$0,05 \leq x_4 \leq 0,2 \quad (4.30)$$

$$0,05 \leq x_5 \leq 0,2 \quad (4.31)$$

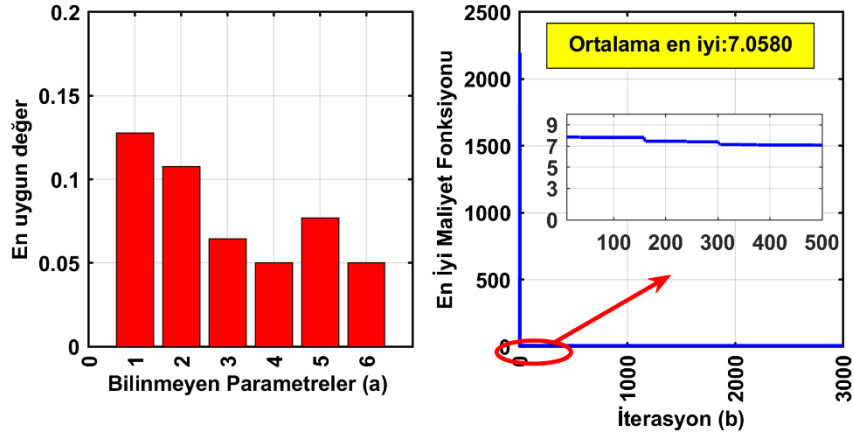
$$0,05 \leq x_6 \leq 0,2 \quad (4.32)$$

$$0,05 \leq x_7 \leq 0,2 \quad (4.33)$$

şeklinde elde edilir. Optimizasyonu yapılacak röle ayar koordinasyonu için elde edilen amaç fonksiyonu, kısıt fonksiyonları ve uzay sınırlamaları tanımlandıktan sonra optimum *TMS* değerleri sırasıyla ilk olarak metasezgisel metotlardan olan genetik optimizasyon algoritması ile elde edilmiştir. Şekil 4.9.'da GA ile elde edilen çözüm görülmektedir. Daha sonra metasezgisel algoritmalarından olan Aslan Karınca Optimizasyonu (ALO), Salp Sürü Optimizasyonu (SSA), Çember Arama Algoritması (CSA), Bal Porsuğu Algoritması (HBA) ve Balina Optimizasyon Algoritması (WOA) yöntemleri ile maliyet fonksiyonunun minimizasyon problemi hesaplanmıştır. Her bir metasezgisel yöntemde 3.000 iterasyon sayısı, popülasyon veya ajan sayısı ise 100 olarak ele alınmıştır. Her bir metasezgisel algoritmadan elde edilen çözümler 10 koşu olacak şekilde tekrarlanmıştır. Dolayısıyla 10 koşu ortalama değerlerine ait grafikler elde edilmiştir. ALO tabanlı çözüme ait veriler Şekil 4.10'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

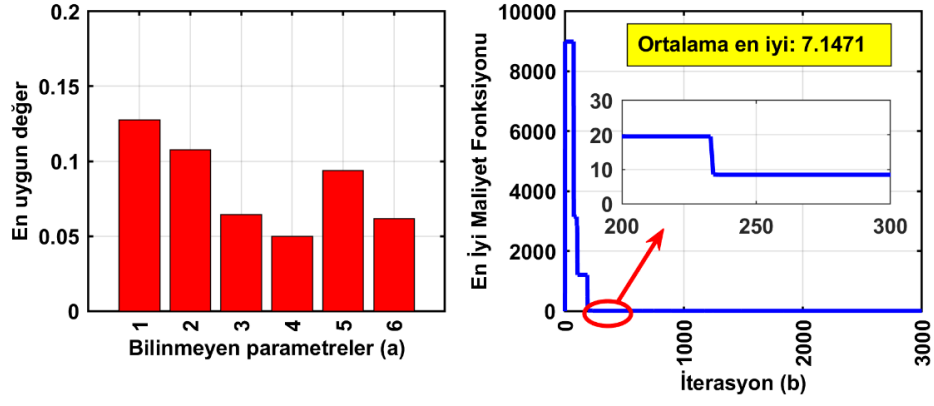


Şekil 4.9. GA ile elde edilen çözüm

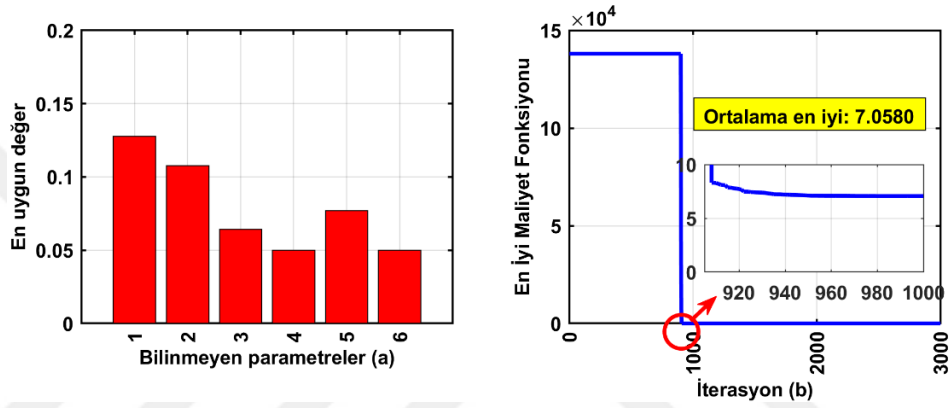


Şekil 4.10. ALO ile elde edilen çözüm

ALO tabanlı çözüme ait ortalama en iyi elde edilen çözüme ve iterasyon sayısına göre ortalama maliyet fonksiyonunun minimum değere yakınsamasına ait görseller yukarıda sırasıyla Şekil 4.10(a) ve (b)'de verilmiştir. SSA tabanlı çözüme ait ortalama en iyi elde edilen çözüm ve iterasyon sayısına göre ortalama maliyet fonksiyonunun minimum değere yakınsamasına ait veriler sırasıyla Şekil 4.11(a) ve (b)'de verilmiştir. CSA tabanlı çözüme ait ortalama en iyi elde edilen çözüm ve iterasyon sayısına göre ortalama maliyet fonksiyonunun minimum değere yakınsamasına ait veriler sırasıyla Şekil 4.12(a) ve (b)'de verilmiştir.

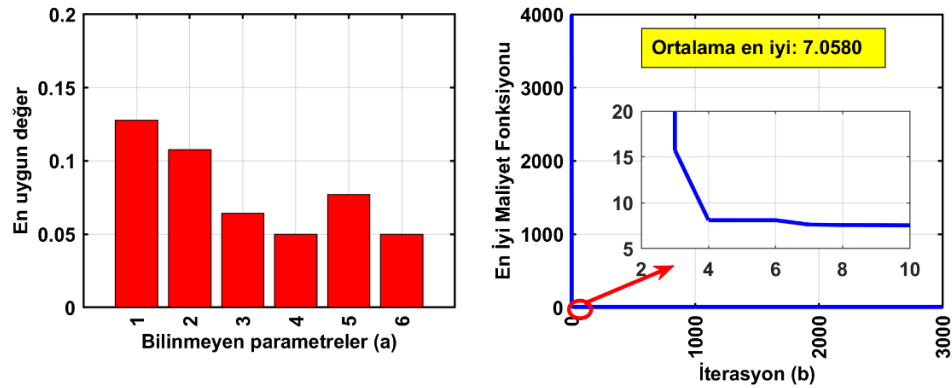


Şekil 4.11. SSA ile elde edilen çözüm

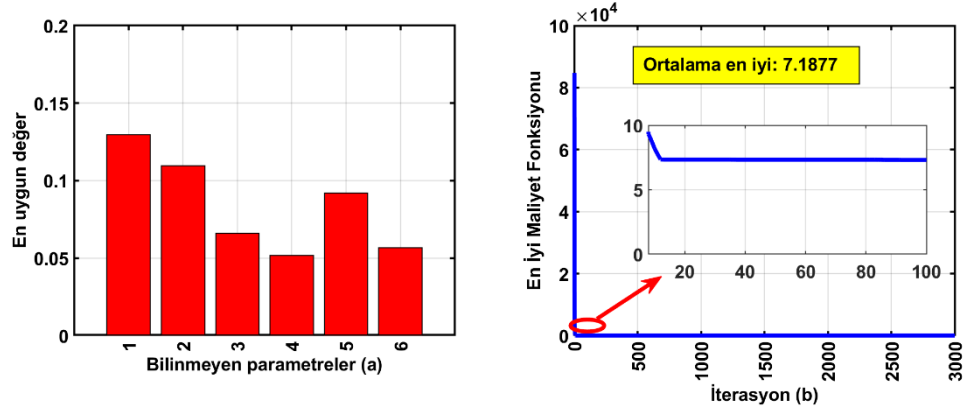


Şekil 4.12. CSA ile elde edilen çözüm

HBA tabanlı çözüme ait ortalama en iyi elde edilen çözüm ve iterasyon sayısına göre ortalama maliyet fonksiyonunun minimum değere yakınsamasına ait veriler sırasıyla Şekil 4.13(a) ve (b)'de verilmiştir. WOA tabanlı çözüme ait ortalama en iyi elde edilen çözüm ve iterasyon sayısına göre ortalama maliyet fonksiyonunun minimum değere yakınsamasına ait veriler sırasıyla Şekil 4.14(a) ve (b)'de verilmiştir.



Şekil 4.13. HBA ile elde edilen çözüm



Şekil 4.14. WOA ile elde edilen çözüm

Sonuç olarak, elde edilen optimum TMS değerleri ve maliyet fonksiyonunun minimum değeri (toplam röle operasyon zamanı) her bir metasezgisel tabanlı optimizasyon yöntemleri göz önünde bulundurularak Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Optimum TMS değerleri ve amaç fonksiyonu

	TMS_1	TMS_2	TMS_3	TMS_4	TMS_5	TMS_6	TMS_7	Ort. Min r	Ort Süre (sn)
GA	0,2	0.1277	0.1076	0.0644	0.0500	0.0770	0.0500	7.2243	15.4150
ALO	0,2	0.1276	0.1075	0.0643	0.0500	0.0769	0.0500	7.0580	152.4683
SSA	0,2	0.1276	0.1075	0.0643	0.0500	0.09370	0.0616	7.1471	3.0250
CSA	0,2	0.1276	0.1075	0.0643	0.0500	0.0769	0.0500	7.0580	1.9845
HBA	0,2	0.1276	0.1075	0.0643	0.0500	0.0769	0.0500	7.0580	2.8804
WOA	0,2	0.1297	0.1095	0.0659	0.0519	0.0921	0.0568	7.1877	3.9996

Sonuç olarak test edilen algoritmaların içinde CSA tabanlı optimizasyon yöntemi hem hesaplama süresinin az olması hem de maliyet fonksiyonunu minimuma yakınsadığından dolayı en iyi performansı vermiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

EDŞ’de röle koordinasyonu yapılırken birçok kriter göz önünde bulundurulmalıdır. Bunların en önemlileri rölelerin açma kontaklarının gecikme süresi, akım trafolarının hata oranları ve kesicilerin açma süresi şeklinde sıralanabilir. Bu çalışmada, Erzurum ilinde EDŞ’de yaygın olarak kullanılan dijital aşırı akım koruma rölelerinin, akım trafolarının ve SF₆ gazlı kesicilerin gerçek zamanlı testleri yapılarak, hatalı ölçümlerin aşırı akım röle koordinasyonu üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Öncelikle incelenen şebekede yaygın olarak kullanılan 3 farklı marka dijital röle ve her bir marka röleden 5 er adet olmak üzere toplamda 15 adet rölenin farklı koruma fonksiyonlarında açma kontaklarının gecikme süreleri test edilmiştir. Test sonuçlarına göre röle markaları farklı olması röle kontak gecikme sürelerinin farklı olması anlamına gelmektedir. İkinci aşamada, şebekede yaygın olarak kullanılan mesnet ve toroidal tipi akım trafolarının çevirme oranları hatalarının gerçek zamanlı testleri yapılarak performansları karşılaştırılmış ve röle koordinasyonu üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Toroidal tipi akım transformatörlerinin çevirme oranı hatasının daha düşük olduğu ve dağıtım şebekelerinde mesnet akım trafoları yerine toroidal tipi akım trafolarının kullanılmasının faydalı olacağı gözlemlenmiştir. Üçüncü aşamada çeşitli dağıtım merkezlerinde bulunan kesicilerin gerçek zamanlı açma süreleri ölçülmüştür. Kesicilerin üretim yılının ve markalarının farklı olmasının açma gecikmelerinin farklı olması anlamına gelmektedir.

Elde edilen test sonuçları ışığında Erzurum ilindeki EDŞ’de testlerin yapıldığı bölgenin bir kısmı elektrik güç sistemi analiz ve işletme yazılımı olan ETAP Demo kullanılarak modellenmiştir. Normal işletme koşullarında radyal şebeke düzeninde çalışan EDŞ’ye ait aşırı akım röle koordinasyonu kısıtlı bir optimizasyon problemi olarak ele alınmış olup gerçek zamanlı veriler kullanılarak problem kısıtları belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmada test sonuçlarının aşırı akım röle fonksiyonları üzerindeki etkileri de analiz edilmiştir. Arzu edilirse, ring şebekeler üzerinde kullanılan farklı röle koruma fonksiyonlarında ve farklı senaryolar için de bu çalışma uygulanabilir. Elektrik güç sistemi analiz ve işletme yazılımı olan ETAP Demo ile elde edilen EDŞ’ye ait modelde, 3 faz kısa devre arıza senaryoları oluşturularak rölelerin karşılaşacağı maksimum arıza akımları tespit edilmiştir. Arıza akımı verileri kullanılarak optimizasyon algoritmaları ile

sistemde çalıştırılan rölelerin aşırı akım ($I >$) koruma fonksiyonu için toplam operasyon zamanı optimize edilmiştir. Bu doğrultuda, metasegizsel optimisasyon algoritmalarından olan Genetik Algoritma (GA), Karınca Aslanı Optimizasyonu (ALO), Balina Optimizasyon Algoritması (WOA), Salp Sürü Optimizasyonu (SSA), Çember Arama Algoritması (CSA) ve Bal Porsuğu Algoritması (HBA) yöntemleri kullanılmıştır. Kullanılan optimizasyon algoritmalarının minimum röle operasyon zamanını elde etme performansları ve algoritmaların sonuç verme süreleri ve en iyi çözüm kümesi karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak CSA optimizasyon algoritmasının yukarıdaki göz önüne alına kriterlere göre en iyi performansı verdiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, optimum röle koordinasyonu problemi kısıtları belirlerken literatürde kabul görülen 0,1 sn röle kontak gecikmeleri ve 0,2 sn CTI değerleri yerine EDŞ'nin gerçek zamanlı işletme koşullarındaki röle kontak gecikmeleri ve testlerle elde edilen CTI değerleri dikkate alınmıştır. Buna ilave olarak, şebeke elemanlarının gerçek zamanlı test sonuçları dikkate alınarak simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. EDŞ'nin herhangi bir noktasında meydana gelecek arıza en yakın noktadaki röle tarafından şebekeden izole edilerek minimum bölgenin enerjisiz kalması hedeflenmiştir. Ayrıca bu çalışma ilave röle koordinasyonu sağlayarak şebekede daha fazla noktada koruma yapılmasına imkân verebilecektir. Gerçekleştirilen bu test ve simülasyon çalışmaları; sahada mevcut kullanılan rölelere ait aşırı akım röle koruma fonksiyonu ayarlarında birtakım hataları tespit edip, doğru röle koordinasyonu sağlamak açısından oldukça önemlidir. EDŞ'ye ilave tesisler yapıldığında ve şebeke yenilemelerinde bu çalışmada ele alınan kriterler göz önünde bulundurulduğunda enerjinin sürekliliği ve maliyet açısından önemli kazanımlar elde edilecektir.

KAYNAKLAR

- Acharya, D. ve Das, D. K. 2022. An efficient optimizer for optimal overcurrent relay coordination in power distribution system. Expert Systems with Applications, Elsevier, 199, 1-15.
- Akdağ, O. ve Yeroğlu, C. 2019. Güç sistemlerinde aşırı akım koruma koordinasyon modelinin oluşturulması, benzetimi ve optimizasyonu. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(1), 202-214.
- Alasalı, F., Saidi, A. S., El-Naily, N., Alnaser, S. W. Holderbaum, W., Saad, S. M. ve Gamaleldin, M. 2022. Advanced coordination method for overcurrent protection relays using new hybrid and dynamic tripping characteristics for microgrid, IEEE Access, 10, 127377-127396.
- Al-Nujaimi, A., Al-Muhanna, A. ve Zerguine, A. 2017. Digital Signal Processing Effect on Power System Overcurrent Protection Relay Behavior and Operation Time, 2017 9th IEEE-GCC Conference and Exhibition, IEEE, 8-11 May, 1-5, Manama, Bahrain.
- Anonim, 2006. Web Sitesi: https://www.tedas.gov.tr/sx.web.docs/tedas/tedas_arge/docs/sartnameler/tedas_arge/TEDA%C5%9E-MLZ-95-008.A%20ORTA%20GER%C4%B0L%C4%B0M%20KES%C4%B0C%C4%B0LER%C4%B0.pdf, Erişim Tarihi: 08.11.2022.
- Anonim, 2007. Web Sitesi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/07/20070716-2.htm>, Erişim Tarihi: 06.12.2022.
- Anonim, 2020a. Web Sitesi: <https://www.elkoelektrik.com.tr/sartnameler/sekonder%20role/sekonder%20role.pdf>, Erişim Tarihi: 12.01.2023.
- Anonim, 2020b. Web Sitesi: https://www.tedas.gov.tr/sx.web.docs/tedas/tedas_arge/docs/sartnameler/tedas_arge/TEDA%C5%9E-MLZ%2096-027.C%20Sekonder%20R%C3%B6leler%20Teknik%20%C5%9Eartnamesi%20-%20Final.pdf, Erişim Tarihi: 05.11.2022.
- Anonim, 2023a. Web Sitesi: https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/cenk.gezegin/69869/ELK_DA%C4%9EITIMI_H4_KESiCiLER_VE_AYIRICILAR.pdf, Erişim Tarihi: 12.01.2023.
- Anonim, 2023b. Web Sitesi: <https://readgur.com/doc/681789/sf6-kesici-kullanma-k%C4%B1lavuzu>, Erişim Tarihi: 29.08.2023.
- Anonymous, 2022, 2023. Web Sitesi: https://www.rza.by/upload/iblock/058/Easergy%20P3Ux0_User%20Manual_P3_U_EN_M_B001_26-10-2017.pdf, Erişim Tarihi: 05.01.2023.

- Anonymous, 2020a. Web Sitesi: <https://www.altanova-group.com/public-downloads?download=1212:t1000-plus-specification>, Erişim Tarihi: 06.12.2022.
- Anonymous, 2023a. Web Sitesi: <http://doctord.dyndns.org/Courses/BEI/ECE477/LectureNotes/Lecture-1.pdf>, Erişim Tarihi: 02.01.2023.
- Anonymous, 2023b. Web Sitesi: <https://www.allumiax.com/blog/advantages-of-numerical-relays-over-electromechanical-relays#:~:text=Electromechanical%20relays%20are%20larger%20while,hardware%20is%20required%20for%20it.>, Erişim Tarihi: 06.01.2023.
- Anonymous, 2023c. Web Sitesi: <https://forumautomation.com/t/overcurrent-relays-basics-function-types-of-overcurrent-relay/5828>, Erişim Tarihi: 10.01.2023.
- Anonymous, 2023d. Web Sitesi: <http://doctord.dyndns.org/Courses/BEI/ECE477/LectureNotes/Lecture-5.pdf>, Erişim Tarihi: 13.01.2023.
- Anonymous, 2023e. Web Sitesi: <https://electrical-engineering-portal.com/iec-nema-ieee-ratings-current-transformers-cts#iec-ratings-current-transformer>, Erişim Tarihi: 14.01.2023.
- Anonymous, 2023f. Web Sitesi: <https://dilo.com/sf6-gas/useful-information-sf6/properties>, Erişim Tarihi: 29.08.2023.
- Anonymous, 2023g. Web Sitesi: <https://www.hightest.co.uk/product/tura-01-single-phase-transformer-turns-ratio-tester/>, Erişim Tarihi: 30.12.2022.
- Anonymous, 2023h. Web Sitesi: <https://www.hightest.co.uk/product/cibre-l3-3-contact-circuit-breaker-timer-with-built-in-printer/>, Erişim Tarihi: 30.12.2022.
- Atteya, A. I., El Zonkoly, A. M. ve Ashour, H. A. 2017. Optimal Relay Coordination of an Adaptive Protection Scheme using Modified PSO Algorithm, 2017 Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 19-21 December, 689-694, Cairo, Egypt.
- Atsever, M. B. ve Hocaoglu, M. H. 2022. Aşırı akım rle koordinasyonu için bozkurt algoritmasının kapsamlı performans analizi. Trk Mhendislik Araştırma ve Eėitimi Dergisi, 1(2), 52-61.
- Barranco-Carlos, A., Orozco-Henao, C., Marín-Quintero, J., Mora-Flrez, J. ve Herrera-Orozco, A. 2023. Adaptive protection for active distribution networks: An approach based on fuses and relays with multiple setting groups. IEEE Access, 11, 31075-31091.
- Bawayan, H. ve Younis, M. 2021. Microgrid protection through adaptive overcurrent relay coordination. Electricity, 2, 524–553.

- Biswas, S., Saluja, J., Roy, S., ve Swathika, O. V. G. 2018. Labview Based Optimum Overcurrent Relay Coordination in Distribution Network, 2018 3rd International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT), IEEE, 15-16 November, 870–875, Coimbatore, India.
- Choudhary, P. K ve Das D. K. 2020. Optimal Coordination of Over-current Relay Using Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm, 2020 IEEE Applied Signal Processing Conference (ASPCON), IEEE, 7-9 October, 308-312, Kolkata, India.
- Çimen, H., Akkan, R. ve Yabanova. İ. 2019. Simulation of relay coordination by labview and the effect of relay coordination on cost. Materials Science and Engineering, 533(1), 1-8.
- Çalışkan, F., Yüksel, H. ve Dayık, M. 2016. Genetik algoritmaların tasarım sürecinde kullanılması. SDU Teknik Bilimler Dergisi, 6(2), 21-27.
- 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, Elsevier, (158), 267–274.
- ElSamahy, M. G. A., Beshr, E. ve Bahrawy, K. E. 2023. Optimal Overcurrent Relay Coordination For Small Scale Microgrid, 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 16-18 March, 1-6, Moscow, Russian.
- Evkay, İ., Baysal, M. ve Selamoğulları, U. S. 2022. Dağıtık üretime sahip şebekelerde yük karakteristiklerinin koruma sistemi üzerine etkisinin incelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (33), 236-243.
- Farkhani, J. S., Zareein, M., Soroushmehr, H. ve SIEEE, H. M. 2019. Coordination of Directional Overcurrent Protection Relay for Distribution Network With Embedded DG, 2019 5th Conference on Knowledge Based Engineering and Innovation (KBEI), IEEE, 28 February - 1 March, 281-286, Tehran, Iran.
- Ferrari M., Smith, T., Shepard, N., Sundararajan, A., Herron, D., Piesciorovsky, E., Snyder, I., Ollis, B., Hambrick, J., Sticht, C. ve Marshall, M. 2023. Real-Time Model-Adaptive Relaying Applied to Microgrid Protection, IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), 16-19 January, 1-5, Washington, DC, USA.
- Garzon, R. D. 1997. High Voltage Circuit Breakers Design and Applications. Marcel Dekker, Inca, 365, New York.
- Hashim, F. A., Houssein, E. H., Hussain, K., Mabrouk, M. S. ve Al-Atabany, W. 2022. Honey badger algorithm: New metaheuristic algorithm for solving optimization problems. Mathematics and Computers in Simulation, Elsevier, 192, 84-110.
- IEC 61869-2, 2012. Instrument Transformers—Additional Requirements for Current Transformers, IEC: Geneva, Switzerland.

- Issabekov, D. D. 2022. Multipurpose Power System Protection Set that Provides Constant Remote Serviceability Control, 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 16-20 May 2022, 35-39. Sochi, Russian Federation.
- Jena, S., Bhalja, B. R. ve Malik, O. P. 2021. Algorithm to prevent breaker-failure protection maloperation due to subsidence current. IEEE Transactions on Industry Applications, 57(4), 3487–3499.
- Jhanwar, V. ve Pradhan, A. K. 2008. Accurate Overcurrent Relay Algorithm using Fundamental Component, 2008 Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference (POWERCON), IEEE, 12-15 September, New Delhi, India
- Kaczmarek, M., Szczęsny, A. ve Stano, E. 2022. Operation of the electronic current transformer for transformation of distorted current higher harmonics. Energies, 15(12), 1-10.
- Karaboğa, D. 2004. Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları. Atlas Yayın Dağıtım, 199, İstanbul.
- Korkmaz, S. 2019. İkili optimizasyon problemlerinin çözümü için yapay alg algoritması tabanlı yeni yaklaşımlar. Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, 132, Konya.
- Matthews, R. C., Patel, T. R., Summers, A. K. ve Reno, M. J. 2022. A Graph Theory Approach for Placing Overcurrent Relays and Reclosers for Economical Protection of Meshed Transmission Networks, 2022 North American Power Symposium (NAPS), 09-11 October, 1-6, Salt Lake City, UT, USA.
- Meskin, M. ve Grinberg, I. 2019. The Effect of Network Reduction on Overcurrent Relay Coordination in Interconnected Power Networks, 2019 Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE), IEEE, 5-8 May, 1-6, Edmonton, AB, Canada.
- Mirjalili, S. 2015. The ant lion optimizer. Advances in Engineering Software, Elsevier, 83, 80-98.
- Mirjalili, S. ve Lewis, A. 2016. The whale optimization algorithm. Advances in Engineering Software, Elsevier, 95, 51-67.
- Mirjalili, S., Gandomi, A. H., Mirjalili, S. Z., Saremi, S., Faris, H. ve Mirjalili, S. M. 2017. Salp swarm algorithm: a bio-inspired optimizer for engineering design problems. Advances in Engineering Software, Elsevier, 114, 163-191.
- Naresh, P. ve Reddy H. R, S. 2020. Optimal over current relay coordination of IEEE 9 bus system using mipower. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 8(5), 1481-1485.

- Nasibullin, A. T. ve Panova, E. A. 2021. Evaluation of the Effectiveness of the Use of Adaptive Algorithms for Relay Protection of a Large Industrial Substation, 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 24-26 September 2021, 552-555, Magnitogorsk, Russian Federation.
- Nayanatara, C., Shanmugapriya, P., Baskaran, J. ve Sharmila, P. 2020. Overcurrent and earth fault relay coordination for microgrid with numerical relay features. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), 9(3), 1626-1630.
- Obire, P., Idoniboyeobu, D. C. ve Braide, S. L. 2022. Protective relay coordination in an injection substation using short circuit analysis. International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM), 4(8), 753-763.
- Oğuz, E., Ateş, Y. ve Hekimoğlu, M. M. 2019. Yeni nesil elektrik dağıtım şebekeleri için çok fonksiyonlu dijital aşırı akım rölesi tasarımı ve geliştirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (16), 915-924.
- Oussama, M., Mohamed, B., Hamza, B., Aissa, K., Ahmed, E. ve Rafik, B. 2023. An optimal coordination of directional overcurrent relays using a Gorilla troops optimizer, 2023 International Conference on Advances in Electronics, Control and Communication Systems (ICAEECS), 06-07 March, 1-5, Blida, Algeria.
- Paithankar, Y. G. ve Bhide, S. R. 2003. Fundamentals of Power System Protection, Prentice-Hall of India Pvt.Ltd, 287, Connaught Place, New Delhi.
- Qais, M. H., Hasanien, H. M., Turkey, R. A., Alghuwainem, S., Tostado-Véliz, M. ve Jurado, F. 2022. Circle search algorithm: a geometry-based metaheuristic optimization algorithm. Mathematics, 10(10), 1-27.
- Rebizant, W., Szafran, J. ve Wiszniewski, A. 2011. Digital signal processing in power system protection and control, Springer, 316, London.
- Rahmania, Z.S., Syafa'ah, L., Pakaya, I. ve Zulfatman. 2018. Optimization of Overcurrent Relay Coordination using Cuckoo Search Algorithm in Electronic Induction Systems, The 2nd International Conference on Engineering and Applied Technology, 9–10 October, 1-9, Aceh, Indonesia
- Rojnić, M., Prenc, R., Topić, D. ve Saulig, N. 2023. Overcurrent relay optimization in a radial distribution network considering different fault locations. Electrical Engineering, Springer, 105(2), 1093–1109.
- Soria, A. O., Enríquez, A. C. ve Guajardo, L. A. T. 2014. Overcurrent relay with unconventional curves and its application in industrial power systems, Electric Power Systems Research, 110, 113–121.
- Summers, A. K., Matthews, R. C., Patel, T. ve Reno, M. J. 2021. Power System Protection Parameter Sensitivity Analysis with Integrated Inverter Based Resources, IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 20-25 June 2021, 2339-2344, Fort Lauderdale, FL, USA.

- Swathika, O. V. G. ve Hemapala, K. T. M. U. 2019. Optimized Overcurrent Relay Coordination in a Microgrid System, International Conference on Sustainable Computing in Science, Technology & Management (SUSCOM-2019), 26-28 February, 151-155, Jaipur, India.
- Tleis, N. 2007. Power systems modelling and fault analysis: theory and practice. Academic Press, Elsevier, 940, London.
- Tiwari, R., Singh, R. K. ve Choudhary, N. K. 2022. Coordination of dual setting overcurrent relays in microgrid with optimally determined relay characteristics for dual operating modes. Protection and Control of Modern Power Systems, Springer, 7(6), 1-18.
- Turan, M. T. 2014. Akıllı şebekelerde arıza analizi ve koruma. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, 81, İstanbul.
- Vala, T. M., Rajput, V. N., Joshi, K. ve Guha, D. 2020. Effect of relay characteristics in optimum coordination of overcurrent relays, 2020 IEEE Students Conference on Engineering & Systems (SCES), 10-12 July, Prayagraj, India.
- Vianna, E. A. L., Abaide, A. R., Canha, L. N. ve Vianna, P. L. 2016. SF6 gas circuit breakers reliability estimation, considering likely wear points, 2016 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 6-9 September, 1-6, Coimbra, Portugal.
- Zareein, M. ve Farkhani, J. S. 2023. Protection of the Blinding Area in Active Distribution Network by Multi-Function Relays, 2023 8th International Conference on Technology and Energy Management (ICTEM), 08-09 February, 1-6, Mazandaran, Babol, Iran.

EKLER

EK-1: Yasal İzin Belgesi

Evrak Tarih ve Sayısı: 24/03/2022-46813



ARAS ELEKTRİK DAĞITIM ANONİM ŞİRKETİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Sistem İşletme Koordinatörlüğü

Şükrüpaşa Mahallesi
TEK Lojmanları sokak
NO : 57 25050
Yakutiye / ERZURUM
Tel: +90 (850) 200 20 20
Fax: +90 (442) 242 27 80
Vergi Dairesi: Kazım Karabekir
Vergi No: 0720 398 522

Sayı : -301-
Konu : VERİ KULLANMA TALEBİ HK.

SAYIN İSHAK ÖZER

İlgide kayıtlı yazınızda Erzurum Teknik Üniversitesi bünyesinde yürütülen tez çalışması kapsamında Şirketimizin sorumluluk alanında olan dağıtım şebekesine ait röle koordinasyon verilerini ve şebeke isimleri yer almayacak şekilde dağıtım sistemini kullanılması talep edilmektedir.

Yürütülen tez çalışması için gerekli envanterin kullanılmasında Şirketimizce bir sakınca bulunmamaktadır.

Gereġini rica ederiz.

Muharrem KALKAN
Sistem İşletme Koordinatörü
e-imza

Yusuf Yaşar BABUR
Genel Müdür Yardımcısı (Teknik)
e-imza

Mevcut Elektronik İmzalar

Muharrem Kalkan - Sistem İşletme Koordinatörlüğü (Koordinator) - 24/03/2022

Yusuf Yağar Babur - Genel Müdür Yardımcılığı (Teknik) (Genel Müdür Yardımcısı) - 24/03/2022

www.arasedas.com



info@arasedas.com

Evrakı Doğrulamak İçin : http://ebys.arasedas.com/enVision/Validate_Doc.aspx?eD=BSV5E47520

Evrak Barkodu:
BSV5E47520