

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**DAĞITIK ÜRETİM KAYNAKLARINDAN BESLENEN DEĞİŞKEN
YÜK PROFİLİNE SAHİP BİR GÜÇ SİSTEMİNDE YAPAY ZEKA
TABANLI YENİ YÜK DENGELEME ALGORİTMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ertan DAYE

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Metin VARAN

Temmuz 2023

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DAĞITIK ÜRETİM KAYNAKLARINDAN BESLENEN DEĞİŞKEN
YÜK PROFİLİNE SAHİP BİR GÜÇ SİSTEMİNDE YAPAY ZEKA
TABANLI YENİ YÜK DENGELEME ALGORİTMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ertan DAYE

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 05/07/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ	BAŞARI DURUMU
Jüri Başkanı: Doç. Dr. Metin VARAN	BAŞARILI
Üye: Doç. Dr. Ali ERDUMAN	BAŞARILI
Üye: Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK	BAŞARILI

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

Ertan DAYE

05/07/2023

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Metin VARAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmamda desteklerini eksik etmeyen sevgili aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
SİMGELER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Literatür Araştırması	4

BÖLÜM 2.

GENEL BİLGİLER.....	9
2.1. Elektrik Enerjisinin Tarihçesi.....	9
2.2. Elektrik Enerjisine Genel Bakış	10
2.3. Güç Sistemlerini Tarihçesi	10
2.4. Güç Sistemleri Kavramı	12
2.5. Elektrik Dağıtım Şebekeleri	13
2.6. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	14
2.6.1. Güneş enerjisi.....	15
2.6.2. Rüzgar enerjisi	16
2.6.3. Hidroelektrik enerji	17
2.6.4. Biyokütle enerjisi	17
2.6.5. Jeotermal enerji	18
2.6.6. Deniz dalgası enerjisi	19
2.6.7. Hidrojen enerjisi.....	19
2.7. Dağıtık Enerji Kaynakları	19
2.8. Güneş Enerjisi ve Panelleri	21
2.9. Rüzgar Enerjisi	22
2.10. Yapay Zeka	25
2.11. Grey Wolf Optimizer (GWO)	29
2.11.1. Grey wolf optimizer (gwo) kavramı	29
2.11.2. GWO matematiksel model ve algoritması	31

2.12. Güç Sistemleri Analizi	37
2.13. Matrix Laboratory (MATLAB).....	39
2.14. Matpower	41
2.15. IEEE ve IEEE 57 Baralı Sistem	41
2.16. Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD) ve Matematiksel Formülü.....	43
2.16.1. Optimal reactive power dispatch (orpd) kavramı	43
2.16.2. ORPD matematiksel formülü.....	45
2.16.2.1. Amaç fonksiyonları.....	46
2.16.2.2. Toplam gerçek güç kaybının en düşük değerde tutulması.....	46
2.16.2.3. Yük noktalarında gerilim sapsmasının en düşük değerde tutulması	47
2.16.2.4. Gerilim stabilitesinin geliştirilmesi	47
2.16.2.5. Eşitlik kısıtları	48
2.16.2.6. Eşitsizlik şartları ve üretici kısıtlamaları.....	48
2.16.2.7. Eşitsizlik şartları ve şönt var kondansatörlerin sınırlamaları	49
2.16.2.8. Eşitsizlik şartları ve trafo kısıtlamaları	49

BÖLÜM 3.

SONUÇLAR VE BULGU	51
3.1. Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD) Analizi	53
3.2. Grey Wolf Optimization (GWO) Analizi.....	59
3.3. Power Flow ve Grey Wolf Optimization (GWO) Analizleri Karşılaştırması.	72
3.4. GWO (Grey Wolf Optimizer)'nın Literatürde Bulunan Diğer Metaheuristik Optimizasyon Yöntemleriyle Karşılaştırılması	73
3.5. IEEE 57 Baralı Standart Güç Sistemine Dağıtık Enerji Kaynağı(DER) Entegre Ederek GWO (Grey Wolf Optimizer) Analizinin Yapılması.....	83
3.6. IEEE 57 Baralı Standart Güç Sistemine Termik Santral Gücü Entegre Ederek GWO (Grey Wolf Optimizer) Analizinin Yapılması	98

KAYNAKLAR	105
------------------------	------------

EKLER.....	109
4.1. EK A.....	109
4.2. EK B	111
4.3. EK C.....	116
4.4. EK D.....	120

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
ABC	: Artificial Bee Colony (Yapay Arı Kolonisi)
ACO	: Ant Colony Optimization (Karıncı Kolonisi Optimizasyonu)
AI	: Artificial Intelligences
ANN	: Artificial Neural Network
AO	: Aquila Optimizer
BA	: Bat Algorithm
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAE	: Bilgisayar Destekli Mühendislik
DABC	: Discrete Artificial Bee Colony (Ayrık Yapay Arı Kolonisi)
DC	: Doğru Akım
DER	: Distrubuted Energy Resources
DEK	: Distrubuted Energy Kaynakları
DG	: Distributed Generator (Dağıtık Jeneratör, Dağıtık Üretim)
FPA	: Flower Pollination Algorithm (Çiçek Tozlaşma Algoritması)
GFJ	: Güneş Fotovoltaik Jeneratörleri
GW	: Gigawatt
GSA	: Gravitational Search Algorithm (Yerçekimi Arama Algoritması)
GUI	: Graphical User Interface (Grafiksel Kullanıcı Arayüzleri)
GWO	: Grey Wolf Optimizer
IEA	: International Energy Agency
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
JS	: Jellyfish Search Optimizer (Denizanası Arama Optimizasyonu)
KNN	: K-Nearest Neighbors (K-en yakın komşu)
kV	: Kilovolt
kWh	: Kilovatsaat

LVQ	: Optimal Öğrenme Vektörü Quantizationu(Nicelemesi)
MATLAB	: Matrix Laboratory
MOST	: Matpower Optimal Scheduling Tool
MW	: Megawatt
NLP	: Natural Language Processing (Doğal Dil İşleme)
OPF	: Optimum Power Flow (Optimal Güç Akışı)
ORPD	: Optimal Reactive Power Dispatch
PEM	: Point Estimate Method (Nokta Tahmin Yöntemi)
PSO	: Particle Swarm Optimization (Parçacık Sürü Optimizasyonu)
PDF	: Probability Distribution Function (Olasılık Dağılım Fonksiyonu)
PQ	: Aktif-Reaktif Güç
PV	: Photovoltaic
SCOPF	: Stochastic Optimal Power Flow (Stokastik Optimal Güç Akışı)
SHO	: Sea-Horses Optimizer
SPG	: Solar Panel Generator
SVM	: Support Vector Machines (Destek Vektör Makineleri)
UEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
WPG	: Wind Power Generator (Rüzgar Enerjisi Jeneratörü)
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları

SİMGELER

A	: Rotor Yüzey Alanı
H	: Isı miktarı
I	: Güneş Işınlarmın Yoğunluğu
V	: Gerilim
W	: Güç
r	: Yarıçap
t	: Zaman
η	: Verim
ρ	: hava yoğunluğu
π	: Pi Sabiti
v	: Rüzgar Hızı
C_p	: Güç Katsayısı

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 : IEEE 57 baralı sistemde ORPD'nin GWO tarafından bulunan en iyi çözümü	52
Tablo 3.2 : 57 baralık güç sisteminin ORPD yük akışı analizi sonucu baralardaki güç kaybı	55
Tablo 3.3 : IEEE 57 baralık güç sisteminin ORPD yük akışı analizi sonucu iletim hatlarındaki güç kaybı	56
Tablo 3.4 : IEEE 57 baralı güç sisteminin GWO analizinde parametre değerleri olan lb değerleri	60
Tablo 3.5 : IEEE 57 baralı güç sisteminin GWO analizinde parametre değerleri olan ub değerleri	60
Tablo 3.6 : IEEE 57 baralık güç sisteminin GWO analizi sonucu baralardaki güç kaybı	63
Tablo 3.7 : IEEE 57 baralık güç sisteminin GWO analizi sonucu iletim hatlarındaki güç kaybı	66
Tablo 3.8 : IEEE 57 baralı güç sisteminin GWO analizi sonucu elde edilmiş en iyi çözüm	69
Tablo 3.9 : IEEE 57 baralık güç sisteminin ORPD yük akışı analizi sonucu iletim hatlarındaki güç kaybı	72
Tablo 3.10 : 57 baralı standart güç sisteminin GWO (Grey Wolf Optimizer) analizinin diğer metaheuristik analizlerle karşılaştırılması	73
Tablo 3.11 : Bir Günlük Rüzgar Profili	85
Tablo 3.12 : Bir Günlük Güneş Profili	86
Tablo 3.13 : RES eklenmiş IEEE 57 baralık güç sisteminin GWO analizi sonucu baralardaki güç kaybı	90
Tablo 3.14 : DER-RES eklenmiş IEEE 57 baralık güç sisteminin GWO analizi sonucu iletim hatlarındaki güç kaybı	92
Tablo 3.15 : DER-RES eklenmiş güç sisteminin GWO Tarafından elde edilen en iyi çözüm	95
Tablo 3.16 : Termik Santral eklenmiş güç sisteminin hatlarda oluşan kayıpları	99
Tablo 3.17 : Termik Santral eklenmiş güç sisteminin baralarda oluşan kayıpları ...	102
Tablo 3.18 : Termik Santral eklenmiş güç sisteminin GWO tarafından elde edilen en iyi çözüm	103
Tablo 3.19 : RES ve Termik santrallerde Kayıp Güçler	104

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : Birincil enerji kaynaklarının dünyadaki dağılımı	1
Şekil 1.2 : Enerji kaynaklarının yıllara göre kullanım oranı	3
Şekil 1.3 : Yıllara göre dünyada elektrik tüketimi	3
Şekil 2.1 : Yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllara göre dağılımı.....	15
Şekil 2.2 : Güneş enerjisinin dünyada yıllara göre üretimi.....	16
Şekil 2.3 : Rüzgar enerjisinin dünyada yıllara göre üretimi.....	16
Şekil 2.4 : Hidroelektrik enerjisinin dünyada yıllara göre üretimi.....	17
Şekil 2.5 : Biyokütle enerjisinin dünyada yıllara göre üretimi	18
Şekil 2.6 : Jeotermal enerjisinin dünyada yıllara göre üretimi.....	18
Şekil 2.7 : Dağıtık enerjinin dünyada yıllara göre üretimi.....	20
Şekil 2.8 : Kurt sürüsünün avlanması matematisel modeli.....	32
Şekil 2.9 : Alfa, beta, gama ve omega kurtların davranış önceliği	33
Şekil 2.10 : Kurtun ava yaklaşma ve uzaklaşma fonksiyonu.....	34
Şekil 2.11 : IEEE 57 baralı standart sistem ve bağlantıları.....	43
Şekil 3.1 : IEEE 57 baralı standart güç sistemine ORPD yük akışı analizi sonucu...	53
Şekil 3.2 : IEEE 57 baralı standart güç sistemine GWO yük akışı analizi sonucu....	62
Şekil 3.3 : Jeneratörlerin bağlı olduğu baralardaki aktif ve reaktif güçler.....	65
Şekil 3.4 : Best_position indisleri	70
Şekil 3.5 : Birey sayısı (Agent_No) yukarıdan aşağıya sırasıyla 10, 50, 100 olan bir sistemin GWO analizi	71
Şekil 3.6 : A IEEE 57 standart güç sisteminin MWOA algoritması üzerinde güç kaybı analizi	74
Şekil 3.7 : A IEEE 57 standart güç sisteminin SCA algoritması üzerinde güç kaybı analizi	75
Şekil 3.8 : A IEEE 57 standart güç sisteminin ABC algoritması üzerinde güç kaybı analizi	75
Şekil 3.9 : A IEEE 57 standart güç sisteminin ISMA algoritması üzerinde güç kaybı analizi	76
Şekil 3.10 : A IEEE 57 standart güç sisteminin JAYA algoritması üzerinde güç kaybı analizi	77
Şekil 3.11 : A IEEE 57 standart güç sisteminin Moth-flame algoritması üzerinde güç kaybı analizi	77
Şekil 3.12 : A IEEE 57 standart güç sisteminin BBO algoritması üzerinde güç kaybı analizi	78
Şekil 3.13 : IEEE 57 bara için GSA algoritmasını kullanan genel OF'nin yakınsama özelliği sistem.....	79
Şekil 3.14 : A IEEE 57 standart güç sisteminin SOA algoritması üzerinde güç kaybı analizi	79
Şekil 3.15 : Güç için BSO stratejilerinin jeneratör veri yollarındaki reaktif güç çıkışları kayıp minimizasyonu (IEEE 57-bus sistemi).....	80

Şekil 3.16 : IEEE 57 standart güç sisteminin OGWO algoritması üzerinde güç kaybı analizi	81
Şekil 3.17 : IEEE 57 standart güç sisteminin HHO-PSO algoritması üzerinde güç kaybı analizi	81
Şekil 3.18 : IEEE 57 standart güç sisteminin GWO algoritması üzerinde güç kaybı analizi	82
Şekil 3.19 : IEEE 57 baralı standart güç sisteminin GWO (Grey Wolf Optimizer) analizinin diğer meta-heuristic analizlerle karşılaştırılması.....	83
Şekil 3.20 : IEEE 57 baralı standart güç sistemine güneş paneli ve rüzgar türbininin entegre edilmesi	84
Şekil 3.21 : Bir günlük rüzgar profili	86
Şekil 3.22 : Bir günlük güneş profili.....	87
Şekil 3.23 : RES eklenmiş IEEE 57 baralı standart güç sistemine GWO yük akışı analizi sonucu.....	89
Şekil 3.24 : Birey sayısı (Agent_No) yukarıdan aşağıya sırasıyla 10, 50, 100 olan bir sistemin GWO analizi	96
Şekil 3.25 : DER eklenmiş IEEE 57 baralık güç sisteminin GWO analizinin diğer metasezgisel analizlerle karşılaştırılması	97
Şekil 3.26 : Baralarının 4'üne termik Santral eklenmiş IEEE 57 baralı güç sistemi .	98
Şekil 3.27 : Termik Santral eklenmiş güç sisteminin GWO analizinin grafik sonuçları	99

DAĞITIK ÜRETİM KAYNAKLARINDAN BESLENEN DEĞİŞKEN YÜK PROFİLİNE SAHİP BİR GÜÇ SİSTEMİNDE YAPAY ZEKÂ TABANLI YENİ YÜK DENGELEME ALGORİTMASI

ÖZET

Günümüzde elektrik enerjisine ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bunun için enerjinin en verimli ve en az maliyetli şekilde üretilmesi ve iletilmesi tüketiciler için büyük önem arz etmektedir. Bunun üzerine elektrik enerjisinin en az kayıp ve en az maliyetle iletilip son tüketicilere ulaştırılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan en önemlisi güç sistemleri analizidir. Teknolojinin ilerlemesiyle güç sistemlerine yapay zeka optimizasyon yöntemleri güç sistemleri analizine entegre edilerek maliyet ve güç kayıplarının en aza indirildiği gözlemlenmiştir. DER (Dağıtık Enerji Kaynakları) aynı zamanda merkez trafodan uzak bölgelere elektrik enerjisinin ulaşmadığı yerlerde mikroşebeke görevi görüp elektrik kesintileri sorununu en aza indirip elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında süreklilik sunmaktadır. Dağıtık enerji kaynakları doğal kaynaklar olduğundan stabil bir yük depolama ve enerji akışı olmamaktadır. Bu durum enerji depolama ve iletim hatlarına zamanla zarar verip kullanım ömrünü azaltmaktadır. Farklı hatlara ve baralara giden yük dengesizliğini ortadan kaldırmak gerekir. Yük dengeleme için farklı yöntemler uygulansa da günümüzde en güncel ve en hızlı çözümü yapay zeka optimizasyon algoritmaları sunmaktadır. Bu tezde dağıtık üretim kaynaklarından beslenen değişken yük profiline sahip bir güç sisteminde yapay zeka tabanlı yeni yük dengeleme algoritması üzerinde çalışılacaktır. Matlab Matpower’da IEEE 57 baralı standart güç sistemi seçilip IEEE 57 baralı standart güç sisteminin girdi ve çıktıları yeni bir yapay zeka optimizasyonu olan Gri Kurt Optimizasyon (GWO) algoritmasına uyarlanarak aktif güç kayıpları incelenecek ve güç kaybının aza indiği karşılaştırmalarla gösterilecektir. Buradaki analiz 12 periyotluk yani 1 günlük analiz olacaktır. Sonra jeneratörlere güneş enerjisi ve rüzgar türbini enerji kaynağı olarak yük ise güç tüketim parametresi olarak eklenerek 12 periyotta GWO analizleri gerçekleştirilecek ve DER’lerin güç sistemlerindeki etkisi gözlenecektir. En son adımda ise aynı jeneratörlere DER yerine termik santraller eklenip 12 periyotta GWO analizleri gerçekleştirilecek. Karşılaştırılan iki sonuç ORPD’nin yük dengeleme çözümüne karşın DER eklenmiş güç sisteminde GWO analizinin kabul edilebilir bir sonuç verdiğini göstermek için analiz sonuçları grafik olarak verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Güç Sistemleri Analizi, Dağıtık Enerji Kaynakları (DER), Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (GWO), IEEE 57 Baralılık Sistem, Yük Dengeleme

NEW AI-BASED LOAD BALANCING ALGORITHM IN A POWER SYSTEM WITH A VARIABLE LOAD PROFILE FROM DISTRIBUTED GENERATON RESOURCES

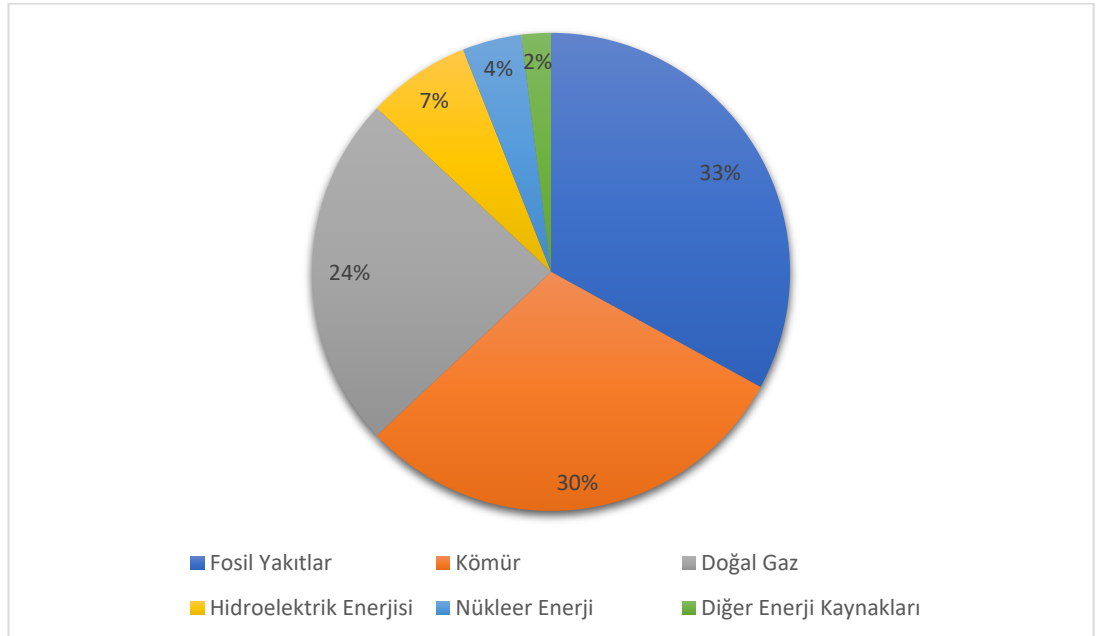
ABSTRACT

Today, the need for electrical energy is increasing day by day. For this, it is of great importance for consumers to produce and transmit energy in the most efficient and least costly way. On top of that, studies are carried out to transmit electrical energy to the end consumers with the least loss and minimum cost. The most important of these studies is power systems analysis. With the advancement of technology, it has been observed that cost and power losses are minimized by integrating artificial intelligence optimization methods into power systems analysis. DER (Distributed Energy Resources) also acts as a microgrid in places where electrical energy cannot reach regions far from the central transformer, minimizing the problem of power outages and providing continuity in meeting the electrical energy need. Since distributed energy resources are natural resources, there is no stable load storage and energy flow. This situation damages energy storage and transmission lines over time and reduces their useful life. It is necessary to eliminate the load imbalance to different lines and busbars. Although different methods are applied for load balancing, artificial intelligence optimization algorithms offer the most up-to-date and fastest solution today. In this thesis, a new artificial intelligence based load balancing algorithm will be studied in a power system with a variable load profile fed from distributed generation sources. In Matlab Matpower, IEEE 57 bus standard power system will be selected and input and output of IEEE 57 bus standard power system will be adapted to Gray Wolf Optimization (GWO) algorithm, which is a new artificial intelligence optimization, and active power losses will be examined and the reduction of power loss will be shown with comparisons. The analysis here will be a 12 periods, that is, 1 day analysis. Then, solar energy and wind turbine energy sources will be added to the generators and the load will be added as a power consumption parameter, and GWO analyzes will be carried out in 12 periods and the effect of DERs on power systems will be observed. In the last step, thermal power plants will be added to the same generators instead of DER and GWO analyzes will be carried out in 12 periods. The results of the analysis will be given graphically to show that the GWO analysis gives an acceptable result in the DER added power system against the load balancing solution of the ORPD.

Keywords: Power Systems Analysis, Distributed Energy Resources (DER), Gray Wolf Optimization Algorithm (GWO), IEEE 57 Bus System, Load Balancing

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanların bilgiye önem vermesi ve bilgi kuramlarının kümülatif olarak disiplinli bir biçimde geliştirip uygulaması sonucu teknoloji ortaya çıkmıştır. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle enerji tüketimine olan ihtiyaç artmaktadır. Bununla beraber dünya genelinde ekonomik faaliyetlerin çeşitlenmesi ve gelişmesi enerjiye olan bağımlılığı zorunlu kılmaktadır. Bu ihtiyacın karşılanması için günümüzde çeşitli enerji kaynaklarından faydalanılmaktadır. Bu kaynaklardan bazıları fosil yakıtlar(petrol), kömür, doğalgaz, nükleer enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi, biyokütle enerjisidir. Bu enerji kaynakları herhangi bir işlemde geçip başka bir enerjiye dönüştürülmediğinden literatürde birinci enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Birincil enerji kaynakları da kendi içerisinde yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ayrılmaktadır.

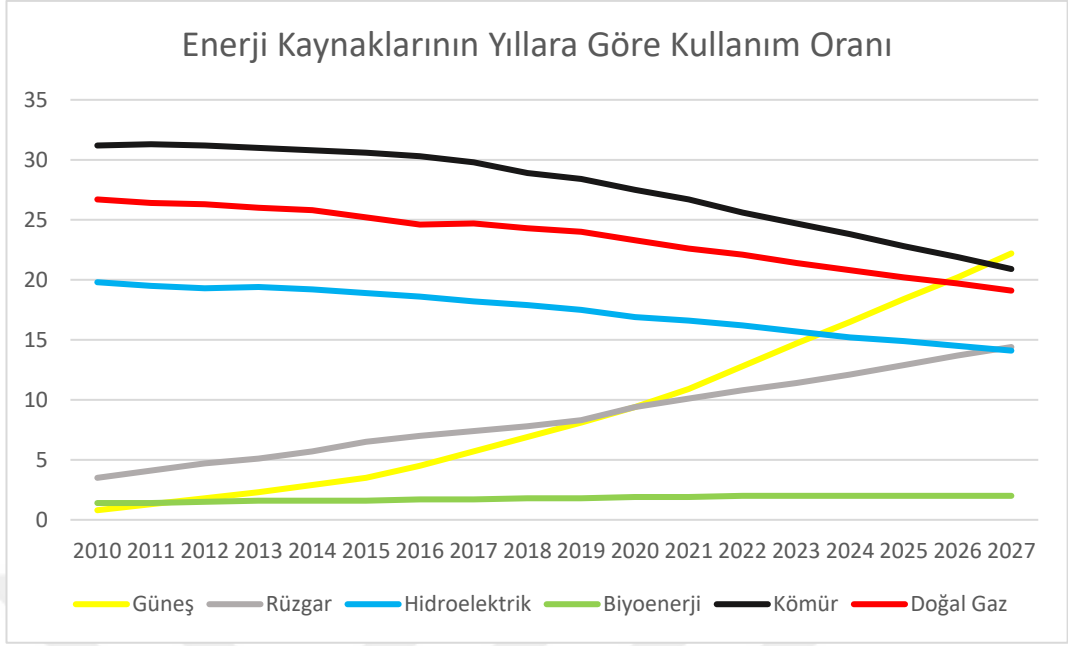


Şekil 1.1 : Birincil enerji kaynaklarının dünyadaki dağılımı

Dünyada kullanılan birincil enerji kaynaklarının dağılımı sırasıyla %33 ile fosil yakıtlar(petrol), %30 ile kömür, %24 ile doğal gaz, %7 ile hidroelektrik enerjisi, %4 ile nükleer enerji ve %2 ile diğer enerji kaynakları olan güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerjisi, hidrojen enerjisi, dalga enerjisi, biyokütle enerjisidir. Bu dağılımın grafiği Şekil 1.1’de verilmiştir.[1]

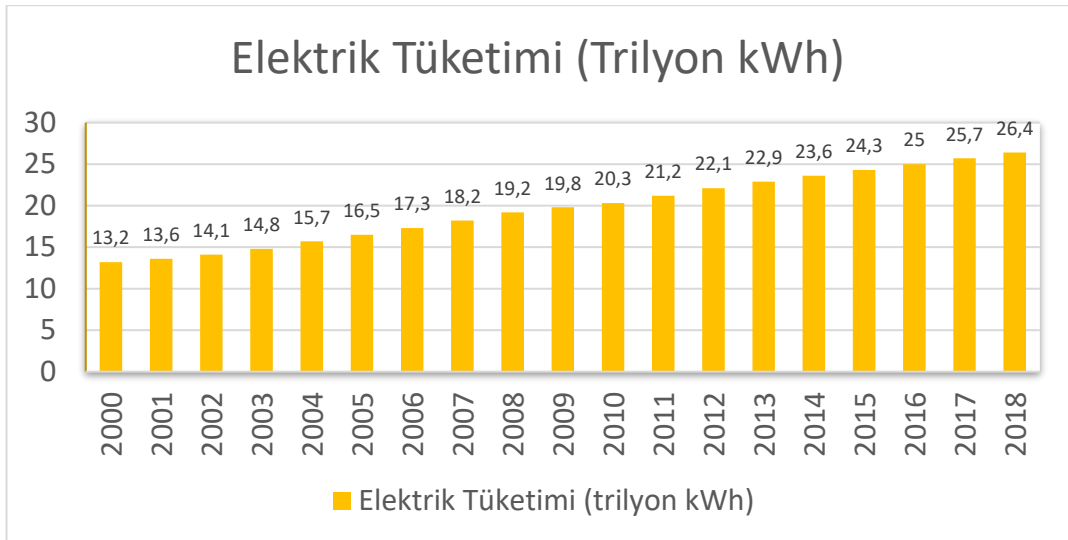
Enerji üretimi ve tüketiminde teknoloji ve inovasyonun gelişimine bağlı olarak birincil enerji kaynakları direkt olarak endüstride, ofislerde, tüketici elektroniği, kurumsal yapılar, şehir şebekeleri gibi yaşamın her alanında kullanılıp tüketilebilen enerji ihtiyacını karşılayamamaktadır. Bunun yerine daha spesifik enerji ihtiyacı duyan sistemlerde birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesiyle elde edilen ve ikincil enerji adı verilen elektrik enerji kaynakları kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi birincil enerji kaynaklarının dönüştürülmesiyle günümüz tüketicilerinin kullanabileceği bir enerji güç sistemidir. Birincil enerji kaynakları yenilenemez ve yenilenebilir olarak ikiye ayrılmaktadır. Fosil yakıtlar(petrol), kömür, doğalgaz, nükleer enerji yenilenemez güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerjisi, hidrojen enerjisi yenilenebilir enerji kaynağıdır. Elektrik şebekelerine gerekli enerji dönüşümünde yenilenemez enerji kaynaklarının dünyadaki rezervleri zamanla tükenmektedir. Günümüzde bilinen petrol rezervleri 1189 milyar varil ve doğal gaz rezervleri 2,7 trilyon m³’tür. Dünyanın güncel tüketim potansiyeli göz önüne alındığında petrol rezervlerini 41 yıla kadar, doğal gaz rezervlerinin 67 yıla kadar tükeneceği tahmin edilmektedir. Bunun yanında çevreye verdiği zararda göz önünde tutularak güç sistemlerinde elektrik enerjisini doğal, temiz ve ekonomik olan alternatif enerji kaynaklarına araştırma-geliştirme ve yatırım yaparak üretmeye ve kullanmaya zorunlu kılmaktadır.

Alternatif enerji kaynaklarının başında yenilenebilir enerji kaynakları gelmektedir. Kurulu güç sistemlerinde geleceğe yönelik yenilenebilir enerji kaynaklarının yıldan yıla önemi artmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA-International Energy Agency) verilerine göre yukarıdaki tabloda 2010-2027 yılları arası enerji kaynağı kullanım ve tercih edilme trendi gösterilmektedir. 2030 yılından sonra ilk defa yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı yenilenemez enerji kaynaklarının kullanım oranını geçeceği düşünülmektedir. Şekil 1.2’de bu durumun çizgisel grafik eğrisi gösterilmektedir. [1]



Şekil 1.2 : Enerji kaynaklarının yıllara göre kullanım oranı

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA-International Energy Agency) verilerine göre 2021 yılı itibariyle yaklaşık 26,5 trilyon kilovatsaat (kWh) olarak düşünülmektedir. Bu veri, bir önceki yıl olan 2020'ye göre yaklaşık %5 oranında artış göstermiştir. Şekil 1.3'te görüldüğü gibi 2000 ile 2018 yılları arasında dünyada yıllık elektrik enerjisi tüketimi artmaktadır.[1]



Şekil 1.3 : Yıllara göre dünyada elektrik tüketimi

Harcanan elektrik enerjisinin yenilenebilir enerji sistemlerinden karşılamak gün geçtikçe daha cazip hale gelmektedir. Buna rağmen istenilen enerji talebini sağlamakta güçlük

yaşanmaktadır. Bu durum elektrik enerjisini tüketicileri için yani daha spesifik terimle elektrik enerjisinin harcandığı yükler için daha yeni bir sistem arayışına yöneltmiştir. Bu arayışlar yani araştırma ve geliştirme yöntemleri sonucu güç sistemlerinde yeni analiz programları yük dengelemede kullanılmıştır. Bu yöntemle manuel olarak yük dengeleme tespit edilmiş elektrik dağıtım şebekelerinde yük tasarımı hat, bara, jeneratörlere göre dengelenmiştir. Zamanla yük dengeleme konusunda daha pratik yöntemler araştırılmıştır. Talep yetersizliği sorununa çözüm olarak günümüzde de çok yaygın olan yapay zeka optimizasyonu, genetik algoritmalar, derin öğrenme, bulanık mantık gibi teknolojik yöntemlere başvurulmuştur.

1.1. Literatür Araştırması

Literatür araştırması yapıldığında son zamanlarda giderek popüler olan güç sistemlerine entegre edilen dağıtık enerji kaynaklarının güç akışı ve yük dengeleme problemlerini çeşitli yapay zeka optimizasyon yaklaşımlarıyla ilgili çalışmalar yapılmış ve güç sistemlerine farklı pragmatik çözümler önerilmiştir. Güç talebindeki şiddetli büyüme ve altyapı geliştirmeleri için yüksek sermaye yatırımı, güç sistemi kuruluşları, Dağıtılmış Jeneratörleri (DG) mevcut şebekeye entegre ederek güvenilirliği ve verimliliği artırmaya odaklanmak zorunda kalıyor. DG'nin şebekeye entegrasyonu birçok zorlukla karşı karşıyadır. Dağıtılmış Jeneratörün (DG) optimum yerleşimi ve boyutlandırılması, sistemin voltaj kararlılığını etkilemeden kayıpların en aza indirilmesi ve yükleme kapasitesinin en üst düzeye çıkarılması amacıyla yapılır.

Duer ve arkadaşlarının 'Birden Fazla Akıllı Bina ve Dağıtım Şebekesinin Birlikte Simülasyonuna Dayalı Enerji Depolama Sistemleri ile Yük Dengeleme' adlı çalışmasında akıllı bir elektrik şebekesi ile binalar arasındaki etkileşimin yanı sıra enerji ve maliyet tasarrufu ve yalnızca bina düzeyinde uygulanan tekniklerle elde edilebilecek olanın ötesinde daha iyi enerji yönetimi elde etmek için binaların kendi aralarındaki etkileşimden yararlanan bölge düzeyinde optimizasyon teknikleri geliştirmek ve incelemek için yeni bir yöntem üzerine araştırma yapmışlardır. Restorasyon faaliyetlerinden etkilenen dağıtım ağlarında yük dengeleme yapmak için sezgisel bir algoritma önermişler. Yük dengelemesini, enerji depolama sistemleri yardımıyla gerçekleştirmişlerdir. Bunun için şebeke tarafından bireysel binalara iletilen talep yanıtı türü sinyaller kullanmışlardır. Simülasyon sonuçlarını sırasıyla IEEE 9 baralı ve IEEE 57

baralı güç sistemleri üzerinde inceleyip önerdikleri sezgisel yöntemi kullanmışlardır. Sonuç olarak aşırı yükten etkilenen yük dağıtım ağlarına geçici rahatlama sağlamak için enerji depolama sistemlerinin nasıl kullanılabileceği irdelenmiştir. [2]

Duerr ve arkadaşları yine ‘Dağıtım Şebekelerinde Yük Dengeleme ve Güç Kaybını Minimizasyon için Dağıtılmış Enerji Depolama Kullanımına İlişkin Bir Örnek’ adlı başka bir çalışmada geçici hizmet iyileştirme faaliyetlerinden etkilenen dağıtım ağlarında yük dengelemeyi ve kayıp minimizasyonunu çözmek için bir algoritma önermişlerdir. Önerilen algoritmanın yenilikçiliği, ağda bulunması ve kullanılabilir durumda olan müşteri dağıtılmış batarya enerji depolama sistemlerinin şebeke tarafından yönlendirilen kullanımını üzerine çalışılmıştır. Güneş panelleri ve rüzgar türbinleri gibi dağıtık yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasıyla birlikte, ördük eğrisi sorunu olarak adlandırılan yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili bazı yeni zorlukların üstesinden gelmek için pillerin de giderek daha fazla benimseneceği tahmini üzerine yoğunlaşmış, önerilen çözümün uygulanması, talep yanıtı sinyalleri aracılığıyla gerçekleştirilmesi sonucuna varmışlardır. Sistemin yararlılığını test edebilmek için, akıllı bir elektrik şebekesi, akıllı binalar ve dağıtılmış enerji depolama arasındaki etkileşimi kullanarak enerji ve maliyet tasarrufu sağlamak ve yalnızca bina veya ağ düzeyinde uygulanan tekniklerle elde edilemeyen daha iyi enerji yönetim yöntemleri geliştirmek ve çalıştırmak için kullanılabilecek bir eşzamanlı simülasyon çerçevesi üzerine çalışıp önerdikleri algoritmayı eş zamanlı simüle etmişlerdir. Simülasyonlar sonucu, enerji depolama sistemlerinin hat arızalarından etkilenen dağıtım ağlarında geçici rahatlama için kullanılabileceğini ispatlamışlardır.[3]

Ehsan A. ve arkadaşları ‘Yenilenebilir Dağıtık Üretimin Güç Dağıtım Ağlarına Optimal Entegrasyonu ve Planlaması: Analitik Tekniklerin Bir İncelemesi’ adlı çalışmada öncelikle optimal dağıtık üretim planlama problemiyle ilgili birkaç geleneksel ve metaheuristik yöntem tartışmışlardır. Yenilenebilir dağıtık üretimin optimal planlaması için güncel analitik tekniklerin kapsamlı bir incelemesini ve eleştirel bir değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir. Analitik teknikleri, tam kayıp formülü, kayıp hassasiyet faktörü, dalga akımı kayıp formülü, dalga güç akışı kaybı formülü, eşdeğer akım enjeksiyonu ve fazör besleme akım enjeksiyonu olmak üzere altı kategoride detaylı olarak tartışmışlardır. Ayrıca, analitik tekniklerin dağıtık üretim planlamasında çeşitli optimizasyon kriterlerine göre uygunluğunu gösteren karşılaştırmalı bir analiz

sunmuşlardır. Son olarak, modern güç dağıtım ağlarında dağıtık üretimin optimal planlaması bir dizi öneri ve gelecekteki zorluklara değinmişlerdir.[4]

Kefayat M. ve arkadaşları ‘Dağıtık Enerji Kaynaklarının Olasılıksal Optimal Yerleştirme ve Boyutlandırması için Karınca Kolonisi Optimizasyonu ve Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının Hibrit Yaklaşımı’ adlı araştırmada Dağıtık Enerji Kaynaklarının (DER) optimal konumlandırma ve boyutlandırma problemleri için Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) ile Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritmasının hibrit bir yapıda birleştirildiği, ACO-ABC hibrit algoritması üzerine çalışmışlardır. Önerilen algoritma, yerleşim optimizasyonunu temel alan kesikli yapı ile boyutlandırma optimizasyonunu temel alan sürekli yapı arasında birleştirilmiş bir stratejidir ve ABC ve ACO algoritmalarının sırasıyla global ve yerel arama yeteneklerinden faydalanmışlardır. Ayrıca, önerilen algoritma için çok amaçlı bir ABC kullanılarak dış arşivde depolanan baskın olmayan çözümler kümesi oluşturmuşlardır. Hedefleri, güç kayıplarını, trafo merkezi ve kaynaklar tarafından üretilen toplam emisyonları, toplam elektrik enerjisi maliyetini en aza indirmeyi ve voltaj kararlılığını iyileştirmeyi içerir. Rüzgar enerjisinin çıkışındaki ve yük taleplerindeki belirsizliğin etkisini araştırmak için olasılıksal bir yük akışı gerekli olduğu kanısına varmışlar. Bu çalışmada, stokastik bir ortamda optimizasyon problemi çözmek için etkili bir Nokta Tahmin Yöntemi (PEM) kullanmışlardır. Önerilen algoritmayı, IEEE 33 baralı ve IEEE 69 baralı güç dağıtım sistemleri üzerinde test etmişlerdir. Elde edilen sonuçlardan, diğer evrimsel optimizasyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında önerilen algoritmanın potansiyelini ve etkinliğin daha avantajlı olduğu kanısına varmışlardır.[5]

Shuaibu Hassan A. ve arkadaşları ‘Dağıtık Üretim Temelli Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Optimal Planlama ve Entegrasyonunda Uygulanan Optimizasyon Teknikleri: Son Trendler’ adlı çalışmada dağıtım sistemleri optimizasyonuna uygulanan son araştırmalara dayanarak, yenilenebilir enerji kaynaklarından dağıtık üretim birimlerinin konumlandırma ve boyutlandırma sorununu optimize etmek için son teknikleri değerlendirmişlerdir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarına dağıtık üretim (DG) sistemine yönelik çevresel, ekonomik, teknolojik ve düzenleyici etkenleri vurgulamışlar. Tablo formunda tartışılan yaygın metaheuristik optimizasyon araçlarının avantajları ve dezavantajlarını özetleyerek, henüz incelenmemiş yeni çok-yöntemli potansiyel yaklaşımların önünü açmaya yönelik bilgiler sunmuşlardır.[6]

Belmino L. ve arkadaşları ‘Dağıtım Sisteminde Dağıtık Üretimin Yerleştirilmesi ve Boyutlandırılması’ adlı çalışmalarında diferansiyel evrim metasezgisel yöntemi kullanarak dağıtık üretim (DG) birimlerinin boyutlandırılması ve yerleştirilmesini gerçekleştirip aktif güç kayıplarını azaltmayı amaçlamışlardır. Ayrıca, önerdikleri algoritmada, algoritma tarafından yerleştirilen ve boyutlandırılan üretici birimlerin sayısı ile karşılaştırdıklarında aktif güç kayıplarının davranışını değerlendirmeye olanak tanıdığı sonucuna varmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, algoritmanın dağıtık üretim (DG) birimlerini yerleştirmede ve boyutlandırmada yetenekli olduğunu göstermektedir ve ayrıca güç sistemi ağlarındaki aktif güç kayıplarını minimize etmek için optimal üretim birimi sayısını değerlendirmeye olanak tanıdığı kanısına varmışlardır.[7]

Sanjay R. ve arkadaşları ‘Dağıtık Üretimin Optimal Yerleştirilmesi İçin Hibrit Gri Kurt Optimizasyonu Kullanımı’ adlı çalışmada yeni bir metaheuristik algoritma olan hibrit Gri Kurt Optimizasyonu kullanarak bu düzlemsel, ayrık soruna bir çözüm önermektedirler. . Algoritmayı, IEEE 33 baralı, IEEE 69 baralı ve Indian 85 baralı radyal dağıtım sistemlerine uygulayarak güç kaybını minimize etmeyi amaçlamışlardır. Sonuçların, güç sistemi ağındaki baraların güç kaybında önemli bir azalma ve gerilim profilinde gözle görülür bir iyileştirmeye yardımcı olduğunu gözlemlemişlerdir. Karşılaştırmalarda, önerilen yöntemin diğer tüm metaheuristik yöntemlerden daha iyi performans gösterdiğini ve en iyi sonuçları eşleştirdiğini kanısına varmışlardır.[8]

Al-Saedi W. ve arkadaşları ‘Güç Akış Kontrolü, Değişken Yük Koşullarında Parçacık Sürü Optimizasyonu Kullanarak Şebeke Bağlantılı Mikroşebeke İşletimi’ adlı çalışmada gerçek zamanlı bir otomatik ayarlama yöntemine dayalı olarak bir enerji şebekesine bağlı mikroşebeke için optimal güç akış kontrolörü önermektedirler. Amaçları, Dağıtık Üretim (DG) birimlerinden oluşan mikroşebeke ile ana şebeke arasındaki aktif ve reaktif güç akışını kontrol etmektir. Bu çalışmada aynı zamanda, yükün Dağıtık Üretim (DG) biriminin değerlendirilmiş gücünden ya çok daha yüksek ya da çok daha düşük olduğu durumlarda kontrolörün tepkisini ölçmektedirler. Araştırmacıların önerdikleri strateji, yük değişimi sırasında gerçek zamanlı güç kontrol parametrelerinin otomatik ayarlaması için uygulanan akıllı bir arama algoritması olan PSO algoritması temelinde mikroşebeke ve şebekeden gereken güç paylaşımının eşit olarak yapılmasıdır. Yükün, mikroşebeke tarafından üretilen güçten fazlaysa, şebeke fark gücü sağladığı, yükün mikroşebeke tarafından üretilen güçten az ise, fazla gücü şebekeye enjekte ettiğini gözlemlemişlerdir.

Sonuçlarda, önerilen kontrolörün mükemmel bir yanıt sunduğunu ve önerilen stratejinin geçerliliğini kanıtladığını ölçmüşlerdir.[9]

Hassan A. ve arkadaşları ‘Tekno-Ekonomik Faydalar için Dağıtılmış Üretim Kaynaklarının Aktif Dağıtım Ağlarına Optimum Entegrasyonu’ adlı çalışmada aktif güç kayıplarını, hızlı gerilim kararlılık indeksini ve toplam maliyetleri optimize etmek amacıyla birden fazla Dağıtık Üretim (DG) teknolojisinin entegrasyonu yoluyla DN performansını arttırmak için Modifiye Sinüs Kosinüs Algoritmasının (MSCA) uygulanmasını tanıtmaktadırlar. Önerilen algorithmada MATLAB yazılımı kullanarak gerçekleştirilmişler ve IEEE 30 baralı, IEEE 33 baralı ve IEEE 300 baralı üç farklı elektrik güç sistemlerinde uygulamışlardır. Elde edilen sonuçların, mevcut sonuçlardan daha etkili ve başarılı bir şekilde daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.[10]

Bey M. ve arkadaşları ‘Deniz Atları Optimizasyon Yöntemine Dayalı Voltaj Sapması ve Aktif Güç Kayıpları ile Optimum Güç Akışı için STATCOM Cihazı Entegrasyonu’ adlı deniz atlarının yaşam döngüsünden ilham alan “Deniz Atları” adlı yeni bir metasezgisel optimizasyon yöntemine dayanan çalışmasında STATCOM cihazı kullanılarak güç üretimlerinin en iyi yakıt maliyetini sağlayarak optimum güç akışı çözümünü bulmak, voltaj sapmalarını en aza indirmek ve toplam aktif güç kayıplarını azaltmakla ilgili araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla, optimal çözümü bulmak için önerilen teknik tarafından analiz edilen genel amaç fonksiyonunu formüle etmek için üç farklı hedef fonksiyonu kullanmışlardır. Bu çalışmanın etkinliğini değerlendirmek için IEEE 30 baralı güç sistemini test ağı olarak seçmişler ve karşılaştırma yapmak amacıyla, elde edilen sonuçları diğer çalışmalarla, aynı hedefi paylaşan ve farklı cihazlar ve teknikler kullanan çalışmalarla karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmada, STATCOM cihazının Deniz Atları yöntemine dayalı olarak hedef fonksiyonunu geliştirmedeki gücünü gözlemlemişlerdir.[11]

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

2.1. Elektrik Enerjisinin Tarihçesi

Elektrik enerjisi, insanlık tarihi boyunca aydınlatma, iletişim ve endüstri gibi birçok alanda kullanılmıştır. Güç sistemleri ise elektrik enerjisinin üretiminden tüketimine kadar olan tüm süreçleri kapsayan bir sistem olarak tanımlanmıştır. Bu sistemlerin tarihi, elektrik enerjisinin keşfinden başlamaktadır. Elektrik enerjisi ve güç sistemleri, modern çağın en temel ve önemli teknolojik gelişmelerinden biridir.

Elektrik enerjisinin geçmişi, antik çağlara kadar uzanmaktadır. Antik çağlardan beri, amberin (kehribar) sürtünmesi sonucu ortaya çıkan küçük elektrik yükleri bilinmekteydi. Antik Yunanlılar, amberi (kehribar) ovaladıklarında küçük nesneleri çektiğini keşfettiler. Bu, statik elektriğin keşfedilmesi olarak kabul edilir. Dinamik elektriğin keşfi, 17. Ve 18. yüzyıllarda elektrik yüklerinin varlığını keşfeden bilim adamları tarafından yapılmıştır. 1600'lü yıllarda elektrik yüklerinin keşfedilmesi, elektrik alanındaki çalışmaların başlangıcıdır. 17. yüzyılda, William Gilbert elektrik yüklerinin manyetik etkileşimlerini incelemiş ve elektrostatik kuvvetleri ölçmüştür. 18. yüzyılda, Benjamin Franklin elektrik yüklerinin pozitif ve negatif olduğunu keşfetmiştir. Elektrik enerjisi, 18. yüzyılın başlarında İtalyan bilim insanı Luigi Galvani'nin hayvanların kaslarına uyguladığı elektrik akımları ile keşfedilmiştir. Ancak, elektrik enerjisinin üretimi, kullanımı ve pratik uygulamaları için önemli adımlar 19. yüzyılın başlarında atılmıştır. 1800'lü yılların başında Alessandro Volta tarafından voltaik hücre keşfedilmiştir. Bu keşif, ilk elektrokimyasal pil olup elektrik enerjisi ile çalışan ilk cihaz niteliği taşımaktadır. Bu icat, ilk defa sürekli olarak elektrik akımı üretme imkanı sağlamıştır. Bu pil, basit bir çinko ve bakır levhadan oluşan Volta pilidir ve günümüzde bile temel prensipleri hala kullanılmaktadır.

Elektrik enerjisinin modern kullanımı, 19. yüzyılın sonlarında başlamıştır. 1866 yılında Amerikalı mühendis ve mucit Thomas Edison, dirençli bir lamba için ilk kez kullanılan

karbon filamentli ampulü icat etti. Edison, DC (doğru akım) jeneratörlerinin geliştirilmesinde de öncü olmuştur. Ancak, AC (alternatif akım) jeneratörleri Nikola Tesla tarafından icat edilmiştir. Tesla'nın AC jeneratörleri, elektrik enerjisinin üretiminde ve iletiminde büyük bir dönüm noktası olmuştur. Güç sistemleri, elektrik enerjisinin üretiminden iletimine kadar olan tüm süreçleri kapsadığı için, tarihi birçok önemli olaya sahiptir.

2.2. Elektrik Enerjisine Genel Bakış

Elektrik enerjisi, elektronların hareketi sonucu elektrik yüklerinin potansiyel farkından dolayı ortaya çıkan bir enerji türüdür. Bu elektronlar, atom çekirdeğinin çevresinde geniş çapta serbest hareket edebilen negatif yüklü parçacıklardır. Elektrik enerjisi, elektrik akımı adı verilen bu hareketli elektronların bir noktadan diğerine taşınmasıyla elde edilir. Elektronların kinetik hareketi, elektriğin iletkenler boyunca akmasını sağlar. Elektrik enerjisi, doğal olarak kendiliğinden oluşmaz. Elektrik enerjisi genellikle hidroelektrik, termik, nükleer enerji üretim santrallerinde ya da yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş panelleri, rüzgar türbinler, hidroelektrik santraller vb.) elde edilen enerjinin dönüştürülmesiyle üretilir. Elektrik enerjisi, jeneratör adı verilen makineler tarafından elde edilir. Daha sonra transformatörler yardımıyla yüksek gerilim seviyelerine çıkarılır. Gerilim, elektriksel potansiyel farkının bir ölçüsüdür ve Volt cinsinden ifade edilir. Yüksek gerilim, elektriksel potansiyelin yüksek olduğu bir elektrik akımı olup elektrik enerjisinin iletiminde kullanılan bir gerilim seviyesidir. Bu gerilim seviyesi, elektrik enerjisinin daha uzun mesafelerde ve daha büyük güçlerde iletimini kolaylaştırır. Yüksek gerilim hatları, elektrik enerjisi üretim noktalarından tüketim noktalarına kadar olan mesafelerde kullanılır. Yüksek gerilim, elektrik enerjisi kaybını azaltarak, enerjinin daha verimli bir şekilde iletilmesini sağlar.

2.3. Güç Sistemlerini Tarihçesi

Güç sistemlerinde elektrik enerjisinin kullanımı, elektrik motoru ve jeneratörünün icadıyla başladı. Bu icatlar, elektrik enerjisinin ticari kullanımını mümkün kıldı. Michael Faraday ve Joseph Henry gibi bilim insanları, elektromanyetik prensipleri keşfettiler ve elektrik motorunu icat ettiler. 1831 yılında Faraday, manyetik indüksiyonu keşfetmiş ve

bu keşifle manyetik alanın elektrik akımını üretmek için kullanılabileceğini bulması elektrik enerjisinin üretiminde büyük bir adım olmuştur. Bu sayede alternatif akım üretmek mümkün hale geldi. 1900'lü yılların başlarında, güç sistemleri üzerinde yapılan araştırmalar ve geliştirmeler hız kazanmıştır. Güç sistemleri, elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtımını için gerekli altyapıyı sağlamak üzere geliştirilmiştir. İlk elektrik santralleri daha önce belirtildiği gibi, 19. yüzyılın sonlarında ortaya çıktı ve öncelikle aydınlatma amaçları için kullanıldı. Elektrik enerjisi, 20. yüzyılın başlarında endüstriyel kullanımlara da yayılmaya başladı. Güç sistemleri teknolojisi ise elektrik enerjisinin gelişimine orantılı olarak, 20. yüzyılda hızlı bir şekilde gelişti ve yaygın kullanıma geçti. Güç sistemleri alanındaki en önemli olaylardan biri, 1882 yılında İngiltere'nin Newcastle kentindeki bir sanayi tesisinde yapılan ilk elektrik üretimi ve dağıtımını deneyidir. 1881 yılında Paris'te, ilk kez büyük ölçekli bir elektrik şebekesi kuruldu. Thomas Edison, 1882 yılında ilk kez New York'ta bir enerji dağıtım şebekesi kurdu. Bu şebeke, Edison'un DC (doğru akım) jeneratörleri tarafından besleniyordu. Ancak, DC enerjinin sınırlı iletim mesafesi vardı. 1891 yılında Nikola Tesla, AC jeneratörünü icat etti ve bununla birlikte AC enerjinin iletimi ve dağıtımını üzerine bir yenilik getirdi. Bu sayede, büyük mesafelere AC enerji iletilmesi mümkün hale geldi ve güç sistemlerinin gelişimi hızlandı. Bu deneyler, modern güç sistemlerinin temel prensiplerini belirleyen bir dönüm noktasıydı. Daha sonra, 1892 yılında Niagara Şelaleleri üzerinde ilk büyük ölçekli hidroelektrik santrallerinden biri kuruldu ve elektrik enerjisi üretimi ve iletimi için yeni bir standart belirlendi.

1906 yılında, Amerika Birleşik Devletleri'nde San Francisco Depreminin ardından, şehirdeki elektrik şebekesi büyük hasar görmüştür. Bu olay, güç sistemlerinin dayanıklılığı ve güvenilirliği konusunda daha fazla araştırma yapılmasına sebep olmuştur. 1930'larda, elektrik enerjisinin iletimindeki kayıpları azaltmak için yüksek gerilim iletim hatları geliştirilmiştir. Bu gelişme, elektrik enerjisinin daha uzak mesafelere daha az kayıpla iletilmesine imkan vermiştir.

20. yüzyılın başlarında, elektrik enerjisi iletimi ve dağıtımını, birçok şirketin özel sahipliğindeydi ve bu şirketler genellikle bölgesel veya yerel olarak faaliyet gösteriyordu. Ancak, devletlerin bu alana müdahale etmesiyle, özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrasında, devletler tarafından merkezi kontrol edilen ulusal güç sistemleri oluşturuldu. Bu sayede, güç sistemlerinin daha verimli, güvenli ve ekonomik bir şekilde yönetilmesi

sağlandı. Günümüzde, güç sistemleri dünya genelinde elektrik enerjisi üretiminde ve iletiminde kullanılan temel altyapıyı oluşturmaktadır. 1950'lerde, nükleer enerji santrallerinin geliştirilmesiyle birlikte, güç sistemleri üzerinde büyük bir etki yaratmıştır. 1950'lerde, yüksek gerilimli iletim hatları ve yüksek gerilimli trafo teknolojisi geliştirilmiştir. Elektrik üretiminde kullanılan motorlar, jeneratörler ve diğer ekipmanların teknolojik ilerlemesi sayesinde, elektrik enerjisi daha verimli ve ekonomik hale geldi. Elektrik şebekeleri, daha büyük ve daha karmaşık hale gelirken, enerji kaynaklarının çeşitliliği arttı. Bu gelişmeler, elektrik enerjisinin uzun mesafelerde daha verimli bir şekilde iletimini sağlamıştır. Dijital teknolojinin gelişmesiyle birlikte, akıllı şebekeler (smart grid) geliştirilmiş. Daha sürdürülebilirlik açısından yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle son yıllarda önem kazanmıştır.

20. yüzyılın sonlarından itibaren bilgisayar ve yazılım teknolojisinin gelişmesiyle çeşitli yapay zeka ve algoritmaları geliştirilmiştir. 21. yüzyılın ilk çeyreğinin bitmesine yakın yapay zeka daha optimal çözümler üretmiş ve pratik uygulamalara entegre edilir hale gelmiştir. Böylelikle güç sistemlerinde daha verimli kullanım için yapay zekaya dayalı çeşitli yük dengeleme algoritmaları kullanılmıştır.

2.4. Güç Sistemleri Kavramı

Güç sistemleri, elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımı için kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler, voltaj düşüşlerini, gerilim dalgalanmalarını ve diğer sorunları önlemek için tasarlanmış bileşenlerle donatılmıştır. Güç sistemlerinde elektrik enerjisi, üretim, iletim, dağıtım ve tüketim olmak üzere dört temel süreçte işlenir. Böylelikle bu süreçler birbirine entegre edilerek, enerjinin güvenli ve verimli bir şekilde taşınması sağlanır. Bu sistemler, jeneratörler, transformatörler, kesiciler, kondansatör bankaları ve diğer bileşenlerden oluşur.

Üretim aşaması, elektrik enerjisinin hidroelektrik santralleri, termik santraller, nükleer santraller, rüzgar türbinleri, güneş panelleri, biyokütle enerjisi ve hidrojen yakıt hücreleri gibi çeşitli üretim kaynaklarından elde edilmesini içerir. İletim aşaması, yüksek gerilimli hatlar ve transformatörler aracılığıyla elektrik enerjisinin üretim noktalarından tüketim noktalarına iletimini sağlar. Yüksek gerilim hatları, transformatörler, kesiciler ve izolatörlerle birlikte çalışarak elektrik enerjisini güvenli bir şekilde iletmeyi sağlarlar.

Dağıtım aşaması, elektrik enerjisinin son kullanıcılara yani tüketicilere (ev, işyeri, endüstriyel tesis vb.) ulaştırılmasını sağlar. Dağıtım ağı, iletim ağından daha küçük ölçekte olup, düşük gerilim hatları ve trafo merkezlerinden oluşur. Dağıtım trafo merkezleri, elektrik enerjisinin düşük gerilim haline getirildiği ve dağıtım hatlarına verildiği yerlerdir. Yani dağıtım hatları düşük voltajlı olup yerel trafolarda voltaj seviyelerini düşürür ve son kullanıcıya ulaşan enerjiyi kontrol eder. Elektrik dağıtım şebekelerinde, yüksek gerilimli hatlar ve transformatörler, elektrik enerjisinin dağıtımını ve iletimini sağlar. İletim hatları, genellikle yüksek gerilimli ve uzun mesafelidir. Elektrik enerjisi, iletim hatları boyunca yüksek gerilimli AC (alternatif akım) veya DC (doğru akım) sinyalleri olarak taşınır. Dağıtım şebekelerine gelince transformatörler vasıtasıyla daha düşük gerilimli AC sinyalleri dönüştürülüp şebekenin sonunda tüketicinin kullanabileceği seviyede ev ve işyerlerine kullanılmak üzere ulaşır. İletim hatları boyunca yüksek gerilimli akım sinyalleri dağıtım şebekelerinde düşük gerilimli akım sinyalleri kullanılmasının en temel nedeni uzun mesafelerde yüksek gerilimli akım sinyallerinin düşük gerilimli akım sinyallerine göre güç kayıplarının daha az olmasıdır. Güç sistemleri, elektrik enerjisinin üretimi, iletimi, dağıtımı ve tüketimi için tasarlanmıştır. Son olarak tüketim aşaması, elektrik enerjisinin tüketicinin ihtiyacı doğrultusunda kullanımınıdır.

Tüm endüstriyel ve evsel faaliyetlerde elektrik enerjisi kullanılmaktadır ve güç sistemleri bu enerjinin güvenilir bir şekilde sağlanmasını sağlamaktadır. Elektrik enerjisi, modern dünyanın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir ve güç sistemleri bu enerjinin güvenli, sürekli ve etkili bir şekilde üretilmesi, taşınması ve tüketicilere dağıtılması için kullanılır. Güç sistemleri aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişte de büyük bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, günümüzün modern teknolojik dünyasında oldukça önemli bir yere sahiptir.

2.5. Elektrik Dağıtım Şebekeleri

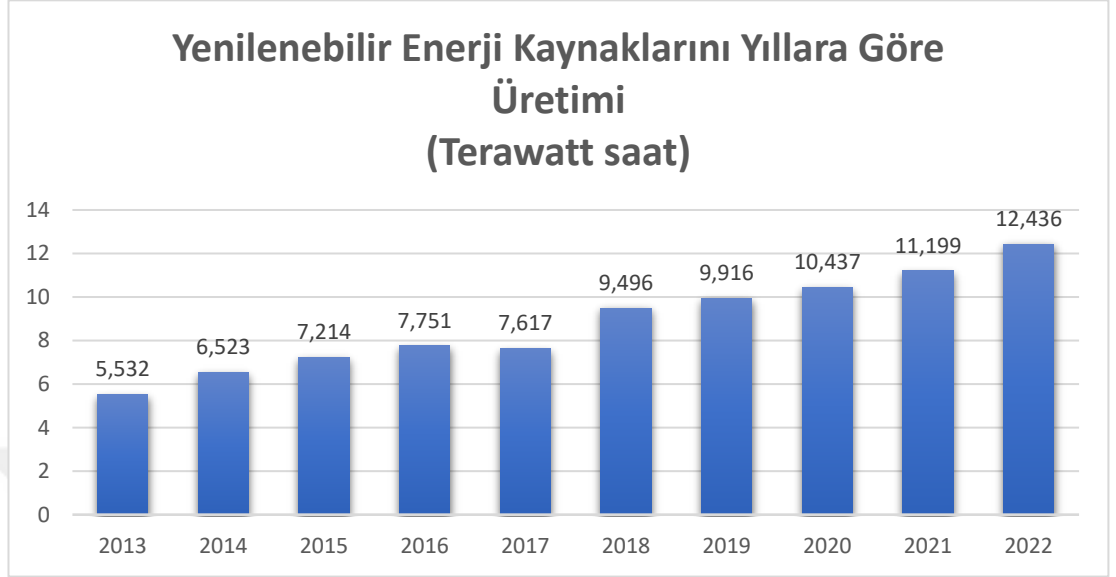
Elektrik dağıtım şebekeleri, elektrik enerjisinin tüketicilere dağıtımının yapıldığı ağlardır. Bu şebekelerdeki güç sistemleri, elektrik enerjisi akışını düzenleyen ve sistemdeki gerilim ve akımı kontrol eden bileşenlerdir. Güç sistemleri, enerji üretiminden sonra elektrik enerjisinin iletiminde ve dağıtımında önemli bir rol oynar. Dağıtım şebekeleri, üç farklı düzeyde çalışırlar: düşük gerilim, orta gerilim ve yüksek gerilim. Düşük gerilim genellikle bireysel evler, ofisler ve küçük endüstriyel tesisler gibi yerlerde kullanılır. Orta

gerilim genellikle küçük ve orta ölçekli endüstriyel tesislerin yanı sıra şehirlerin çevresindeki banliyölerde kullanılır. Yüksek gerilim genellikle uzun mesafelerdeki enerji transferlerinde ve büyük endüstriyel tesislerde kullanılır. Güç sistemleri, dağıtım şebekelerindeki akım ve gerilimi kontrol etmek için birçok farklı bileşenden oluşur. Bunlar arasında transformatörler, regülatörler, kondansatör bankaları, kesiciler ve izolatörler bulunur. Transformatörler, elektrik enerjisinin gerilimini veya akımını değiştirmek için kullanılır. Elektrik enerjisi, dağıtım şebekesine daha yüksek gerilimde aktarılır, ancak tüketim noktalarına doğru ilerledikçe gerilim seviyesi azaltılır. Bu seviye değişimi, transformatörler aracılığıyla gerçekleştirilir. Regülatörler, gerilimi istenilen seviyede tutmak için kullanılır. Dağıtım şebekeleri genellikle yüksek akım talebi nedeniyle voltaj düşmesine eğilimlidir. Regülatörler, bu gerilim düşüşlerini tespit ederek, gerilimi belirli bir seviyede tutmak için gerilimi artırır veya azaltır. Kondansatör bankaları, dağıtım şebekelerindeki enerji verimliliğini artırmak için kullanılır. Kondansatörler, dağıtım şebekesindeki reaktif gücü düşürerek gerçek güç aktarımını artırır. Kesiciler, bir hat arızası oluştuğunda hattı kesebilen bileşenlerdir.

2.6. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal olarak yenilenen hızda, doğada sınırsız miktarda bulunan, sınırsız miktarda üretilen ve tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar sürekli olarak ve doğal süreçler sonucu yenilenebilir. Çevresel etkileri daha az olup kirliliğe yol açmadığı için çevre dostudur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, fosil yakıtların kullanımının ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunur. Yenilenebilir enerji kaynakları karbondioksit emisyonlarını azaltarak çevrenin korunmasına ve yerli kaynaklar oldukları için enerjide dışa bağımlılığın azalmasına yardımcı olmaktadır. Bunun yanında istihdamın artmasına katkıda bulunup kamuoyundan yaygın ve güçlü destek almaktadır. Şekil 2.1’de 2013 ve 2022 yılları arasında Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IREA) tarafından yapılan araştırmaya göre elde edilen analizde yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllara göre dağılımı Terawattsaat (TWh) cinsinden verilmiştir.[1] Bu tabloya göre yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sektöründe üretilen miktarı 2020 yılından sonra Terawattsaat cinsinden çift hanelere ulaşmış ve 10 Terawattsaat üzerinde bir değer elde edilmiştir. Bu

durum yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sektörüne yıldan yıla entegre olup enerji üretiminde önemli bir paya sahip olduğunu göstermektedir.

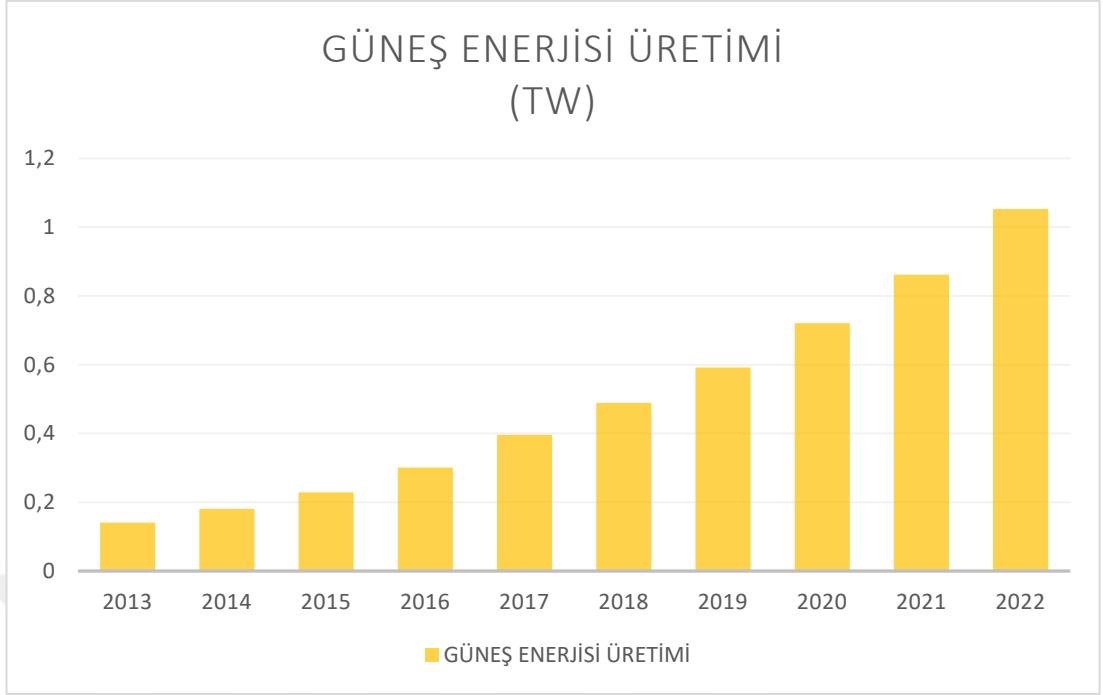


Şekil 2.1 : Yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllara göre dağılımı

Yenilenebilir enerji kaynakları, dünya genelinde enerji üretiminde giderek artan bir öneme sahiptir ve fosil yakıtların yerini almaya başlamaktadır. Bunun nedeni, enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtların tükenmekte olması ve çevreye verdiği zararların artmasıdır. Dünya enerji üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları şunlardır:

2.6.1. Güneş enerjisi

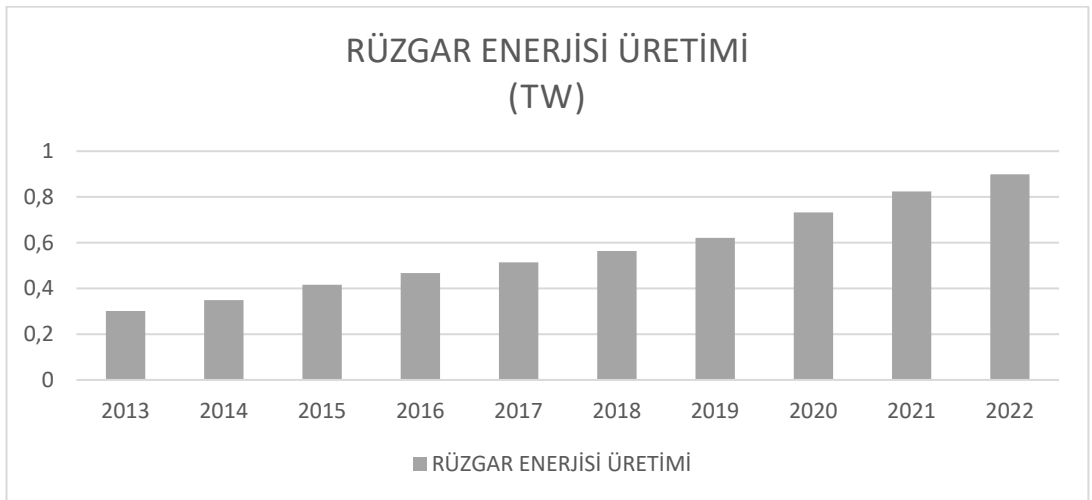
Güneş panelleri vasıtasıyla güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi, dünya genelinde özellikle güneşli bölgelerde önemli bir enerji kaynağıdır. Güneşten gelen ışınları ve ısıyı kullanarak elektrik enerjisi veya ısı enerjisine dönüştürür. Dünya genelinde güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yaygın olanıdır. Güneş enerjisi, 2022 yılında dünya genelinde toplamda 1,053 TW güneş enerjisi kurulu gücü bulunmaktadır. Şekil 2.2’de güneş enerjisinin kullanımına dair grafik verilmiştir.



Şekil 2.2 : Güneş enerjisinin dünyada yıllara göre üretimi

2.6.2. Rüzgar enerjisi

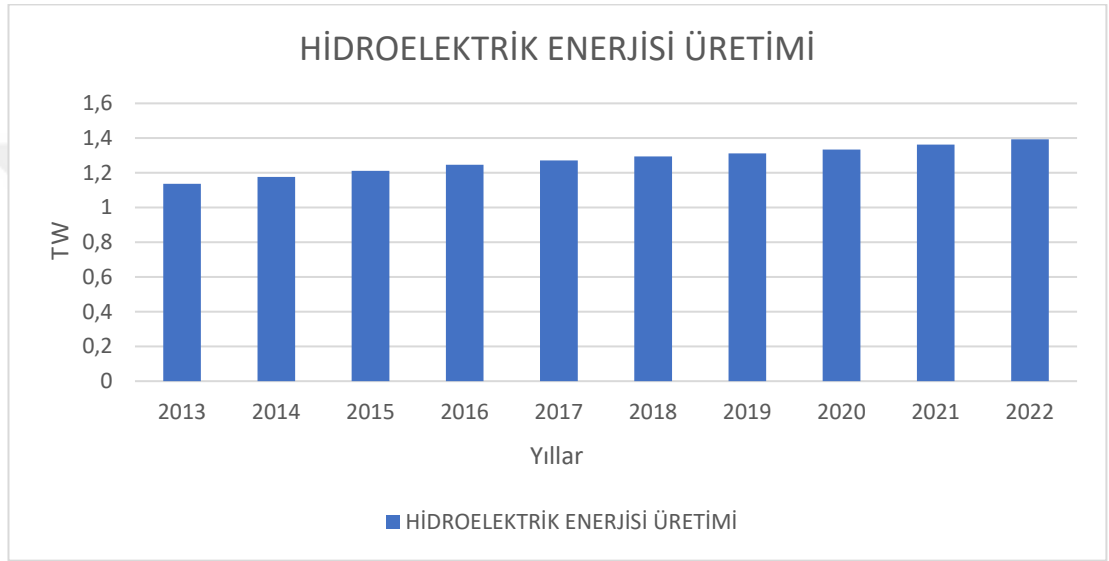
Rüzgar türbinleri aracılığıyla rüzgarın hareket enerjisinden faydalanarak elektrik enerjisi üretilmesidir. Rüzgar enerjisi, özellikle deniz açıklarında yüksek rüzgar hızlarına sahip bölgelerde önemli bir enerji kaynağıdır. Bu yöntem, dünya genelinde yaygın olarak kullanılan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. 2022 yılında dünya genelinde toplamda 0,899 TW rüzgar enerjisi kurulu gücü bulunmaktadır. Şekil 2.3'te rüzgar enerjisinin kullanımına dair grafik verilmiştir.



Şekil 2.3 : Rüzgar enerjisinin dünyada yıllara göre üretimi

2.6.3. Hidroelektrik enerji

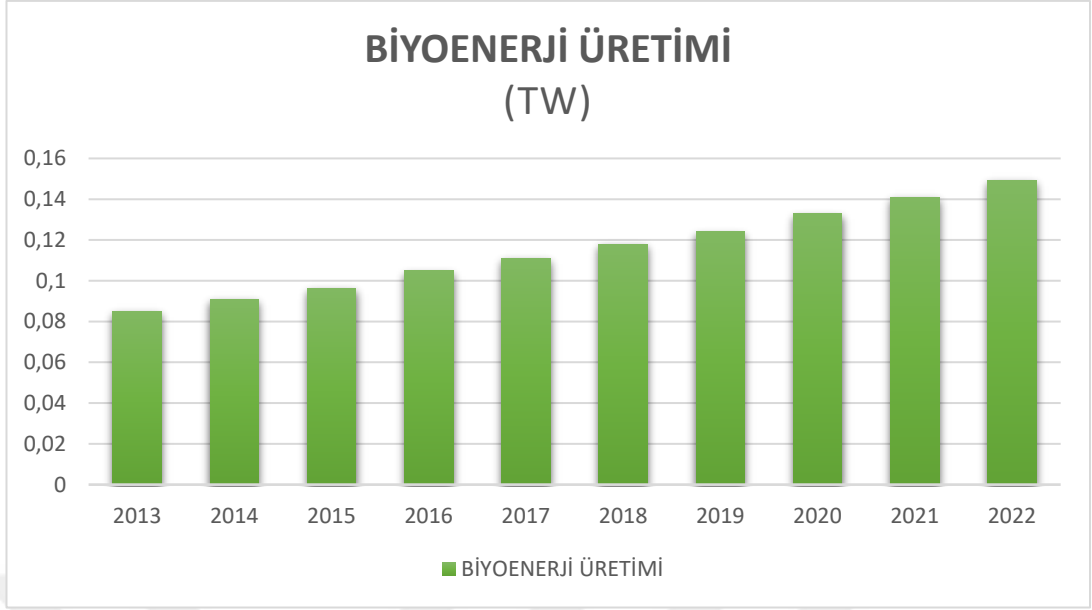
Barajlardan gelen suyun potansiyel enerji farkı kullanılarak, türbinler aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Hidroelektrik enerji, özellikle büyük nehirlerde ve barajlarda önemli bir enerji kaynağıdır. Bu yöntem, özellikle büyük barajlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. 2022 yılında dünya genelinde toplamda 1,393 TW hidroelektrik enerji kurulu gücü bulunmaktadır. Şekil 2.4'te hidroelektrik enerjinin kullanımına dair grafik verilmiştir.



Şekil 2.4 : Hidroelektrik enerjisinin dünyada yıllara göre üretimi

2.6.4. Biyokütle enerjisi

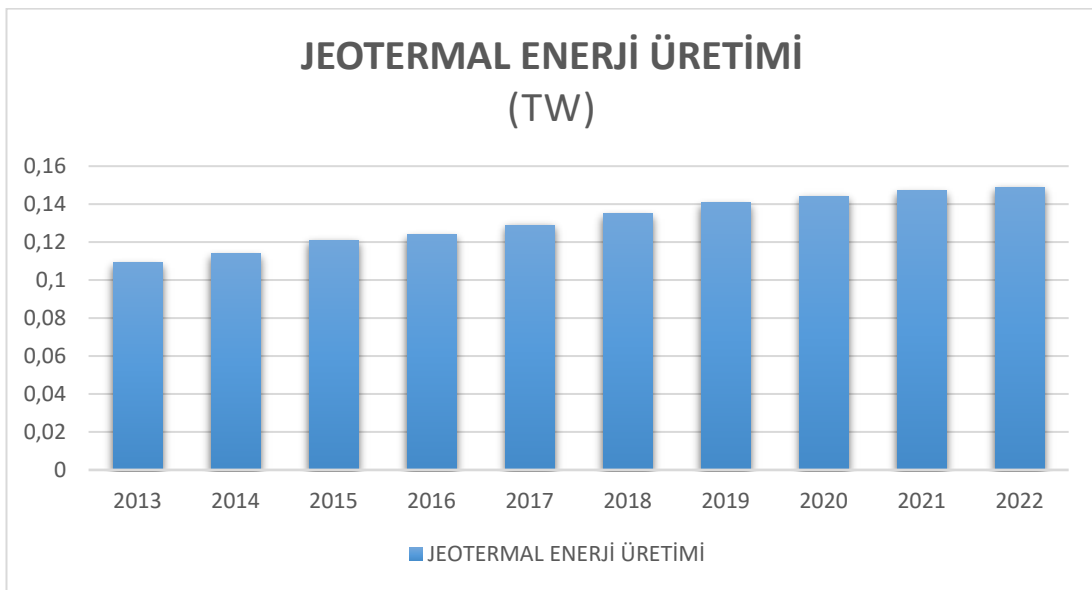
Organik maddelerin (odun, bitkiler, hayvan atıkları gibi biyolojik kaynaklar) yakılarak veya fermantasyon yoluyla elde edilen gazların kullanılarak elektrik veya ısı enerjisi elde edilmesiyle oluşan bir enerji türüdür. Biyokütle enerjisi, özellikle çiftliklerde ve ormanlarda toplanan organik atıklardan elde edilebilir. Bu yöntem, özellikle biyokütle enerji santrallerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. 2022 yılında dünya genelinde toplamda 0,149 TW biyokütle enerji kurulu gücü bulunmaktadır. Şekil 2.5'te biyokütle enerjisinin kullanımına dair grafik verilmiştir.



Şekil 2.5 : Biyokütle enerjisinin dünyada yıllara göre üretimi

2.6.5. Jeotermal enerji

Yer altında bulunan sıcak kaynaklardan elde edilen termal enerjinin kullanılarak elektrik enerjisi üretilmesidir. Yer altındaki sıcak kayaların enerjisi, buhar türbinleri aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Jeotermal enerji, özellikle volkanik bölgelerde önemli bir enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji, 2022 yılında dünya genelinde toplamda 0,149 TW jeotermal enerji kurulu gücü bulunmaktadır. Şekil 2.6’de jeotermal enerjinin kullanımına dair grafik verilmiştir.



Şekil 2.6 : Jeotermal enerjisinin dünyada yıllara göre üretimi

2.6.6. Deniz dalgası enerjisi

Deniz dalgalarının hareket enerjisinden elektrik enerjisi üretilmesidir. Şu an için dünya genelinde sınırlı sayıda ticari ölçekte deniz dalgası enerjisi projesi mevcuttur. Gelgit enerjisi, denizlerdeki gelgit hareketlerinden elektrik enerjisi üretilmesidir. Şu an için dünya genelinde sınırlı sayıda ticari ölçekte gelgit enerjisi projesi mevcuttur.

2.6.7. Hidrojen enerjisi

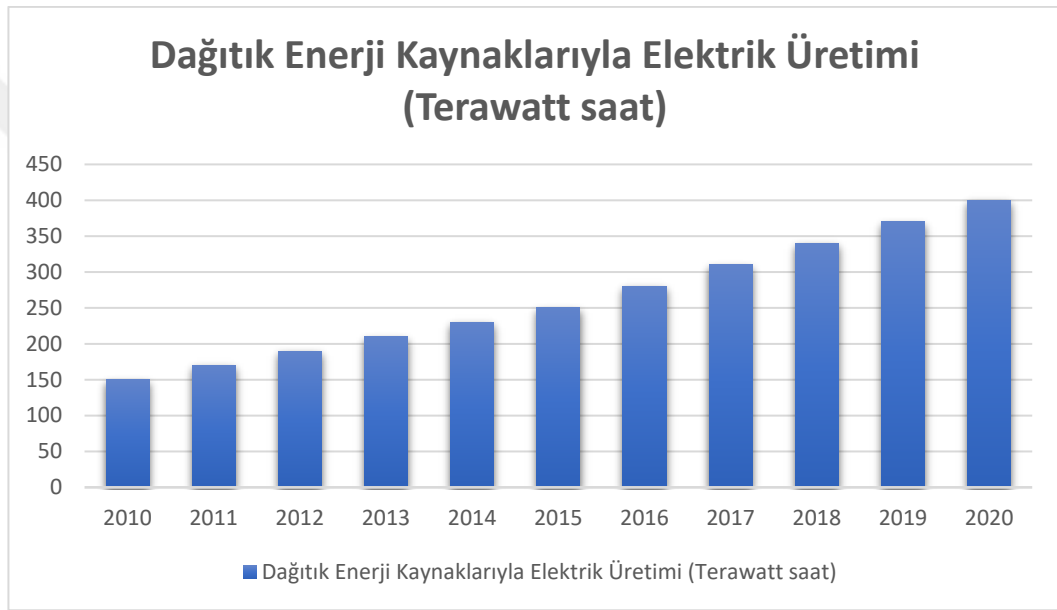
Hidrojen enerjisi, hidrojenin yakılması veya yakıt hücreleri kullanılarak elektrik enerjisi üretilmesidir. Hidrojen enerjisi şu an için dünya genelinde sınırlı ölçekte kullanılmaktadır.

2.7. Dağıtık Enerji Kaynakları

Dağıtık Enerji Kaynakları (Distributed Energy Resources-DER), genellikle küçük ölçekli, yerel ve bireysel tüketim ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılan, merkezi olmayan genellikle yerel altyapıya uyumlu, modüler ve yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Başka bir deyişle dağıtık enerji kaynağı, enerjinin üretildiği yerde veya enerji tüketimine yakın noktalarda üretilen enerji kaynaklarına verilen genel bir isimdir. Bu enerji kaynakları genellikle yenilenebilir enerji kaynaklarıdır ve bölgesel ölçekte kullanılmaktadır. Bu kaynaklar, enerjinin üretiminden tüketimine kadar olan tüm aşamalarda dağıtık bir yapıda olabilir. Dağıtık enerji sistemleri, enerji arzını daha güvenilir, sürdürülebilir ve çevre dostu hale getirirken, elektrik şebekesinin yükünü de azaltarak daha verimli bir enerji dağıtım sistemi sağlar. Dağıtık enerji kaynakları, çevresel etkileri daha az olan ve enerji tedarikindeki güvenliği ve istikrarı artıran daha sürdürülebilir bir enerji sistemine geçişi teşvik etmek için kullanılır.

Dağıtık enerji kaynakları arasında fotovoltaik (PV) güneş panelleri, rüzgar türbinleri, hidroelektrik enerji sistemleri, biyokütle enerjisi sistemleri, yakıt hücresi sistemleri, mikro hidroelektrik sistemleri ve kombinasyonları, enerji depolama sistemleri gibi birçok farklı tür bulunmaktadır. Dünyada dağıtık enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmaktadır. 2020 yılı itibarıyla dünya genelinde toplam kurulu gücün yaklaşık %32'si yenilenebilir enerjiden sağlanmaktadır ve bunun büyük bir kısmı dağıtık enerji kaynakları tarafından sağlanmaktadır. Özellikle güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve hidroelektrik enerji

gibi dağıtık enerji kaynakları hızla yaygınlaşmaktadır. 2020 yılında dünya genelinde kurulu güneş enerjisi kapasitesi 760 GW'ı aşarken, rüzgar enerjisi kapasitesi ise 735 GW seviyesine ulaşmıştır. 2019 yılında, dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin %72'si dağıtık enerji kaynakları tarafından sağlandı. Yine aynı yıl, dünya genelindeki güneş enerjisi kurulu gücü 630 GW, rüzgar enerjisi kurulu gücü 651 GW ve hidroelektrik kurulu gücü 1.2 TW seviyesindeydi. 2020 yılı itibariyle, dünya genelinde 145 GW'tan fazla gücün dağıtık enerji kaynaklarından elde edildiği tahmin ediliyor. Ayrıca, DEK kapasitesi 2019'da dünya genelinde %9,3 oranında artarak 580 GW'a ulaştı.



Şekil 2.7 : Dağıtık enerjinin dünyada yıllara göre üretimi

Dünyada, dağıtık enerji kaynaklarına olan ilgi, kullanım ve yatırımlar hızla artmaktadır. Son yıllarda, yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyetleri düştükçe, dağıtık enerji kaynaklarının kullanımı daha ekonomik hale geldi. Bunun sonucunda, dağıtık enerji kaynaklarının toplam enerji üretimindeki payı hızla artmaktadır. Özellikle güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi, düşük maliyetleri ve sürdürülebilir doğası nedeniyle giderek daha popüler hale gelmektedir. Dağıtık enerji kaynakları, sadece yerel tüketim için kullanılmayıp, aynı zamanda elektrik şebekesine de entegre edilebilmektedir. Bu sayede tüketicilerin elektrik maliyetlerini düşürebilir. Ayrıca, dağıtık enerji sistemleri, deprem, yangın, sel gibi afet durumlarında da önemli bir rol oynayabilir. Çünkü merkezi enerji üretim sistemlerinde meydana gelebilecek bir kesinti, tüm şebekede enerji kesintisine

neden olabilirken, dağıtık enerji kaynaklarında oluşacak bir kesinti, sadece yerel bir alanı etkiler.

2.8. Güneş Enerjisi ve Panelleri

Güneş enerjisi, güneşten gelen elektromanyetik radyasyonu kullanarak elektrik enerjisi üretmek için başvurulan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Güneş panelleri, güneş ışınlarının enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Güneş panelleri, fotovoltaik paneller olarak da adlandırılır. Güneş panelleri, güneş ışınlarını alarak enerjiye dönüştürmek için fotovoltaik hücreler kullanır. PV hücreleri genellikle silisyum gibi malzemelerden yapılır. Güneş panelleri, çoğunlukla silisyum kristallerinden yapılmaktadır. İlk olarak, silisyum mineralinden saf silisyum üretilir ve plakalar halinde kesilir. Kesilen silisyum plakalar işlenerek P-tipi ve N-tipi silisyum parçaları elde edilir. P-tipi ve N-tipi silisyum parçaları birleştirilerek PN geçişi oluşturulur. PN geçişli hücreler bir araya getirilerek güneş ışınlarından elektrik enerjisi üretmek üzere tasarlanmış fotovoltaik hücreler oluşturulur ve her hücre, pozitif ve negatif yüklü bir tabakaya sahip olur. Güneş ışınları, negatif tabakaya düşer ve elektronları harekete geçirir. Bu elektronlar, pozitif tabakaya doğru hareket eder ve bu hareket elektrik akımı olarak ölçülebilir. Güneş panelleri, ürettikleri elektrik enerjisini DC (doğru akım) olarak üretirler. Bu doğru akım, inverter adı verilen bir cihaz tarafından AC (alternatif akım) enerjiye dönüştürülür. Bu sayede şebekeye uygun hale getirilen enerji, evler ve işletmeler gibi tüketicilere iletilir.

PV hücrelerindeki elektrik akımı, güç olarak ifade edilir ve Watt cinsinden ölçülür. Güneş panelleri, birçok PV hücresinin seri ve paralel olarak bağlanmasıyla üretilir. Bu bağlantılar, panelin voltaj ve akım değerlerini belirler. Güneş panellerinin verimliliği, panelin güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştürme oranını ifade eder ve yüzde olarak ifade edilir. Genellikle, panel verimliliği %15 ila %20 arasındadır. Ancak, bazı paneller %22'ye kadar verimlilik sağlayabilir. Güneş panelleri, Watt başına maliyet açısından da değerlendirilirler. Bu maliyet, panelin bir Watt elektrik üretmek için gereken maliyettir. Verimlilik, panelin boyutuna, markasına ve teknolojisine bağlı olarak değişebilir. Güneş panellerinin elektrik enerjisi üretimini matematiksel olarak hesaplamak için, aşağıdaki formül kullanılabilir: Bu hesaplama, güneş panellerinin belirli bir süre boyunca üretebileceği toplam enerji miktarını hesaplamak için kullanılabilir.

$$P = \eta \cdot A \cdot I \cdot V \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de,

P , panelden üretilen güç (watt)

η , panellerin verimliliği (genellikle yüzde cinsinden ifade edilir)

A , panel yüzey alanı (metrekare)

I , güneş ışınlarının yoğunluğu (watt/metrekare)

V , panelin çalışma voltajı (volt)

2.9. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi, atmosferdeki basınç farklarından dolayı oluşan hava hareketlerinin kinetik enerjisinden elde edilen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi, dünya çapında elektrik üretiminde önemli bir kaynak haline gelmiştir. Bu enerji türü, rüzgar türbinleri olarak da bilinen rüzgar panelleri aracılığıyla yakalanır. Rüzgar türbinleri, rüzgarın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren ve bir jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisi üreten cihazlardır. Rüzgar türbinleri, genellikle çelik ve beton yapılardan oluşan büyük türbin kanatlarına, jeneratörlere, transmisyon sistemlerine ve kulelere sahiptir. Rüzgar türbinlerinin yapımı oldukça karmaşık bir süreçtir. Rüzgar türbinlerinin tasarımı, aerodinamik, yapısal mukavemet, güvenlik, verimlilik ve diğer faktörleri dikkate alan mühendislik hesaplamaları ve simülasyonları gerektirir. Rüzgar türbinleri için yapı malzemeleri ve parçaları, yüksek mukavemetli çelik veya alüminyum alaşımları ve cam elyaf takviyeli plastik veya karbon elyaf takviyeli plastikten imal edilir. Türbin kanatları, rotor kanatları olarak da adlandırılır. Genellikle türbin kanatları cam elyaf(fiberglas) takviyeli plastik veya karbon fiber takviyeli plastik gibi kompozit malzemelerden üretilir. Bu malzemeler, hafif ve güçlüdür ve aerodinamik şekilleri, verimlilik için özel olarak tasarlanır. Kanatlar, genellikle iki veya üç adet olmak üzere, türbin(rotor) göbeğine yerleştirildikten sonra birleştirilir. Türbin kanatlarının açısı, rüzgarın yönüne ve hızına göre değişebilir. Gövde ise genellikle çelik veya betondan yapılır. Rotor rüzgar türbinlerinde, jeneratör ve diğer elektrik ekipmanları vasıtasıyla mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlar. Jeneratör ve diğer elektrik ekipmanları, genellikle türbin kulesinde bulunur.

Rüzgar türbinleri, genellikle açık arazilerde veya denizlerdeki rüzgar çiftliklerinde kurulur. Rüzgar türbinleri, rüzgar enerjisini kinetik enerjiye dönüştürmek için çalışır. Rüzgar, türbin(rotor) kanatlarına çarpar. Rüzgar türbini, türbin kanatlarındaki aerodinamik güç sayesinde dönme hareketine dönüştürülür. Türbin(rotor) kanatlarının hızı arttıkça, türbin göbeğindeki rotor denilen mil dönmeye başlar. Rotorun hareketi, jeneratörü harekete geçirir. Jeneratörler, diğer alternatif enerji kaynaklarındaki gibi, manyetik alanın dönüşü ile birlikte elektrik üretmek için manyetik bobinler kullanır. Jeneratörün hareket etmesi, elektrik enerjisi üretmek için kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlar. Üretilen bu elektrik, önce bir kontrol birimine gönderilir. Bu kontrol birimi, türbinin gücünü ve hızını izler ve kontrol eder. Jeneratör, alternatif akım (AC) elektriği üretir. Üretilen elektrik, türbinin kulesi boyunca yerleştirilmiş bir elektrik kablosu yoluyla ana güç kaynağına iletilir. Elektrik daha sonra bir transformatöre gönderilir, burada AC elektrik DC elektriğe dönüştürülür. DC elektrik daha sonra bir inverter tarafından alınır ve şebekeye uygun frekans ve genlikte AC elektriğe dönüştürülür. Özetle şebekedeki ana güç kaynağına bağlı bir trafo, çıkışı şebekedeki voltaja ve frekansa uygun hale getirir ve güç şebekeye iletilir.

Rüzgar türbinlerinin çalışması ve performansı, rüzgar hızının değişimlerine bağlıdır. Daha yüksek rüzgar hızları, türbin kanatlarının daha hızlı dönmesine ve daha fazla enerji üretilmesine neden olur. Ancak, aşırı yüksek rüzgar hızları, türbinin zarar görmesine ve hatta hasar görmesine neden olabilir. Bu nedenle, rüzgar türbinleri genellikle belirli bir rüzgar hızı aralığında en yüksek verimi sağlamak üzere tasarlanır. Rüzgar türbinlerinin şebekeye bağlanması, elektrik üretimi için bir enerji depolama sistemi gerektirmez. Bunun nedeni, elektrik üretiminin rüzgar hızına bağlı olarak değişebilmesidir. Bu nedenle, rüzgar türbinleri genellikle elektrik şebekesi ile bağlantılı olarak çalışır ve elektrik üretimini sürekli olarak sağlamak için farklı rüzgar türbinlerinden gelen elektrik üretimi birleştirilir.

Rüzgar türbinleri, genellikle verimliliklerini ölçmek için birçok parametre kullanırlar. Bu parametreler Kapasite faktörü, güç çıkışı, rotor çapı, yük faktörüdür. Kapasite faktörü, rüzgar türbininin yıllık ortalama üretim kapasitesinin, maksimum kapasitesine oranıdır. Güç çıkışı, rüzgar türbininin ürettiği toplam güç çıkışıdır ve genellikle kilovat (kW) cinsinden ölçülür. Rotor çapı, rüzgar türbininin kanatlarının uçtan uca ölçülen

uzunluğudur ve metre (m) cinsinden ölçülür. Yük faktörü, rüzgar türbininin kapasitesinin, yıllık elektrik üretimine oranıdır.

Dönüştürülen elektriksel kapasite, türbinin gücüne, rüzgar türbinlerinin gücü ise türbin(rotor) kanatlarının yüzey alanı, kanat sayısı, rüzgar hızı ve havanın yoğunluğuna bağlıdır. Rüzgar türbinlerinin performansı, yoğunlukla türbinin rotor çapı ve rüzgar hızı arasındaki ilişkiyi ifade eden Betz kanunu ile tanımlanır. Betz kanunu, bir rüzgar türbininin teorik olarak elde edebileceği en yüksek verimliliği sınırlandırır. Bu kanun, rüzgar türbinlerinin tasarımında önemli bir faktördür. Betz Limit formülü 1919'de Alman fizikçi Albert Betz tarafından ortaya konulan bir bulgudur. Bu bulguya göre, bir rüzgar türbini, rüzgarın kinetik enerjisinin sadece %59,3'ünü mekanik enerjiye dönüştürebilir. Bu sınırı "Betz Limiti" denir.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \quad (2.2)$$

Denklem 2.2'de,

P = üretilen güç (watt),

ρ = hava yoğunluğu (kg/m³),

A = rotor yüzey alanı (m²),

V = rüzgar hızı (m/s),

C_p = güç katsayısı

Burada A = rotor yüzey alanı alanıdır ve m² ile ifade edilir.

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (2.3)$$

Güç katsayısı, rüzgar türbininin aerodinamik verimliliğini belirler. Herhangi bir tasarlanmış rüzgar türbininin teorik maksimum güç verimliliği 0,59'dur, yani rüzgar tarafından taşınan enerjinin %59'unun üzerindeki bir miktar rüzgar türbininden çıkarılamaz. Bu durum "güç katsayısı" olarak adlandırılır ve şu şekilde tanımlanır.

$$C_{pmax} = 0.59 \quad (2.4)$$

Bu formülde, rüzgar hızı (V) arttıkça, rüzgar türbininin gücü de artar. Ancak, belirli bir rüzgar hızının üzerinde, rüzgar türbini gücü sabit kalır veya hatta azalabilir.

2.10. Yapay Zeka

Yapay zeka, genel olarak girdileri işleyen ve çıktılar üreten, bilgisayar sistemlerinin insan benzeri zeka davranışlarını sergilemek için tasarlandığı, insan benzeri bir şekilde düşünmesine ve problemleri çözmesine olanak sağladığı bir bilgisayar bilimi alanıdır. Yapay zekanın amacı, insanların yapabileceği görevleri yerine getirebilecek akıllı bilgisayar sistemleri oluşturmaktır. Tarihsel olarak, Yapay zeka konsepti antik Yunan felsefesi ve mitolojisi ile başladı. Ancak Yapay zekanın modern tarihi, 1950'lerde Alan Turing, John McCarthy ve diğerleri tarafından yaratılan Yapay zeka fikirleriyle başladı. 1956 yılında, YZ terimi ilk kez bir konferansta kullanıldı. Bu konferans 1956 yılındaki Dartmouth Konferansı'ydı. Konferans, bilim insanlarının bilgisayarlarla zeki davranışlar geliştirmenin mümkün olup olmadığını tartıştığı bir toplantıydı. Yapay zeka araştırmaları, ilk yıllarında sembolik yapay zeka olarak bilinen, insan zekasının simülasyonu yoluyla zeka oluşturmak için mantıksal kuralları kullanma yaklaşımına odaklandı. Sonraki yıllarda yapay zeka uygulamaları geliştirilerek birçok alanda yaygın olarak kullanılmaya başlandı.

Yapay zeka algoritmaları, verileri işlemek için farklı teknikler kullanır. Bu teknikler arasında makine öğrenmesi, derin öğrenme, doğal dil işleme, genetik algoritmalar, karar ağaçları ve uzman sistemler yer alır. Bu teknikler, YZ algoritmalarının çalışma prensiplerine göre farklılaşır. Bu yaklaşımlar, bilgisayarların kendilerinin veri örnekleri üzerinden öğrenmelerine izin veren daha veriye dayalı yöntemlerdir. Yapay Zeka, bir dizi matematiksel formül ve algoritma kullanılarak gerçekleştirilir. Bunlar; Veri Toplama, Veri Ön işleme, Özellik Çıkarma, Model Eğitimi, Model Testi, Tahminlerdir. Veri toplama, ilk yapılan işlemdir. Yani sistemin veri toplamasıdır. Bu veriler, bir sensör, veri tabanı veya başka bir kaynaktan gelir. Veri ön işlemede veriler, işlenir. Bu adımda, veriler ölçeklenir, eksik değerler doldurulur ve gürültü filtreleme işlemleri yapılır. Özellik çıkarmada veriler, özellik çıkarma adımıyla daha yüksek seviyeli özniteliklere dönüştürülür. Bu adımda, verilerin anlamlı özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklerin matematiksel olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Model Eğitiminde, özellik çıkarma adımıyla belirlenen özelliklerin kullanıldığı matematiksel bir modelin oluşturulmasıdır.

Bu adımda, veriler bir eğitim seti olarak kullanılır ve algoritma bu verileri kullanarak bir model oluşturur. Model Testinde, eğitim verileri dışındaki bir veri seti üzerinde modelin doğruluğunun test edildiği adımdır. Bu adımda, modelin performansı ölçülür ve gerektiğinde düzeltmeler yapılır. Son olarak tahminler kısmında, model eğitimi tamamlandıktan ve test edildikten sonra, yapay zeka sistemi tahminler yapabilir ve sonuçlar üretebilir. Bu işlem adımlarının tamamı matematiksel formüller ve istatistiksel yöntemler kullanılarak gerçekleştirilir. Özellik çıkarma ve model eğitimi adımları, genellikle matris hesaplama, optimizasyon algoritmaları ve derin öğrenme gibi yöntemler kullanılarak gerçekleştirilir.

Yapay zeka algoritmaları, farklı sorunlara farklı mantıksal çözümler üretebilmek için birçok farklı matematiksel formül ve istatistiksel yöntem kullanır. Literatürde sık kullanılan popüler yapay zeka algoritmaları makine öğrenmesi, doğrusal regresyon, karar ağacı, yapay sinir ağı, destek vektör makineleri, K-en yakın komşu (KNN), derin öğrenme, doğal dil işleme (NLP), görüntü işleme, genetik algoritmalar, bulanık mantık, öğrenme vektörü quantizationu(nicelemesi) (LVQ) olarak sayılabilir. Makine öğrenmesi, bilgisayarların belirli bir görevi yerine getirmek için verileri kullanarak öğrenmelerini sağlayan bir yapay zeka alanıdır. Bu algoritma türü, verileri analiz ederek modeller oluşturur ve gelecekteki verileri tahmin etmek için bu modelleri kullanır. Doğrusal regresyon (Linear Regression), veriler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için kullanılan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Bu algoritma, bir bağımsız değişkenin bir veya daha fazla bağımlı değişken üzerindeki etkisini ölçer. Bu algoritma, veriler arasındaki doğrusal ilişkiyi bulmak için kullanılır. Örneğin, bir evin fiyatının belirlenmesinde, evin özelliklerine (metrekare, oda sayısı vb.) göre bir doğrusal ilişki kurularak, evin fiyatı tahmin edilebilir. Karar ağacı, bir dizi mantıksal adımdan oluşan bir ağaç yapısı kullanarak karar verme sürecini otomatikleştiren bir algoritmadır. Karar ağacı, her bir düğümde belirli bir özellik üzerindeki bir kararla bir sonraki düğümün belirlenmesiyle oluşturulur. Bu algoritma, verileri sınıflandırmak ve tahmin etmek için kullanılır. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks- ANN), beyindeki sinir ağlarından esinlenerek tasarlanmıştır ve karmaşık verileri analiz etmek için kullanılır. Yapay sinir ağları, girdi katmanı, saklı katman(lar) ve çıktı katmanından oluşur. Her katman, bir önceki katmandan aldığı verileri işleyerek sonuç üretir. Bu algoritma, özellikle resim ve ses tanıma gibi alanlarda etkilidir. Destek vektör makineleri (SVM), birbirinden ayrılan

sınıfları belirlemek için kullanılan bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Bu algoritma, verileri yüksek boyutlu bir uzayda temsil eder ve sınıfları birbirinden ayıran bir çizgi, düzlem veya hiper yüzey bulmaya çalışır. SVM, görüntü sınıflandırması, metin sınıflandırması, biyoinformatik, finansal analiz gibi birçok alanda kullanılır. K-en yakın komşu (K-Nearest Neighbors, KNN), Sınıflandırma problemlerinde kullanılan bir algoritmadır. Yeni bir veri noktası sınıflandırılırken, en yakın K komşusu kullanılarak karar verilir. Örneğin, bir veri noktasının hangi sınıfa ait olduğunu belirlemek için, bu veri noktasına en yakın K noktayı bulur ve bu noktaların sınıfını inceleyerek, veri noktasının sınıfını belirler. K değeri, kullanıcının belirleyeceği bir parametredir. Derin öğrenme (Deep Learning), yapay sinir ağları kullanarak karmaşık problemleri çözmeye odaklanan bir algoritma türüdür. Derin öğrenme, dil tanıma, görüntü işleme, doğal dil işleme, robotik ve otomatik araç sürüşü gibi birçok alanda kullanılır. Doğal dil işleme (NLP), insan dilini anlayabilen ve yorumlayabilen sistemlerin geliştirilmesine odaklanan bir algoritma türüdür. NLP, chatbotlar, makine çevirisi, metin sınıflandırma, duygu analizi gibi birçok alanda kullanılır. Görüntü işleme, görüntüleri analiz eden algoritmalarıdır. Görüntü işleme, araç takibi, yüz tanıma, görüntü sınıflandırması, tıbbi görüntüleme gibi birçok alanda kullanılır. Genetik algoritmalar: Evrimsel süreçleri taklit eden algoritmalarıdır. Genetik algoritmalar, makine öğrenmesinde kullanılan parametrelerin optimize edilmesi, tasarım optimizasyonu, veri sınıflandırma ve kümeleme gibi birçok alanda kullanılır. Bulanık mantık, diğer adıyla puslu mantık ya da bulanık eseme (fuzzy logic), belirsiz ve karmaşık durumlar karşısında net bir sonuç almak ve bu alanlarda karşılaşılan sorulara daha makul cevaplar üretebilmek için kullanılan bir mantık yapısıdır. Bulanık mantık kavramı, net sonuç alamayacağımız durumlar için kullanılır. Öğrenme vektörü quantizationu(nicelemesi) (LVQ), yapay sinir ağlarının bir türü olan ve sinir hesaplamasını kullanan bir algoritmadır. Daha geniş anlamda, bir tür hesaplama zekası olduğu söylenebilir. Bu algoritma öğrenmeye rekabetçi, her şeyi alan bir yaklaşım benimser ve aynı zamanda Perceptron ve geri yayılma gibi diğer sinirsel ağ algoritmalarıyla da ilgilidir. LVQ algoritması kişinin geçecek eğitim örneği sayısını seçmesine izin verir ve sonra bu örneklerin neye benzediğini öğrenir.

Güç sistemleri analizi, yapay zeka uygulamalarının en önemli alanlarından biridir. Güç sistemlerinde yapay zeka ilk olarak 1980'lerde kullanılmaya başlanmıştır. O zamandan beri, yapay zeka teknolojisi giderek gelişmiş ve birçok farklı uygulamalarda

kullanılmıştır. Yapay zeka kullanılarak yük dengelemesi gerçekleştirildiğinde, güç sistemlerinde enerji verimliliği artar ve güç şebekelerindeki denge sorunları minimize edilir. Ayrıca, yapay zeka algoritmaları kullanılarak enerji tüketimi tahminleri yapılabilir ve elektrik enerjisi talebi tahmin edilebilir. Bu sayede enerji yönetimi daha etkili hale getirilebilir. Yapay zeka algoritmaları, güç sistemleri ve elektrik enerjisi sektöründe birçok uygulama alanına sahiptir. Bunlara örnek verilecek olunursa, yük tahmini, akıllı şebekeler, güç kalitesi, tahrik sistemleri, akıllı piller gibi uygulama alanları vardır. Yük tahmini, bir güç sistemine verilen yükü tahmin etmek için kullanılan bir tekniktir. Bu tahminler, enerji planlama ve yönetimi için önemlidir. Yapay zeka algoritmaları, geçmiş yük verilerine dayanarak gelecekteki yükü tahmin etmek için kullanılabilir. Akıllı şebekeler, birçok kaynaktan gelen verileri toplamak, analiz etmek ve yönetmek için kullanılan bir sistemdir. Bu veriler, tüketim ve üretimle ilgili bilgileri içerebilir. Yapay zeka algoritmaları, bu verileri analiz etmek ve şebekenin daha verimli çalışmasını sağlamak için kullanılabilir. Güç kalitesi, güç sistemindeki gerilim dalgalanmaları, harmonik bozulmalar ve diğer sorunlarla ilgilidir. Yapay zeka algoritmaları, bu sorunları tespit etmek ve çözmek için kullanılabilir. Tahrik Sistemleri açısından yapay zeka algoritmaları, elektrik motorlarının verimliliğini artırmak ve enerji tasarrufu sağlamak için kullanılabilir. Bu algoritmalar, motor verilerini analiz ederek optimum çalışma koşullarını belirleyebilir. Akıllı piller, enerji depolama ve dağıtımı için kullanılan bir teknolojidir. Yapay zeka algoritmaları, pil performansını izlemek ve pil ömrünü artırmak için kullanılabilir. Yapay zeka algoritmalarının güç sistemleri ve elektrik enerjisi sektöründe birçok uygulama alanı vardır. Bu alanlarda daha verimli ve etkili bir çalışma sağlayabilirler. Ayrıca, yapay zeka teknolojileri, güç şebekelerinin otomatik olarak yönetilmesi ve kontrol edilmesi için de kullanılmaktadır. Bu teknolojiler sayesinde, enerji kaynaklarının optimize edilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve çevresel etkilerin azaltılması gibi konularda da çalışmalar yürütülmektedir.

Yapay zeka algoritmalarının yöntemleri kullanılarak uygulamalar geliştirilebilir. Regresyon analizi algoritması, bir bağımlı değişkenin birden fazla bağımsız değişkenle ilişkisini inceleyerek, gelecekteki değerleri tahmin etmeye yarayan bir tekniktir. Örneğin, güç sistemleri için kullanılabilir ve gelecekteki yük taleplerinin tahmin edilmesine yardımcı olabilir. Karar ağaçları, veri kümesindeki desenleri analiz ederek sınıflandırma veya regresyon problemlerini çözmeye yardımcı olur. Örneğin, bir güç sisteminde bir

trafo veya jeneratörün bakım zamanlaması gibi karar verme süreçlerinde kullanılabilir. Doğal dil işleme algoritması, insan dilini anlayan bilgisayar sistemleri oluşturmak için kullanılır. Örneğin, elektrik faturalarını analiz etmek ve müşteri hizmetleri için otomatik yanıt sağlamak için kullanılabilir. Derin öğrenme algoritması, yapay sinir ağları aracılığıyla daha karmaşık ve katmanlı veri kümesi yapılarındaki desenleri analiz edebilir. Örneğin, güç sistemlerinde bir arıza durumunda, daha önceki benzer durumlarla karşılaştırılarak otomatik bir arıza teşhisi yapabilir. Güç sistemleri ve elektrik enerjisi alanında, yapay zeka algoritmaları ve teknikleri, şebeke yönetimi, enerji verimliliği, enerji tüketimi tahmini, güç kalitesi, arıza teşhisi ve onarımı gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca, akıllı şebekeler ve akıllı ölçüm sistemleri gibi yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesinde de önemli bir rol oynamaktadır.

Yük dengeleme, güç sistemleri analizinde önemli bir konudur. Yük dengeleme, güç sistemlerindeki yükleri dengelemek için kullanılan bir yöntemdir. Yük dengeleme, güç sistemlerinin stabilitesini artırabilir, enerji tasarrufu sağlayabilir ve elektrik üretim maliyetlerini düşürebilir. Yapay zeka, yük dengeleme konusunda birçok farklı yaklaşım sunmaktadır. Bu yaklaşımlar, genellikle makine öğrenimi veya derin öğrenme teknikleri kullanır. Yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritmalar, parçacık sürü optimizasyonu, doğal dil işleme ve daha pek çok teknik yük dengeleme için kullanılabilir. Bunun yanında literatürde yeni bulunan GWO, SHO, WO ABC gibi yapay zeka optimizasyon algoritmaları güç sistemlerine hızla adapte edilip daha optimal çözümler önermektedir. Bu tekniklerin uygulanması sonucunda, yük dengeleme problemlerinde belirli bir iyileşme elde edilebilir.

2.11. Grey Wolf Optimizer (GWO)

2.11.1. Grey wolf optimizer (gwo) kavramı

Grey Wolf Optimizer (GWO), doğada yaşayan bir kurt sürüsünün lider-takipçi modelinden ilham alınarak geliştirilmiş, doğal bir davranış olan kurt sürüsü avlanma davranışını taklit eden bir meta-sezgisel optimizasyon algoritmasıdır.[12] Bu algoritma, 2014 yılında Mirjalili ve arkadaşları tarafından yayınlanmıştır. GWO algoritması, kurt sürüsünün sosyal yapısını taklit ederek en iyi çözümü aramak için hiyerarşik yapılarından faydalanır. Bu sürüde, lider kurt en yüksek güce sahip olduğu için diğer kurtlar ona

bağlıdır ve takipçilerin sayısı lider kurdan uzaklaştıkça azalır. Lider kurt, sürünün hedefine en hızlı şekilde ulaşmak için yönlendirir. GWO algoritması, kurdu lider, alfa olarak adlandırılan, bir diğeri beta olarak adlandırılan kurdu, bir diğeri de delta olarak adlandırılan üçüncü kurdu takipçi olarak kullanır. Başlangıçta rastgele konumlar atanır. İlk olarak rastgele bir pozisyonda yerleştirilen kurt sürüsü, sırayla lider, beta ve delta kurdu tarafından temsil edilen pozisyonlara yönelir. Bu lider-takipçi hiyerarşisi, kurdu lider olan pozisyonundan, beta kurdunun pozisyonuna ve en son delta kurdunun pozisyonuna kadar ilerlemesine izin verir. Her gri kurt bir çözüm adaydır ve çözümler kurt sürüsünün davranışına göre güncellenir. Bu süreç boyunca, kurdu takipçi olan kurtlar, lider kurdu ve diğer takipçi kurtların pozisyonlarına göre konumlarını güncellerler.

Kurt sürüsünün pozisyonlarının başlangıç değerleri atanır. Her bir kurdun uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Sıralı kurtlar (lider kurt, beta kurt ve delta kurt) belirlenir. Her bir kurt, lider ve diğer takipçi kurtların pozisyonlarına göre arayış, avlanma veya eşleşme hareketlerinden birini yaparak pozisyonunu konumlarını güncellerler. Kurtların uygunluk fonksiyonu değerlerine göre tekrar hesaplanıp sıralanır. İterasyonlar, belirli bir durum veya uygunluk fonksiyonu değeri elde edilinceye kadar devam eder. GWO algoritmasının çalışma prensibi, bir problemin çözümü için doğal bir kurt sürüsünün davranışının taklit edilmesine dayanır. Bu algoritmanın adı, kurtların gri tonlamasından kaynaklanır. Kurtların renk tonları, sürüdeki hiyerarşik pozisyonlarını ve yeteneklerini gösterir. GWO algoritması, yüksek boyutlu, çok değişkenli ve karmaşık problemleri çözmek için kullanılabilir. Bu algoritma, diğer metasezgisel algoritmalar gibi, birçok optimizasyon probleminde başarılı sonuçlar vermiştir.

Özetle GWO algoritması, üç farklı lider kurt ve birçok alt kümeden oluşan bir kurt sürüsü tarafından çalıştırılır. Algoritma üç aşamalı bir işlem modeline sahiptir. İlk aşama avcı kurtların konumlarının belirlenmesidir. Bu aşamada üç lider kurt rastgele bir şekilde belirlenir. İkinci aşama sürü içi kümelenmedir. Bu aşamada kurt sürüsü alt kümelerine bölünür ve lider kurtlar tarafından yönetilir. Üçüncü aşama avcı kurtların konumlarının güncellenmesidir. Bu aşamada kurtların yeni pozisyonları belirlenir ve lider kurtlar sürüyü hareket ettirir. GWO, yüksek boyutlu, gerçek zamanlı, kısıtlı ve çoklu objektifli optimizasyon problemlerinde başarılı sonuçlar vermektedir.

Güç sistemleri ve elektrik enerjisi uygulamalarında, GWO algoritması yük dengeleme, enerji yönetimi, güç kalitesi kontrolü, veri madenciliği ve öngörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır. GWO algoritması, güç sistemi optimizasyonu için uygun bir seçenek olabilir, çünkü birçok değişkenli, doğrusal olmayan ve karmaşık denklemleri çözme yeteneğine sahiptir. GWO algoritması özellikle güç sistemleri ve elektrik enerjisi alanında kullanılmaktadır. Bu alanda kullanım amacı örneğin, güç üretim maliyetini düşürmek, güç kayıplarını azaltmak, gerilim düzenlemesi ve yük dengelemesi gibi problemleri çözmektir.

2.11.2. GWO matematiksel model ve algoritması

Bu alt bölümde sosyal hiyerarşinin, takip etmenin, kuşatmanın ve avı avlamak için matematiksel modelleri sunulmaktadır. Ardından GWO algoritması özetlenmektedir.

GWO'nun tasarımında kurtların sosyal hiyerarşisini matematiksel olarak modellemek için en uygun çözümü alfa (α) olarak kabul ediyoruz. Buna bağlı olarak, ikinci ve üçüncü en iyi çözümler sırasıyla beta (β) ve delta (δ) olarak adlandırılır. Aday çözümlerin geri kalanı ise omega (ω) olarak kabul edilir. GWO algoritmasında avlanma (optimizasyon), α , β ve δ tarafından yönlendirilir. ω kurtları ise bu üç kurtu takip eder.

Yukarıda belirtildiği gibi, gri kurtlar av sırasında avı kuşatır. Kuşatma davranışını matematiksel modeli denklem 2.5 ve 2.6'da gösterilmiştir.

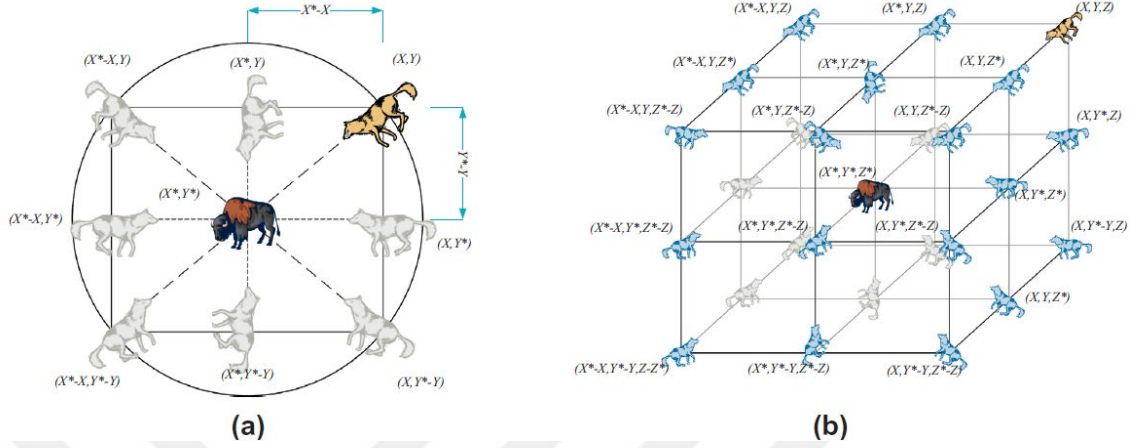
$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (2.5)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (2.6)$$

Burada t , mevcut iterasyonu, $\vec{A}$ ve $\vec{C}$ katsayı vektörlerini, $\vec{X}_p$ avın konum vektörünü ve $\vec{X}$ gri bir kurdun konum vektörünü ifade eder. $\vec{A}$ vektörü denklem 2.7'de, $\vec{C}$ vektörü denklem 2.8'de görüldüğü gibi hesaplanır.

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (2.7)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2 \quad (2.8)$$



Şekil 2.8 : Kurt sürüsünün avlanmasının matematiksel modeli

Denklem 2.7'de $\vec{a}$ 'nın bileşenleri, iterasyonlar boyunca 2'den 0'a doğrusal olarak azalır ve r_1, r_2 $[0, 1]$ aralığında rastgele vektörlerdir. Eşitliklerin denklem 2.7 ve denklem 2.8'de etkilerini görmek için iki boyutlu bir konum vektörü ve olası bazı komşular Şekil 2.8(a)'da gösterilmiştir. Şekil 2.8(a)'da görüldüğü gibi, (X, Y) konumunda olan bir gri kurt, konumlarına göre konumunu avın konumuna (X^*, Y^*) göre güncelleyebilir. $\vec{A}$ ve $\vec{C}$ vektörlerinin değerini ayarlayarak mevcut konuma göre en iyi bireyin(ajanın) etrafındaki farklı yerlere ulaşılabilir. Örneğin, (X^*-X, Y^*) değeri $\vec{A} = (1, 0)$ ve $\vec{C} = (1, 1)$ olarak ayarlanarak elde edilebilir. Gri bir kurdun olası güncellenmiş konumları 3 boyutlu uzayda Şekil 2.8(b)'de gösterilir. Rastgele vektörler r_1 ve r_2 , kurtların bu iki konum arasında herhangi bir konuma ulaşmasını sağlar.

Şekil 2.8'de, bir gri kurt, denklem 2.7 ve denklem 2.8'deki eşitlikleri kullanarak avın etrafındaki boşluk içinde rastgele bir konumda konumunu güncelleyebilir. Aynı kavram n boyutlu bir arama alanına genişletilebilir ve gri kurtlar arama sonucunun son analizine kadar elde ettikleri en iyi çözümün etrafındaki hiper-küplerde veya (hiper-kürelerde) hareket ederler.

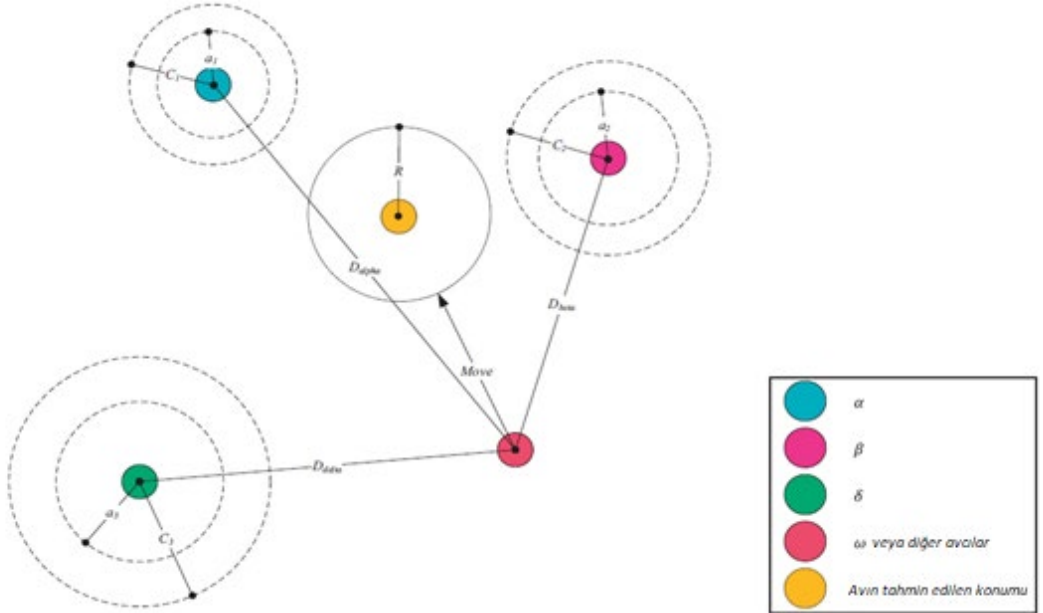
Gri kurtlar avın konumunu tanıma ve onları kuşatma yeteneğine sahiptir. Av genellikle alfa tarafından yönlendirilir. Beta ve delta da zaman zaman avlanmaya katılabilir. Bununla birlikte, soyut bir arama uzayında optimumun (avın) konumu hakkında herhangi

bir fikir olmayı avcılarının konum bulma rastgeleliğine göre bulunur. Gri kurtların avlanma davranışını matematiksel olarak simüle etmek için, alfa (en iyi aday çözüm), beta ve deltanın potansiyel av konumu hakkında daha iyi bilgi sahibi olduğu varsayılır. Bu nedenle, son analize kadar elde edilen ilk üç en iyi çözümü kaydederek diğer arama ajanlarının yani bireylerinin (omegalar da dahil olmak üzere) pozisyonlarını en iyi arama ajanının (birey) pozisyonuna göre güncellemelerini zorunlu kılar. Bu bağlamda aşağıdaki formüller önerilir.

$$\vec{D}_a = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_a - \vec{X}|, \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}|, \vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (2.9)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_a - \vec{A}_1 \cdot (\vec{D}_a), \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{D}_\beta), \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{D}_\delta) \quad (2.10)$$

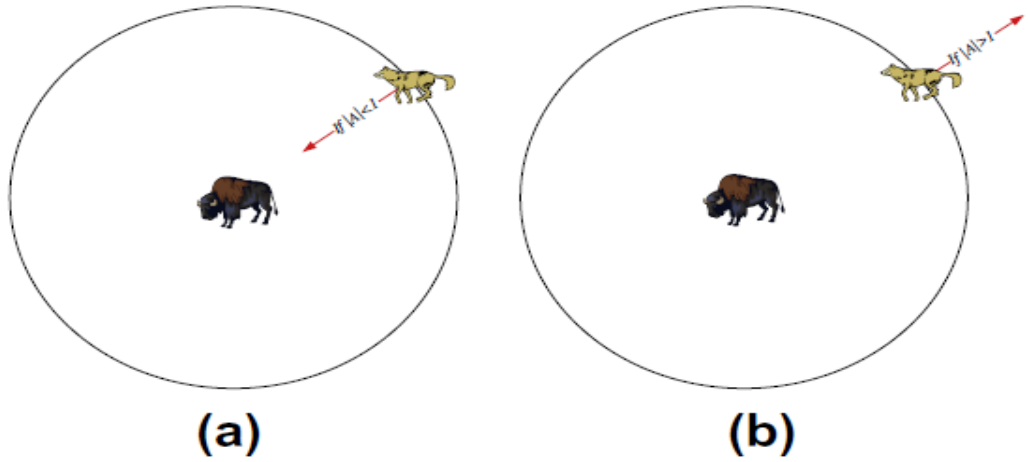
$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (2.11)$$



Şekil 2.9 : Alfa, beta, gama ve omega kurtların davranış önceliği

Şekil 2.9’da, bir arama ajanının (bireyin) alfa, beta ve deltaya göre pozisyonunu nasıl güncellediğini 2D bir arama uzayında göstermektedir. Gözlemlenebilir nihai konum, alfa, beta ve delta’nın arama uzayındaki konumları tarafından tanımlanan bir daire içinde rastgele bir yerde olacaktır. Başka bir deyişle, alfa, beta ve delta avın konumunu tahmin ederken, diğer kurtlar pozisyonlarını avın etrafında rastgele bir şekilde güncellerler.

Yukarıda belirtildiği gibi, gri kurtlar av durduğunda avı saldırarak avlamayı tamamlar. Ava yaklaşmayı matematiksel olarak modellemek için $\vec{A}$ ’nın değerini azaltırız. $\vec{A}$ ’nın dalgalanma aralığı da $\vec{a}$ tarafından azaltılır. Başka bir deyişle, $\vec{A}$ $[-2a, 2a]$ aralığında rastgele bir değerdir, burada a iterasyonlar boyunca 2’den 0’a azaltılır. $\vec{A}$ ’nın rastgele değerleri $[-1, 1]$ aralığında olduğunda, bir arama ajanının bir sonraki pozisyonu herhangi bir konumda olabilir.



Şekil 2.10 : Kurtun ava yaklaşma ve uzaklaşma fonksiyonu

Şekil 2.10(a)’da, $|A| < 1$ olduğunda kurtların avın tarafına saldırılarını zorlar. Şu ana kadar önerilen operatörlerle, GWO algoritması arama ajanlarının konumlarını alfa, beta ve delta’nın konumuna göre güncellemelerine ve avın tarafına saldırılarına izin verir. Bununla birlikte, bu operatörlerle GWO algoritması yerel çözümlerde durgunluğa meyillidir. Önerilen kuşatma mekanizması bazı ölçüde keşfi gösterse de GWO’nun keşfi vurgulamak için daha fazla operatöre ihtiyacı vardır.

Gri kurtlar genellikle alfa, beta ve delta’nın konumlarına göre arama yaparlar. Avı aramak için birbirinden uzaklaşırlar ve avı yakalamak için bir araya gelirler. Dağılma davranışını matematiksel olarak modellemek için, avdan uzaklaşmak için $\vec{A}$ kullanılır. $\vec{A}$ rastgele

olarak 1'den büyük veya -1'den küçük olan değerler kullanarak arama ajanını (bireyini) avdan uzaklaşmaya zorlar. Bu keşfi vurgular ve GWO algoritmasının küresel olarak arama yapmasına olanak tanır. Şekil 2.10(b)'de ayrıca $|A| > 1$ olduğunda gri kurtların umutla daha uygun bir av bulabilmek için avdan uzaklaşmalarını zorlar.

GWO'nun keşfi destekleyen diğer bir bileşeni $\vec{C}$ 'dir. Denklem 2.8'de görülebileceği gibi, $\vec{C}$ vektörü $[0, 2]$ aralığında rastgele değerler içerir. Bu bileşen, avın etkisini denklem 2.5'deki mesafeyi tanımlarken stokastik olarak vurgulamak ($C > 1$) veya azaltmak ($C < 1$) için av için rastgele ağırlıklar sağlar. Bu, GWO'nun optimize edilme sürecinde daha rastgele bir davranış sergilemesini sağlar, keşfi ve yerel optimumlardan kaçınmayı destekler. Burada belirtmek gerekir ki C , A 'nın aksine doğrusal olarak azalmaz. C 'nin her zaman rastgele değerler sağlamasıyla keşfi vurgulamak için başlangıç iterasyonlarında değil, aynı zamanda son iterasyonlarda da önemli rol oynar. Bu bileşen, özellikle son iterasyonlarda yerel optimum durgunluğu durumunda çok yardımcı olmaktadır.

Vektör C aynı zamanda doğadaki av yaklaşımını engelleyen engellerin etkisini temsil edebilir. Genel olarak doğada engeller, kurtların av takibinde ortaya çıkar ve aslında onları hızlı ve kolay bir şekilde avlarına yaklaşımdan alıkoyar. Bu tam olarak C vektörünün yaptığı şeydir. Bir kurdun konumuna bağlı olarak, avı rastgele bir ağırlıkla etkileyebilir ve kurtlar için ulaşması daha zor ve daha uzak hale getirebilir veya tam tersi.

Özetlemek gerekirse, GWO algoritmasında arama süreci, rastgele bir kurt popülasyonunun (aday çözümler) oluşturulmasıyla başlar. İterasyonlar boyunca, alfa, beta ve delta kurtları avın muhtemel konumunu tahmin eder. Her aday çözüm avdan olan uzaklığını günceller. Parametre a , sırasıyla keşfi ve kullanımı vurgulamak için 2'den 0'a azaltılır. Aday çözümler, $|\vec{A}| > 1$ olduğunda avdan uzaklaşma eğilimindedir ve $|\vec{A}| < 1$ olduğunda avın yakınına yaklaşma eğilimindedir. Son olarak, GWO algoritması bir sonlandırma kriterinin sağlanmasıyla sona erdirilir. GWO algoritmasının psedou kodu aşağıda verilmiştir.

Gri kurt popülasyonunu değerlerini gir X_i ($i=1,2,\dots,n$)

a , A ve C değerlerini gir

Her arama bireyinin (ajanının) uygunluk(fitness) değerlerini hesapla

X_α = en iyi arama bireyi(ajanı)

X_β = ikinci en iyi arama bireyi(ajanı)
 X_δ = üçüncü en iyi arama bireyi(ajanı)
while ($t < \text{maksimum iterasyon(yineleme) sayısı}$)
 for her bir birey(ajan)in değerini döndür
 Arama bireyinin(ajanının) konumunu denklem 2.11'e göre güncelle
 end for
 a, A ve C değerlerini güncelle
 Bütün arama bireyinin (ajanının) tek tek uygunluk(fitness) değerlerini hesapla
 X_ω , X_β ve X_δ değerlerini güncelle
 $t = t + 1$;
end while
 return X_α

GWO'nun teorik olarak nasıl optimizasyon problemlerini çözebildiğini görmek için bazı noktalar psedou koduna göre dikkate alınıp diğer denklemlere uyarlanabilir. Önerilen sosyal hiyerarşi, GWO'ya iterasyon süreci boyunca elde edilen en iyi çözümleri kaydetmesine yardımcı olur. Önerilen sarma mekanizması, çözümler etrafında daire şeklinde bir komşuluk tanımlar ve daha yüksek boyutlarda bir hiper-küre olarak genişletilebilir. Rastgele parametreler A ve C, aday çözümlerin farklı rastgele yarıçaplı hiper-kürelere sahip olmasına yardımcı olur. Önerilen avlanma yöntemi, aday çözümlerin olası av konumunu belirlemesine olanak tanır. Keşif ve sömürü, a ve A'nın uyarlanabilir değerleri sayesinde garanti altına alınır. Parametreler a ve A'nın uyarlanabilir değerleri, GWO'nun keşif ve sömürü arasında sorunsuz bir geçiş yapabilmesini sağlar. A'nın azalmasıyla, iterasyonların yarısı keşfe ($|A| \geq 1$) ve diğer yarısı sömürüye ($|A| < 1$) ayrılır. GWO'nun ayarlanması gereken yalnızca iki ana parametresi vardır (a ve C). Gri kurtların tam yaşam döngüsünü taklit etmek için mutasyon ve diğer evrimsel operatörleri entegre etme olasılıkları vardır.

Ancak, GWO algoritmasını mümkün olduğunca basit tuttuk ve ayarlanması gereken en az sayıda operatöre sahip oldu. Bu tür mekanizmalar gelecekteki çalışmalar için önerilmektedir.

2.12. Güç Sistemleri Analizi

Güç Sistemleri Analizi, elektrik enerjisi üretiminden tüketimine kadar olan süreçlerde, enerjinin en verimli şekilde kullanılması ve yönetilmesini, sistemin optimal ve güvenli çalışmasını sağlamak, elektrik güç sistemlerinin tasarımı, işletimi, kontrolü ve korunması ile ilgili problemleri çözmek amacıyla gerçekleştirilen bir dizi analitik, hesaplamalı ve optimizasyon yöntemlerinin uygulandığı bir alandır. Güç sistemleri analizi, güç sistemleri modellenmesi, güç akış analizi, güç akış analizi, kısa devre analizi, stabilite analizi, harmonik analiz, dinamik analiz, transient analiz başlıkları altında incelenir. Güç sistemleri modellenmesi, güç sistemlerinin çeşitli bileşenlerini (jeneratörler, transformatörler, iletkenler, ayırıcılar vb.) birbirleriyle bağlantılarını tanımlayarak matematiksel modelleri oluşturmayı içerir. Bu modellerin amacı, güç sistemlerinin çalışma prensiplerini anlamak ve analiz etmeye imkan verir. Güç akış analizi literatürde yük akış analizi olarak da tanımlanmaktadır. Güç akış analizi, bir güç sistemindeki voltaj, akım ve güç değerlerinin belirlenmesini, aktif ve reaktif güç akışlarının tespit edilmesi, güç kaynaklarının ve yüklerin voltaj düşüşlerinin hesaplanması sağlar. Bu analiz, belirli bir sistem konfigürasyonunda, belirli bir yük durumunda, belirli bir çevre koşulu altında güç sistemlerinin nasıl çalışacağını tahmin etmek için kullanılır. Elektrik şebekesi üzerindeki yüklerin güç dağılımını hesaplamak için kullanılır. Bu analiz, güç sistemlerinin stabilitesinin analiz edilmesi için önemlidir. Kısa devre analizi, güç sistemleri bileşenlerindeki arızaların etkilerinin belirlenmesini sağlar. Bu analiz, güç sistemlerindeki ciddi kısa devre koşullarının neden olduğu hasarları önlemeye yardımcı olup güç sistemlerinin koruma sistemleri tarafından korunabilmesi için gerekli olan akım seviyesinin belirlenmesi için kullanılır. Stabilite analizi, güç sistemlerindeki dengenin korunmasını sağlamak için gerçekleştirilen bir analizdir. Bu analiz, güç sistemlerindeki gerilim, akım ve frekans değerlerinin belirlenmesini sağlar. Güç sistemindeki arıza durumlarının belirlenmesi ve kısa devre akımlarının hesaplanmasıdır. Harmonik analiz, güç sistemlerindeki harmonik titreşimlerin belirlenmesi ve bu harmonikleri neden olan elemanların tespiti ve çözümleri için yapılır. Güç sistemleri analizi, geleneksel matematiksel teknikler ve simülasyon yazılımları kullanılarak yapılabilir. Elektrik şebekesinde harmoniklerin varlığının tespit edilmesi ve kontrol edilmesi için kullanılır. Dinamik analiz, güç sistemleri bileşenlerinin davranışını gösteren matematiksel modeller kullanarak güç sistemlerinin dinamik davranışını analiz etmeyi sağlar. Bu, güç

sistemlerindeki transformatörler, jeneratörler, motorlar, doğrultucular, kondansatörler gibi elemanların hareketlerini analiz etmek, elemanların titreşim özelliklerini belirlemek ve sistemdeki stabilite sorunlarını belirlemek için yapılır. Transient analiz, güç sistemlerinde geçici koşulların analizi için kullanılır.

Güç sistemleri analizi, elektrik enerjisi üretimi, iletimi ve dağıtımı ile ilgili problemlerin matematiksel modellenmesi ve çözümlemesidir. Bu analizler, güç sistemleri tasarımı, işletimi, güç kalitesi, enerji yönetimi, kesinti süreleri ve güvenilirliği gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bilgisayar ortamında güç sistemleri analizi, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve bilgisayar destekli mühendislik (CAE) araçları kullanılarak gerçekleştirilir. Güç sistemleri analizi için birçok yazılım programı mevcuttur. Güç sistemleri analizinde en yaygın olarak kullanılan yazılım araçları arasında PowerFactory, PSS/E, ETAP, DigSilent, CYME, PowerWorld, OpenDSS, gibi simülasyon yazılımları yer almaktadır. Bu programlar, güç sistemlerinin modellemesi, güç akışı analizi, dinamik simülasyonlar, kısa devre analizi, harmonik analiz ve optimizasyon analizi yapıp gerekli matematiksel modelleri ve yöntemleri kullanarak çözüm önerileri sunarlar. Güç sistemleri analizi genellikle, gerçek zamanlı sistemlerde gerçekleşen ölçümler, saha verileri ve modelleme verileri gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen verileri içerir. Bu veriler, bilgisayar ortamında analiz edilir ve sonuçları, güç sistemlerinin performansını optimize etmek, güvenilirliği artırmak ve elektrik enerjisi kalitesini sağlamak amacıyla kullanılır. Bununla birlikte, güç sistemleri analizi için bilgisayar ortamında kullanılan programlar ve teknikler, güncellenen teknolojik gelişmelere bağlı olarak sürekli değişmektedir. Bu nedenle, güncel programlar ve teknikler hakkında güncel bilgiye sahip olmak önemlidir.

Matpower, MATLAB tabanlı bir güç sistemleri analiz yazılımıdır. Matpower, güç sistemleri analizi için gerekli matematiksel hesaplamaları gerçekleştiren açık kaynaklı bir MATLAB yazılım paketidir. Matpower, güç sistemleri analizi için birçok araç sağlar ve bu araçlarla birlikte, güç sistemleri analizinde kullanılan bir dizi matematiksel yöntemi uygulayabilir. Matpower programı, AC (alternatif akım) ve DC (doğru akım) güç akışı analizi, optimal güç akışı analizi(OPF), dengeli olmayan akım akışı (UAT), en küçük maliyetli besleme (LMP), güç sistemleri arıza analizi, güç sistemleri planlama, doğrusal olmayan güç sistemleri analizi, hassasiyet analizi, kesinti analizi, harmonik analiz, güç sistemleri dinamiği, güç sistemleri kontrolü, güç sistemleri örgüsü reaktif ölçeklendirme, güç sistemi stabilitesi analizi gibi birçok farklı analiz türü için kullanılabilir. Matpower

programının güç sistemleri analizinde kullanımı, öncelikle kullanıcı tarafından belirtilen güç sistemleri bileşenlerinin verilerinin tanımlanması ve programın çalıştırılması ile gerçekleştirilir. Ayrıca, kullanıcıların kendi matematiksel yöntemlerini programda uygulamalarına izin veren birçok özelleştirilebilir araç da vardır. Matpower programının güç akışı analizi aracı, karmaşık bir güç akışı denklem setini çözmek için Newton-Raphson algoritmasını kullanır. Optimal güç akışı analizi aracı, güç sistemlerinin en verimli şekilde çalışmasını sağlamak için optimal güç akışı problemlerini çözer. Güç sistemleri örgüsü reaktif ölçeklendirme aracı, reaktif güçlerin sisteme en az maliyetle eklenmesiyle, güç faktörü iyileştirmesi yapar. Matpower programı, güç sistemleri analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle, araştırmacılar, mühendisler ve öğrenciler tarafından sıklıkla kullanılan bir araçtır. Matpower aracılığıyla, bir güç sistemini modellendirmek için gereken tüm girdileri sağlanabilir. Bu girdiler arasında nüfus, güç kaynakları, iletim hatları, trafo merkezleri, regülatörler ve diğer bileşenler yer alır. Matpower aynı zamanda, güç sistemlerinin analizi için birçok farklı araç sağlar. Örneğin, Matpower ile yapılabilecek şeyler arasında güç akış analizi, kesme açısının hesaplanması, sabit Q ve sabit V analizleri, güç sistemlerinde kısa devre hesaplamaları ve dinamik sistem analizleri yer alır. Matpower, özellikle akıllı şebeke (smart grid) sistemlerinin tasarımı, işletilmesi ve kontrolü gibi karmaşık güç sistemleri analizleri için kullanılır. Matpower, açık kaynak kodlu olduğu bir yazılım olduğundan kullanıcılar, özelleştirilmiş analiz işlevleri ekleyebilir, var olan işlevleri değiştirebilir, kullanıcılar tarafından geliştirilebilir ve özelleştirilebilir. Matpower, farklı güç sistemleri arayüzlerine (API'lerine) sahip diğer araçlarla entegre edilebilir. Bu nedenle, Matpower kullanıcıları, analiz için en uygun aracı seçerek, güç sistemleri analizlerini yapabilirler. Matpower ayrıca, IEEE Standartları tarafından belirlenen güç sistemleri test problemlerini de içeren bir veri seti sağlar.

2.13. Matrix Laboratory (MATLAB)

MATLAB (Matrix Laboratory), sayısal hesaplamalar, veri analizi ve görselleştirme için kullanılan bir programlama dili ve yüksek performanslı teknik hesaplama programıdır. İlk olarak 1984 yılında Cleve Moler tarafından geliştirilmiştir. Özellikle matris işlemleri üzerine odaklanmış bir yazılımdır ve çok çeşitli matematiksel işlemler için önceden yazılmış fonksiyonlar sunar. MATLAB mühendislik, matematik, fizik, biyoloji ve finans

gibi birçok disiplinde sayısal hesaplama uygulamaları için yaygın olarak kullanılır. MATLAB, doğrusal cebir, sayısal analiz, optimizasyon, sinyal işleme, görüntü işleme, veri analizi, simülasyon ve modelleme gibi çeşitli matematiksel ve bilimsel işlemleri gerçekleştirebilir. MATLAB, grafiksel kullanıcı arayüzüne sahip bir programlama ortamı sağlar. Bu durum grafiksel kullanıcı arayüzleri (GUI'ler) oluşturma, test etme, uygulama, geliştirme ve yazılım testi gibi işlevleri de destekler. MATLAB, MATLAB dilinde yazılmış birçok programı ve araç kutusunu içeren bir yazılım paketidir. MATLAB dilindeki kodlar yüksek seviyeli ve kolay anlaşılır yapıdadır. Bu nedenle, MATLAB, mühendislik ve bilimsel araştırmaların yanı sıra eğitimde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Güç sistemleri analizinde MATLAB, Matpower ve diğer bazı araçlar ile birlikte kullanılır. Matpower, güç sistemlerinde üretim, iletim ve dağıtım için güç akışı analizi, dinamik simülasyon, optimal güç akışı analizi, güç sistemi istikrarı analizi ve diğer birçok analiz işlemi yapmak için MATLAB tabanlı bir araçtır. Matpower, MATLAB uygulamasının matriks hesaplaması, optimize edilmiş algoritmalar ve diğer araçlarını kullanarak güç sistemlerinin modellenmesini ve analizini gerçekleştirir. MATLAB ve Matpower gibi araçlar, güç sistemleri analizinde birçok farklı senaryonun simülasyonunu gerçekleştirmek için kullanılır. Örneğin, güç akışı analizi ile güç kaynaklarından iletim hattı ve trafolardan kaynaklanan kayıplar ve gerilim düşüşleri hesaplanabilir. Optimal güç akışı analizi, verilen bir güç sistemi yapısında minimum maliyetli bir güç dağıtımını belirlemek için kullanılır. Güç sistemi istikrarı analizi, güç sistemlerindeki dengesizlikleri, dalgalanmaları ve diğer istikrarsızlık problemlerini analiz etmek için kullanılır. Kısacası, MATLAB, güç sistemleri analizinde veri analizi, modelleme ve optimizasyon işlemlerini gerçekleştirmek için kullanılan bir araçtır. Matpower, AC ve DC güç akışı analizleri, güç akışı kontrolü, optimum güç akışı, harmonik analiz, dinamik kararlılık analizi gibi güç sistemleri analizi konularında kullanılan bir dizi matematiksel model, algoritma ve araçları içerir. Matpower, MATLAB uygulamasının sağladığı hesaplama gücü ve matriks hesaplamaları özelliklerini kullanarak güç sistemleri analizini daha etkili hale getirirler.

2.14. Matpower

Matpower, MATLAB diliyle yazılmış bir güç sistemleri analizi aracıdır. Matpower, AC güç akışı, doğrusal olmayan AC güç akışı, optimal güç akışı, güç sistemleri stabilitesi, güç sistemleri genişletilmiş kesin hesaplamaları, güç sistemleri yerleşimi, güç sistemleri performans analizi, kısa devre akımı analizi, gelişmiş DA-SCOPF (dynamic and steady-state security-constrained optimal power flow) analizi, güç sistemleri planlaması, kaynak tahsisi ve güç sistemleri dinamik simülasyon gibi çeşitli güç sistemleri analizi problemlerini çözebilmektedir.[13] Matpower ayrıca MATLAB işleme ve görselleştirme yeteneklerini de kullanabilmektedir. Matpower, açık kaynak kodlu ve ücretsiz olarak kullanılabilen bir yazılımdır. Matpower'ın kullanımı için öncelikle MATLAB yazılımının yüklü olması gerekmektedir. Matpower kütüphanesi, MATLAB Command Window veya MATLAB scriptlerinde doğrudan kullanılabilir. Ayrıca, Matpower GUI (grafik kullanıcı arayüzü) kullanarak görsel olarak verileri işleyebilir ve sonuçlarını analiz edilebilir. Matpower'ın bir diğer avantajı da kullanıcılara çeşitli örnek dosyaları ve belgeleri sunarak, analiz sürecinde yardımcı olmasıdır. Ayrıca, Matpower, diğer Matlab araçları ve yazılımları ile entegre olarak çalışabilir, böylece kullanıcılar farklı araçları bir arada kullanarak daha kapsamlı analizler yapabilirler. Matpower'ın kullanımı, birçok farklı sektörde, özellikle enerji sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, elektrik şebekelerinin güç akışı analizi, güç sistemleri planlaması, dağıtık enerji kaynaklarının entegrasyonu gibi birçok uygulama alanı bulunmaktadır.

2.15. IEEE ve IEEE 57 Baralı Sistem

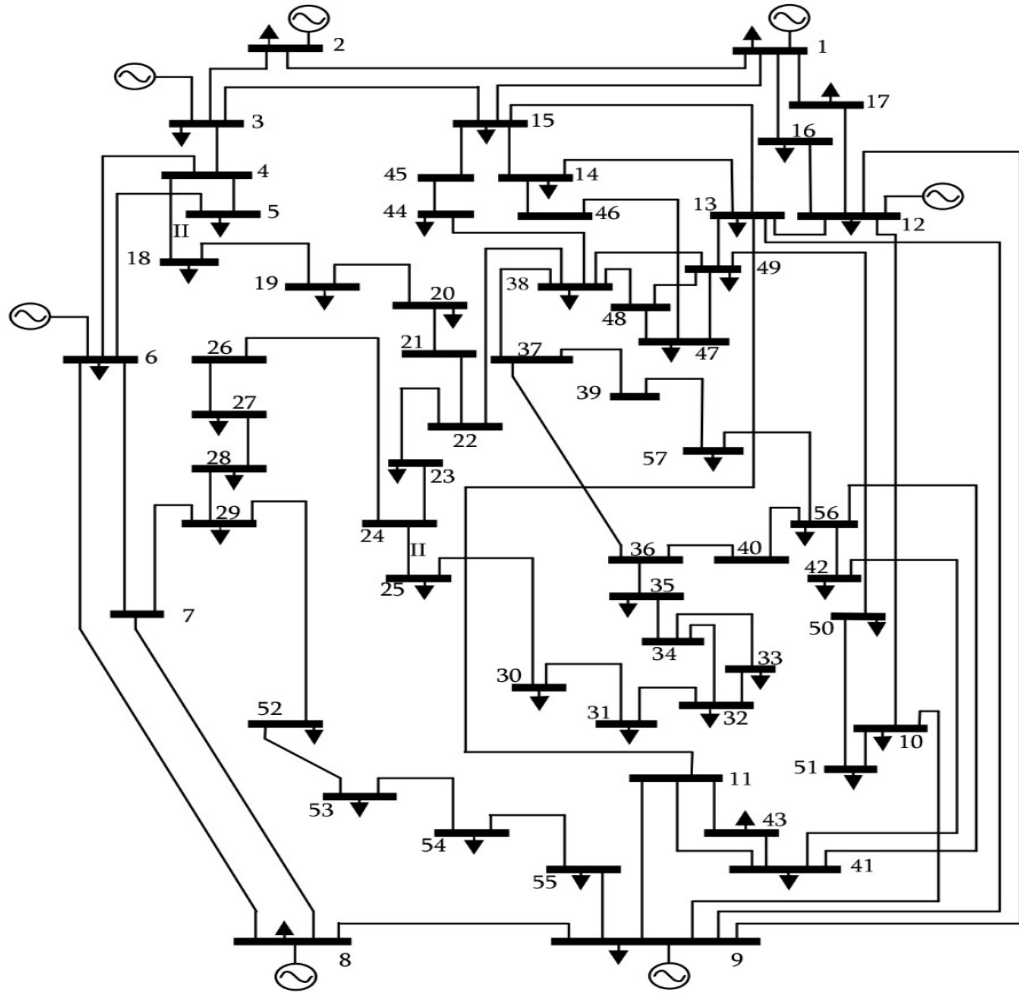
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), elektrik ve elektronik mühendislik alanlarında faaliyet gösteren uluslararası bir profesyonel kurumdur. 1884 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde kurulan IEEE, küresel çapta 160'dan fazla ülkede 400 binden fazla üyesi bulunan dünyanın en büyük teknik meslek kuruluşlarından biridir. IEEE'nin amacı, bilim, teknoloji ve mühendislik alanlarında ilerlemeyi teşvik etmek, üyelerinin mesleki gelişimlerine katkıda bulunmak, standartları belirlemek ve teknik bilginin paylaşımını sağlamaktır. IEEE, birçok teknik konferans, yayın, standartlar geliştirme çalışmaları ve eğitim programları düzenleyerek üyelerine ve mühendislik topluluğuna hizmet etmektedir. Teknik Konferanslar kısmında IEEE, elektrik, elektronik

ve bilgisayar mühendisliği gibi çeşitli teknik konuları kapsayan uluslararası konferanslar düzenler. Bu konferanslar, araştırmacıların çalışmalarını paylaşmaları, yeni fikirleri tartışmaları ve iş birliği yapmalarına olanak sağladığından teknik bilgi (know how) alışverişi için önemli platformlardır. Yayınlar kısmında IEEE, teknik bilginin yayılmasını sağlamak amacıyla birçok bilimsel dergi ve konferans bildirisi yayınlamaktadır. IEEE Transactions on Power Systems, IEEE Transactions on Communications, IEEE Transactions on Computers gibi prestijli dergiler, sektördeki önemli gelişmelerin yayınlandığı yerlerdir. Standartlar kısmında IEEE, elektrik, elektronik, bilgisayar ağları ve iletişim teknolojileri alanlarında birçok standart geliştirmektedir. Bu standartlar, endüstriye öncülük eder, uyumluluğu sağlar ve teknik sistemlerin etkili bir şekilde çalışmasını temin ederek uluslararası kullanımında belirli bir standarda oturtur. Örneğin, IEEE 802.11 standardı, kablosuz yerel ağ olan Wi-Fi ile ilgili spesifikasyonları içerir. Eğitim ve Mesleki Gelişim kısmında IEEE, üyelerinin mesleki gelişimlerine katkıda bulunmak için çeşitli eğitim programları, seminerler ve konferanslar düzenler. Ayrıca, öğrencilere ve genç profesyonellere yönelik kariyer destek programları sunar.

Bu tezde kullanılan 57 baralı sisteme gelecek olursak; IEEE 57 baralı sistem, elektrik mühendisliği ve güç sistemleri alanında kullanılan bir standarttır. Bu sistem, bir güç sistemini daha küçük parçalara bölen ve analiz etmeyi kolaylaştıran bir yöntemdir. Bara, elektrik güç sistemlerinde enerji akışının kontrol edildiği ve yönlendirildiği noktalardır. Genellikle transformatörler, jeneratörler, yükler ve diğer elektrikli cihazlarla bağlantılıdır. Her bara, gerilim düzeyine ve bağlantılara göre tanımlanır. IEEE 57 baralı sistemde toplamda 57 bara bulunur. Bu baralar, gerçek güç sistemlerinde kullanılan gerilim düzeylerini ve bileşenleri temsil etmek amacıyla seçilmiştir. Baraların arasındaki bağlantılar ve bileşenler, güç sistemlerindeki gerçek yapıları yansıtacak şekilde dikkatlice seçilmiştir. Bu bileşenler jeneratörler, transformatörler(trafolar), yükler(loads), hatlar(lines), reaktörler kapasitörlerdir. Jeneratörler, elektrik enerjisi üreten cihazlardır. Transformatörler, gerilim düzeylerini değiştiren cihazlardır. Yükler, elektrik enerjisini tüketen cihazlardır. Hatlar, baralar arasında enerji ileten iletim hatlarıdır. Reaktörler, sistemde reaktif güç aynı kayıp güç sağlayan bileşenlerdir. Kapasitörler, sistemde reaktif güç tüketen yani aktif güç depolayan bileşenlerdir. IEEE 57 Baralı Sistem Analizi IEEE 57 baralı sistem, güç sistemleri analizinde çeşitli uygulamalar için kullanılır. Bu sistemde, güç akışı analizi, kısa devre analizi, harmonik analiz, gerilim stabilitesi analizi gibi

analizler gerçekleştirilebilir. Bu analizler, güç sistemlerinin performansını değerlendirmek, sorunları belirlemek ve güç sistemlerinin düzenlenmesi ve iyileştirilmesi için kullanılır.

IEEE 57 baralı sistem, güç sistemlerinin analizinde kullanılan bir standart modeldir. Bu sistem, gerçek bir güç sistemini temsil eden karmaşık bir yapıya sahip değildir, ancak güç sistemlerinin temel özelliklerini ve davranışlarını anlamak ve analiz etmek için kullanılır.



Şekil 2.11 : IEEE 57 baralı standart sistem ve bağlantıları

2.16. Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD) ve Matematiksel Formülü

2.16.1. Optimal reactive power dispatch (orpd) kavramı

Optimal Power Flow (OPF), elektrik enerjisi sistemlerinde güç akışının optimize edilmesi için kullanılan bir yöntemdir.[14] Güç akışı, güç sistemindeki gerilim, akım ve güç

dağılımını belirleyen temel bir analiz yöntemidir. OPF, güç sistemlerinin ekonomik ve teknik performansını optimize etmeyi hedefler. OPF'nin amacı, güç sistemindeki aktif güç, reaktif güç ve gerilim seviyelerini optimize ederek belirli bir hedefi gerçekleştirmektir. Bu hedefler, enerji maliyetlerini minimize etmek, güç kayıplarını azaltmak, gerilim düşüşlerini sınırlamak veya kaynak kullanımını optimize etmek olabilir. OPF, güç sistemlerindeki bileşenlerin (jeneratörler, transformatörler, hatlar, kondansatör bankaları, reaktörler vb.) çalışma noktalarını ve güç akışını belirlemek için matematiksel modeller ve optimizasyon algoritmaları kullanır. Bu modeller, güç akışını hesaplamak, güç sistemini dengelemek ve belirli hedefleri gerçekleştirmek için kullanılır. OPF, güç sistemindeki bir dizi kısıtlamayı dikkate alır. Bunlar, gerilim sınırlamaları, aktif güç kapasite sınırlamaları, reaktif güç kapasite sınırlamaları, güç faktörü kısıtlamaları, cihazların çalışma limitleri ve diğer teknik ve operasyonel kısıtlamaları içerebilir. Ayrıca, OPF, güç sistemlerinin güvenli ve stabil bir şekilde çalışmasını sağlamak için güvenlik kısıtlamalarını da dikkate alır. OPF, güç sistemlerinin planlaması, işletimi ve tasarımında yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Enerji sektöründe ekonomik ve verimli bir enerji üretimi, dağıtımı ve tüketimi sağlamak için kullanılır. OPF analizi, enerji üreticilerine, dağıtım şirketlerine ve enerji tüketicilerine, güç sistemlerinin daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde çalışmasına yardımcı olur.

Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD), güç sistemlerinde reaktif güç akışının optimize edilmesi için kullanılan bir yöntemdir. ORPD, güç sistemlerindeki reaktif güç üretim ve tüketimini en uygun şekilde dağıtmayı hedefler. Reaktif güç, güç sistemlerinde gerilim düzeylerini kontrol etmek, güç faktörünü düzeltmek, gerilim kararlılığını sağlamak ve enerji kayıplarını en aza indirmek için kullanılan önemli bir bileşendir. Reaktif güç, jeneratörler, kondansatör bankaları ve reaktörler gibi bileşenler tarafından üretilir veya tüketilir. ORPD, bu reaktif güç bileşenlerini optimize ederek güç sistemlerinin performansını iyileştirmeyi amaçlar. ORPD'nin amacı, güç sistemindeki reaktif güç dağılımını optimize etmek ve belirli bir hedefi gerçekleştirmektir. Bu hedefler arasında gerilim düşüşlerini sınırlamak, gerilim istikrarını sağlamak, güç faktörünü iyileştirmek ve enerji kayıplarını azaltmak yer alabilir. ORPD, güç sistemlerindeki reaktif güç akışını hesaplamak için matematiksel modeller ve optimizasyon algoritmaları kullanır. Bu hesaplamalar, güç sistemlerindeki bileşenlerin (jeneratörler, transformatörler, kondansatör bankaları, reaktörler vb.) reaktif güç üretim ve tüketimini

belirler. ORPD, güç sistemlerinde bir dizi kısıtlamayı dikkate alır. Bunlar, gerilim sınırlamaları, reaktif güç kapasite sınırlamaları, cihazların çalışma limitleri ve diğer teknik ve operasyonel kısıtlamaları içerebilir. Ayrıca, güç sistemlerinin güvenli ve stabil bir şekilde çalışmasını sağlamak için güvenlik kısıtlamalarını da dikkate alır. Böylece, güç sisteminin reaktif güç ihtiyaçlarını en uygun şekilde karşılar. ORPD analizi, güç sistemlerinin planlaması, işletimi ve tasarımında kullanılır. Reaktif güç dağılımının optimize edilmesi, güç sistemlerinde gerilim kararlılığını sağlar, gerilim düşüşlerini kontrol altında tutar ve enerji kayıplarını azaltır. Bu sayede, güç sistemlerinin daha verimli ve güvenli çalışmasını sağlar.

Elektrik dağıtım şirketleri, enerji üreticileri ve büyük endüstriyel tesisler gibi enerji kullanıcıları, ORPD'yi kullanarak güç sisteminin reaktif güç dağılımını optimize eder ve enerji verimliliğini artırır. Bu sayede, enerji maliyetlerini düşürür, güç sisteminin güvenilirliğini ve kararlılığını artırır ve kaynakların etkin kullanımını sağlar. ORPD, enerji sektöründe önemli bir araçtır ve güç sistemlerinin performansını iyileştirir. Reaktif güç optimizasyonu, enerji tasarrufu sağlar, güç sisteminin güvenli ve istikrarlı çalışmasını destekler ve sürdürülebilir enerji sistemleri için önemli bir bileşen oluşturur.

2.16.2. ORPD matematiksel formülü

ORPD problemi karmaşık bir doğrusal olmayan optimizasyon problemi olarak karakterize edilmesine rağmen, optimal güç akışı problemi alt problemlerinden biri olarak ele alınır. [14] Optimal güç akışı problemi, birçok eşitlik ve eşitsizlik işletme kısıtlamasını dikkate alarak, jeneratörlerin optimal çıkış gücünü belirleyerek özel bir amaç fonksiyonunu en aza indirmeyi hedefler. Bu çalışmadaki amaç fonksiyonları, gerçek güç kaybını, gerilim sapmalarını ve gerilim kararlılık indeksini bireysel olarak veya eşzamanlı olarak en aza indirmeyi içerir. ORPD problemi için kontrol değişkenleri jeneratör gerilimleri, transformatör tıklama ayarları ve paralel kondansatörlerin reaktif güçleri olarak kabul edilirken, bağımlı değişkenler yük gerilimleri, hat akımları ve ana hat gücüdür.

2.16.2.1. Amaç fonksiyonları

Matematiksel olarak, ORPD'nin formülasyon problemi denklem 2.12, denklem 2.13 ve denklem 2.14'teki gibi ifade edilir. [15], [16]

$$\text{minimize } U(x, v,) \quad (2.12)$$

Kısıtlamalar denklem 2.13 ve denklem 2.14'teki gibi ifade edilir.

$$z(x, v) = 0 \quad (2.13)$$

$$h(x, v) \leq 0 \quad (2.14)$$

Denklem 2.12'de U , en aza indirgenmesi gereken amaç fonksiyonunu temsil eden ve x ise jeneratör voltajlarını VG , paralel kondansatörlerin reaktif gücünü Q_{sc} ve transformatör tap ayarlarını TS içeren kontrol değişkenlerinden oluşan bir vektördür. Bununla birlikte, x denklem 2.15'teki gibi ifade edilebilir.

$$x^T = [V_{G1} \dots, V_{GN_G}, Q_{SC}, \dots, Q_{SN_C}, T_{S1} \dots, T_{SN_T}] \quad (2.15)$$

Denklem 2.15'te N_G N_C ve N_T , sırasıyla jeneratör sayısını, paralel V_{AR} kompensatörlerinin sayısını ve regüle edilebilen transformatörlerin sayısını tanımlar. v , bağımlı değişkenleri içeren durum vektörüdür ve bunlar yük noktalarındaki gerilimleri V_L , üretilen reaktif gücü Q_G , iletim hattının yükünü S_L ve ana iletim noktasındaki gücü P_{Gsl} içerir. Durum vektörü v denklem 2.16'daki gibi ifade edilir.

$$v^T = [V_{L1} \dots, V_{LN_L}, Q_G, \dots, Q_{GN_G}, S_{L1} \dots, S_{L_{n_1}}, P_{Gsl}] \quad (2.16)$$

Denklem 2.16'da N_L ve n_l sırasıyla yük noktalarının toplam sayısını ve iletim hatlarının sayısını gösterir. Ayrıca, $z(x, v) = 0$ ve $h(x, v) \leq 0$ sırasıyla eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarını temsil eder.

2.16.2.2. Toplam gerçek güç kaybının en düşük değerde tutulması

ORPD'de dikkate alınan en önemli amaç fonksiyonu U , sistemdeki toplam gerçek güç kaybıdır. ORPD çözümü, iletim ağındaki toplam gerçek güç kaybını en aza indirmeyi hedefler. Ancak, gerçek güç kaybının en aza indirilmesi, sistem operatörleri için önemli bir hedef olarak işlev görür ve Denklem 2.17'deki gibi ifade edilebilir [17].

$$U_1(x_1, v_1) = \min(P_L) = \sum_{k=1}^{nl} G_k [V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\theta_i - \theta_j)] \quad (2.17)$$

Denklem 2.17’de, PL toplam gerçek güç kaybını, G_k k. dalgalanmanın iletkenliğini, V_i ; V_j ise i ve j numaralı hatlardaki gerilimlerin büyüklüklerini ve açılarını temsil eder.

2.16.2.3. Yük noktalarında gerilim sapmasının en düşük değerde tutulması

Sistemin güvenliğini sağlamak için en önemli göstergelerden biri, yük noktalarında gerilim sapmalarını en aza indirerek kabul edilmeyen bir gerilim profili oluşumunu önlemektir. Gerilim sapması, nominal referans gerilimi ile gerçek gerilim arasındaki fark olarak tanımlanır. Gerilim sapmaları matematiksel olarak Denklem 2.18’deki gibi ifade edilir.

$$U_2(x_2, v_2) = \min(TVD) = \sum_{k=1}^{N_L} |V_k - V_k^{Ref}| \quad (2.18)$$

Denklem 2.18’de, TVD toplam gerilim sapmasını, k yük noktalarının toplam sayısının bir elemanını temsil eder. V_k , k . yük noktasındaki gerilim büyüklüğünü, V_{Ref} ise k . yük noktasındaki gerilim büyüklüğü referansını ve değeri 1 p.u. olarak belirler.

2.16.2.4. Gerilim stabilitesinin geliştirilmesi

Sistem farklı işletim durumlarına maruz kaldığında, örneğin bir bozulma veya ani yük değişikliği durumunda, tüm hatların kabul edilebilir bir hat gerilimine sahip olması gerektiği önemlidir. L-indeksi, gerilim stabilitesi analizinde önemli bir rol oynayan bir gerilim stabilitesi göstergesidir. L-indeksi değerleri 0 ile 1 arasında değişir, en düşük değer daha stabil bir sistem olduğunu gösterirken en yüksek değer ise tam tersini ifade eder.[18] k . yük noktasının L-indeksi Denklem 2.19’de gibi formüle edilir.

$$U_3(x_3, v_3) = \min [\max(L_k)] \quad k = 1, 2, 3 \dots, N_L \quad (2.19)$$

$$L_k = \left| 1 - \sum_{i=1}^{N_G} F_{ik} \right| \quad (2.20)$$

$$F_{ik} = -[Y_A]^{-1} [Y_B] \quad (2.21)$$

Denklem 2.21’de, i ve k jeneratör ve yük hatlarını tanımlar. Y_A ve Y_B , Y hatası için sistem alt matrislerini gösterir ve bunlar jeneratör ve yük hatlarının ayrıştırılmasından elde edilir.

2.16.2.5. Eşitlik kısıtları

Araştırılan optimizasyon probleminin eşitlik kısıtlamaları olarak denklem 2.22 ve denklem 2.23’teki güç denge denklemleri dikkate alınır.

$$P_{Gi} - P_{Di} - V_i \sum_{j=1}^{N_L} V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) = 0 \quad (2.22)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} - V_i \sum_{j=1}^{N_L} V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) = 0 \quad (2.23)$$

Denklem 2.22’de, P_{Gi} ve Q_{Gi} , i numaralı otobüsün jeneratöründen gelen aktif ve reaktif güç çıkışı i temsil eder. P_{Di} ve Q_{Di} ise i numaralı otobüsün talep ettiği aktif ve reaktif güçleridir. G_{ij} ve B_{ij} ise iki otobüs arasındaki dalga iletkenlik ve dalga ilet genlik değerleridir.

2.16.2.6. Eşitsizlik şartları ve üretici kısıtlamaları

Tüm üretim noktalarındaki gerilimler ve reaktif güç çıkışları, üst ve alt limitlerine bağlı olmalıdır: Burada, h eşitsizlik şartlarını temsil eder. Bu şartlar denklem 2.24, denklem 2.25 ve denklem 2.26’da gösterilmiştir.

$$V_{Gi}^{min} \leq V_{Gi} \leq V_{Gi}^{max}, \quad i = 1, 2, 3 \dots, N_G \quad (2.24)$$

$$Q_{Gi}^{min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{max}, \quad i = 1, 2, 3 \dots, N_G \quad (2.25)$$

$$P_{Gsl}^{min} \leq P_{Gsl} \leq P_{Gsl}^{max}, \quad i = 1, 2, 3 \dots, N_G \quad (2.26)$$

Denklem 2.24’te, V_{Gi}^{min} ve V_{Gi}^{max} i’nci jeneratör barasının minimum ve maksimum üretebileceği gerilim değerlerini, denklem 2.25’te Q_{Gi}^{min} ve Q_{Gi}^{max} i’nci jeneratör barasının minimum ve maksimum üretebileceği reaktif güç değerlerini ve denklem 2.25’de P_{Gsl}^{min}

ile P_{Gsl}^{max} i'nci slack barasının minimum ve maksimum aktif güç çıkış değerlerini temsil etmektedir.

2.16.2.7. Eşitsizlik şartları ve şönt var kondansatörlerin sınırlamaları

Şönt var kondansatörlerinin üst ve alt limitleri denklem 2.27'deki gibidir.

$$Q_{Sci}^{min} \leq Q_{Sci} \leq P_{Sci}^{max}, \quad i = 1, 2, 3 \dots, N_C \quad (2.27)$$

Şönt var kompensatörü i'nci tarafından enjekte edilen reaktif güç için minimum ve maksimum sınırlar iletim hattı yüklenmesi ve yükleme birimlerindeki gerilimlerin sınırlamaları şeklinde ifade edilir.

İletim hattı yüklemesinin eşitsizlik kısıtlamaları ve yük otobüslerindeki gerilimler denklem 2.28 ve denklem 2.29'daki gibi ifade edilebilir.

$$S_{li} \leq S_{li}^{max}, \quad i = 1, 2, 3 \dots, n_l \quad (2.28)$$

$$V_{Li}^{min} \leq V_{Li} \leq V_{Li}^{max}, \quad i = 1, 2, 3 \dots, N_L \quad (2.29)$$

İletim hattı yüklemesi ve yük baralarındaki gerilimler için eşitsizlik kısıtlamaları bu şekilde ifade edilir. İletim Hattı Yükleme: Şube i'nin S_{li} olarak belirtilen görünür gücü, maksimum görünür güç sınırını aşmamalıdır, $S_{li} \leq S_{li}^{max}$ Bu denklemde S_{li} , dal i'nin görünen gücünü temsil eder. Yük Baralarındaki Gerilimler: i barasındaki V_i olarak gösterilen gerilim büyüklüğü, sırasıyla V_{min_Li} ve V_{max_Li} minimum ve maksimum sınırlar içinde olmalıdır: $V_{min_Li} \leq |V_i| \leq V_{max_Li}$ Burada V_i , i barasındaki voltaj büyüklüğünü temsil eder.

2.16.2.8. Eşitsizlik şartları ve trafo kısıtlamaları

Sistemdeki transformatörlerle ilgili kısıtlamalar denklem 2.30'daki gibi ifade edilir.

$$T_i^{min} \leq T_i \leq T_i^{max}, \quad i = 1, 2, 3 \dots, N_T \quad (2.30)$$

Sistemdeki trafolarla ilgili kısıtlar şu şekilde açıklanabilir:

Transformatör Tap Oranları: Transformatörlerin kademe oranları, her bir transformatör için belirtilen minimum ve maksimum limitleri sağlamalıdır. T_i olarak gösterilen i transformatörünün kademe oranı eşitsizliği karşılamalıdır: $T_i^{min} \leq T_i \leq T_i^{max}$

Eşitsizlik kısıtlamaları dikkate alınarak amaç fonksiyonu denklem 2.31'deki gibi formüle edilebilir:

$$U_p = U_i + \lambda_v \sum_{k=1}^{N_L} (V_{Lk} - V_{Lk}^{lim})^2 + \lambda_s \sum_{k=1}^{n_l} (S_{lk} - S_{lk}^{lim})^2 + \lambda_q \sum_{k=1}^{N_G} (Q_{Gk} - Q_{Gk}^{lim})^2 \quad (2.31)$$

λ_v , λ_s ve λ_q ceza faktörleridir. Ek olarak, her bir değişken için kısıtlama limitleri denklem 2.32'deki gibidir:

$$Y^{lim} = \begin{cases} Y_{max} & Y > Y^{max} \\ Y_{min} & Y < Y^{min} \end{cases} \quad (2.32)$$

Burada, Y^{lim} tanımlanan V_L^{lim} , S_l^{lim} ve S_l^{lim} değerleri sistemin kısıtlama limitlerinin parametreleridir.

BÖLÜM 3. SONUÇLAR VE BULGU

Bu tezde kullanılan IEEE 57 baralılık standart sistem önce MATLAB'IN Matpower eklentisinde Most'ta ORPD (Optimal Reactive Power Dispatch) olarak analiz edilecek. Burada elde edilen fiyat verileri ve reaktif güç değeri yani kayıp enerji gözlemlenecektir. Ardından IEEE 57 GWO (Gray Wolf Optimizer) algoritmasına uyarlanıp elde edilen fiyat verileri ve reaktif güç değeri yani kayıp enerji değerleri ORPD (Optimal Reactive Power Dispatch) ile karşılaştırılıp hangisinin daha avantajlı olduğu gözlemlenecektir. Bunun yanında IEEE 57 baralılık sisteme dağıtık enerji kaynakları yani yenilenebilir enerji kaynakları eklenerek ORPD (Optimal Reactive Power Dispatch) ve GWO (Grey Wolf Optimizer)'daki performansı gözlenecektir. Dağıtık enerji kaynağı rüzgar ve güneş enerjisidir. Ardından yük eklenerek sistemin ORPD (Optimal Reactive Power Dispatch) ve GWO (Grey Wolf Optimizer) analizlerindeki davranışları gözlemlenecektir. En son işlemde termik enerji ile DEK'in GWO analizleri karşılaştırılacaktır.

IEEE 57 baralılık standart sistemin özelliklerine değinilecek olunursa; bu sistemde toplam 57 tane bara vardır. Bunun yanında 7 tane konvansiyonel jeneratör vardır. Burada konvansiyonel denilmesi jeneratörlerin geleneksel olduğu ve doğal gaz, kömür, linyit, petrol ve türevleri gibi geri dönüşümü olmayan yakıtlardan beslendiğini belirtmektedir. IEEE 57 baralılık standart sistemin farklı baralar arası bağlantı kombinasyonundan oluşan 80 adet hat bağlantısı, 17 adet trafo(transformatör), 3 adet kapasitör bankası vardır.

Öncelikle IEEE 57 baralı sisteminde ORPD (Optimal Reactive Power Dispatch) yani Optimal Reaktif Güç Kayıplarını incelenecek olunursa inceleme sonucu aşağıdaki değerler çıkmaktadır. Burada MOST'ta işlem yapılmaktadır. MOST'un amacı daha önce de belirtildiği gibi çok zamanlı yani çoklu periyotta analiz yapabilmektir. Bu tezde 12 periyotluk zaman ölçeği temel alınmaktadır. MOST analizinde öncelikle her bir periyot 2 saatlik zaman dilimine gelmektedir. Buna bağlı olarak 12 periyotluk analiz 24 saat etmektedir. Burada IEEE 57 baralılık sistemimizin 24 saatlik yani 1 günlük analizi

gözlemlenmektedir. Ardından bu işlem runpf analizi temel alınarak GWO algoritmasına aktarılacaktır. GWO algoritmasının kodu EK B’de verilmiştir. GWO analizinde ise parametre değerlerimizi penaltı_hesapla kısmında veriyoruz. Burada ORPD hesaplanıp GWO analizi yapılır. Penaltı_hesapla EK C’de ORPD GWO analizi ise EK D’de verilmiştir. Burada görüldüğü üzere Search_Agent bizim arama sayımızı gösteriyor. Burada aşağıdaki tabloda görüldüğü üzere IEEE 57 baralılık standart sistemin farklı baralar arası bağlantı kombinasyonundan oluşan 80 adet hat bağlantısı, 17 adet trafo(transformatör), 3 adet kapasitör bankası vardır. Bu değerlerin UB Üst Sınır ve LB Alt sınır değerleri vardır. IEEE 57 baralı sistemde 1, 2, 3, 6, 8, 9, 12 numaralı baralara bağlanmak üzere 7 tane jeneratör vardır. Bu değerler GWO parametrelerine aktarıldığında jeneratörlerin alt sınırı 0.9 üst sınır 1.1 değeridir. Aynı şekilde sayılı baralara 17 tane trafo bağlanmıştır. Trafoların alt sınırı 0.95 üst sınırı ise 1.0’dır. Son olarak sayılı baralara bağlı 3 adet kapasitör bankası bağlanmıştır. Bu kapasitör bankasının alt sınır 0 üst sınırı 20’dır. Burada GWO’da yapılan reaktif güç yani kayıp güç değerleri incelendi. Ardından aşağıdaki şekilde verildiği gibi sonuçlar çıkmıştır.

Bu sistem GWO’ya uygulandığında GWO’da 27 tane dimension var. Bunlar aynı 7 jeneratör, 17 trafo ve 3 tane kapasitör bankasıdır. Buna göre önceki cümleden temel alınarak sırasıyla ilk 24 parametre 0,9 ile 1,1, son 3 parametre ile 0 ile 20 arasında rastgele değerler almıştır. Bu değerler Tablo 3.1.’de verilmiştir.

Tablo 3.1 : IEEE 57 baralı sistemde ORPD’nin GWO tarafından bulunan en iyi çözümü

GWO Tarafından bulunan en iyi çözüm									
1,04245	1,04526	1,07634	0,982394	1,07476	1,01102	0,999006	0,930779	1,00918	1,00182
1,03479	1,01916	1,05444	1,08035	1,09262	1,02876	1,09202	1,08167	1,03383	1,02117
1,01857	0,990282	0,913388	0,973217	18,2047	1,98944	17,6029			

Bunun yanında GWO algoritmasında tüm analizde F1 denilen ve fonksiyon 1 olan toplamın karesi formülü her değer için hesaplanır. Bu analiz sonucu her h-jeneratördeki kayıp güç değeri olan ‘plossa’ dosyasının içine depolanan değer 4,41424482916118 MW çıkmıştı. Bu sonuç Power Flow yani yük akışına göre kabul edilebilir bir değerdir.

3.1. Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD) Analizi

Öncelikle ORPD analizi yapıldı. Burada standart sistem olan IEEE 57 baralı güç sistemini runpf koduyla PF (Power Flow) yani yük akışı analizi sonrası Şekil 2.2'deki sonuçlar çıktı.

Burada yapılan işlem öncelikle 57 paralı sistem 'runpf' komutuyla çalıştırmaktadır. Bu komut Power Flow yani Yük Akışı analizi için gereken koddur. Bu kod EK A'de verilmiştir. Burada yük akışı analizi yapıp kayıp güç değerleri incelendi. Ardından aşağıdaki şekilde verildiği gibi sonuçlar çıkmıştır.

Newton metoduyla güç akışı 3 iterasyonda yakınsandı.

Yakınsama 0.03 saniye içerisinde gerçekleşti.

Sistem Özeti			
Kaç tane?		Ne kadar?	
Bara	57	Toplam jeneratör kapasitesi	1975.9
Jeneratör	7	Çevrimiçi kapasite	1975.9
Çalışan jeneratörler	7	Üretim (güncel)	1278.7
Yükler	42	Yük	1250.8
Sabit Yük	42	Sabit Yük	1250.8
Değişken Yük	0	Değişken Yük	-0.0 of -0.0
Şöntler	3	Şönt (enj)	-0.0
Hatlar	80	Kayıplar ($I^2 \cdot Z$)	27.86
Trafo lar	17	Hat şarjı (enj)	-
Ara bağlantılar	0	Toplam ara bağlantı akışı	0.0
Bölgeler	1		
		En az	En fazla
Voltaj genliği		0.936 p.u. @ bus 31	1.060 p.u. @ bus 46
Voltaj açısı		-19.38 deg @ bus 31	0.00 deg @ bus 1
Kayıp Güç (P) ($I^2 \cdot R$)		-	3.90 MW @ line 1-15

Şekil 3.1 : IEEE 57 baralı standart güç sistemine ORPD yük akışı analizi sonucu

ORPD (Optimal Reactive Power Flow) sistemi analizi sonucunda elde edilen çıktıya göre, Newton yöntemi güç akışı analizi 3 iterasyonda konverge olmuştur. Konvergensin sağlandığı süre ise 0.03 saniyedir. Aşağıda sisteme ilişkin ayrıntılar bulunmaktadır:

Toplam 57 adet bara bulunmaktadır. Genel toplamda 1975.9 MW kapasiteye sahip jeneratörler bulunmaktadır. Bu jeneratörlerin çıkış güç aralığı -468.0 MW ile 699.0 MW arasındadır. Toplamda 7 adet jeneratör aktiftir ve gerçekleştirilen üretim 1278.7 MW'tır. Bu jeneratörlerin reaktif güç üretimi ise 321.1 MVar'dır. Sistemde 42 adet yük bulunmaktadır. Bu yüklerin toplam güç tüketimi 1250.8 MW'dır ve reaktif güç tüketimi 336.4 MVar'dır. Tüm yükler sabit yüklerdir, yani güç tüketimi değiştirilemez. Sistemde

3 adet şönt bulunmaktadır. Şöntlerden gelen enjekte edilen reaktif güç miktarı 0.0 MVar'dır. Toplamda 80 adet hat bulunmaktadır. Hatlardan kaynaklanan güç kayıpları (I^2Z) 27.86 MW ve reaktif güç kayıpları (I^2X) 121.67 MVar'dır. Sistemde 17 adet transformatör bulunmaktadır. Transformatörlerden kaynaklanan hat şarjı 115.3 MVar'dır. Sistemde herhangi bir aralık bağlantısı bulunmamaktadır. Toplamda 1 adet bölge bulunmaktadır.

Aşağıda voltaj ve güç kaybı değerlerinin minimum ve maksimum değerleri verilmektedir:

Voltaj Büyüklüğü: Minimum: 1.065 p.u., bu değer 14 numaralı barada gerçekleşmiştir. Maksimum: 1.224 p.u., bu değer 25 numaralı barada gerçekleşmiştir.

Voltaj Açısı: Minimum: -15.84 derece, bu değer 31 numaralı barada gerçekleşmiştir. Maksimum: 0.00 derece, bu değer 1 numaralı barada gerçekleşmiştir.

Güç Kayıpları ($I^2 * R$): En küçük gerilim açısı -15.84 derece ve bu değer 31 numaralı barada, en büyük gerilim açısı ise 0.00 derece ve bu değer 1 numaralı barada elde edilmiştir.

Aktif Güç Kayıpları: Aktif güç kayıpları 0 ile 3.25 MW arasında değişmektedir ve en yüksek güç kaybı 1-15 numaralı hatta oluşmuştur.

Reaktif Güç Kayıpları: Reaktif güç kayıpları 0 ile 16.63 MVar arasında değişmektedir ve en yüksek reaktif güç kaybı 1-15 numaralı hatta oluşmuştur.

Tablo 3.2.'deki verileri analiz etmek için bazı gözlemler yapılabilir: Jeneratör Bağlantısı: Jeneratörler 1, 2, 3, 6, 8, 9 ve 12. numaralı baralara bağlıdır. Bu baralardaki jeneratörler toplamda 1272.39 MW aktif güç ve 263.09 MVar reaktif güç üretmektedir. Yük Bağlantısı: Toplamda 1250.80 MW aktif güç ve 336.40 MVar reaktif güç tüketen yükler vardır. Yüklerin dağılımı her bir barada farklıdır. Bara 1, 55 MW aktif güç tüketirken, 17 MVar reaktif güç üretmektedir. Bara 2, 3 MW aktif güç tüketirken, 88 MVar reaktif güç üretmektedir. Bara 3, 41 MW aktif güç tüketirken, 21 MVar reaktif güç üretmektedir. Bara 6, 75 MW aktif güç tüketirken, 2 MVar reaktif güç üretmektedir. Bara 8, 150 MW aktif güç tüketirken, 22 MVar reaktif güç üretmektedir. Bara 9, 121 MW aktif güç tüketirken, 26 MVar reaktif güç üretmektedir. Bara 12, 377 MW aktif güç tüketirken, 24 MVar reaktif güç üretmektedir.

Diğer Baralar: Diğer baralardaki veriler eksiktir (-) veya belirli bir değer içermemektedir. Toplamda, sistemde üretilen toplam aktif güç 1272.39 MW ve tüketilen toplam aktif güç 1250.80 MW'tır. Benzer şekilde, sistemde üretilen toplam reaktif güç 263.09 MVar ve tüketilen toplam reaktif güç 336.40 MVar'dır. Bu bilgilere dayanarak, sistemin mevcut durumunda jeneratörlerin yük taleplerini karşılamakta olduğunu ve fazla üretim yapıldığını söylenebilir. Yüklerin dağılımı dikkate alındığında, bazı baraların daha fazla yük taşıdığı ve diğerlerinden daha fazla enerji tükettiği görülmektedir. Örneğin, Bara 8 en yüksek aktif güç tüketen bara olarak öne çıkıyor. Bu veriler, sistemin dengeli olmayan bir yük dağılımı veya enerji talebi olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.2 : 57 baralık güç sisteminin ORPD yük akışı analizi sonucu baralardaki güç kaybı

Bara #	Bara Verisi		Üretim		Yük	
	Genlik(pu)	Açı(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1,04	0	478,66	128,85	55	17
2	1,01	-1,188	0	-0,75	3	88
3	0,985	-5,988	40	-0,9	41	21
4	0,981	-7,337	-	-	-	-
5	0,976	-8,546	-	-	13	4
6	0,98	-8,674	0	0,87	75	2
7	0,984	-7,601	-	-	-	-
8	1,005	-4,478	450	62,1	150	22
9	0,98	-9,585	0	2,29	121	26
10	0,986	-11,45	-	-	5	2
11	0,974	-10,193	-	-	-	-
12	1,015	-10,471	310	128,63	377	24
13	0,979	-9,804	-	-	18	2,3
14	0,97	-9,35	-	-	10,5	5,3
15	0,988	-7,19	-	-	22	5
16	1,013	-8,859	-	-	43	3
17	1,017	-5,396	-	-	42	8
18	1,001	-11,73	-	-	27,2	9,8
19	0,97	-13,227	-	-	3,3	0,6
20	0,964	-13,444	-	-	2,3	1
21	1,008	-12,929	-	-	-	-
22	1,01	-12,874	-	-	-	-
23	1,008	-12,94	-	-	6,3	2,1
24	0,999	-13,292	-	-	-	-
25	0,983	-18,173	-	-	6,3	3,2
26	0,959	-12,981	-	-	-	-
27	0,982	-11,514	-	-	9,3	0,5
28	0,997	-10,482	-	-	4,6	2,3
29	1,01	-9,772	-	-	17	2,6
30	0,963	-18,72	-	-	3,6	1,8
31	0,936	-19,384	-	-	5,8	2,9
32	0,95	-18,512	-	-	1,6	0,8
33	0,948	-18,552	-	-	3,8	1,9
34	0,959	-14,149	-	-	-	-
35	0,966	-13,906	-	-	6	3

36	0,976	-13,635	-	-	-	-
37	0,985	-13,446	-	-	-	-
38	1,013	-12,735	-	-	14	7
39	0,983	-13,491	-	-	-	-
40	0,973	-13,658	-	-	-	-
41	0,996	-14,077	-	-	6,3	3
42	0,967	-15,533	-	-	7,1	4,4
43	1,01	-11,354	-	-	2	1
44	1,017	-11,856	-	-	12	1,8
45	1,036	-9,27	-	-	-	-
46	1,06	-11,116	-	-	-	-
47	1,033	-12,512	-	-	29,7	11,6
48	1,027	-12,611	-	-	-	-
49	1,036	-12,936	-	-	18	8,5
50	1,023	-13,413	-	-	21	10,5
51	1,052	-12,533	-	-	18	5,3
52	0,98	-11,498	-	-	4,9	2,2
53	0,971	-12,253	-	-	20	10
54	0,996	-11,71	-	-	4,1	1,4
55	1,031	-10,801	-	-	6,8	3,4
56	0,968	-16,065	-	-	7,6	2,2
57	0,965	-16,584	-	-	6,7	2
Total:			1278,66	321,08	1250,8	336,4

Tablo 3.3 : IEEE 57 baralılık güç sisteminin ORPD yük akışı analizi sonucu iletim hatlarındaki güç kaybı

Hat Verisi								
Hat	Çıkış	Giriş	Çıkış barası enjeksiyonu		Giriş barası enjeksiyonu		Güç Kayıpları ($I^2 \cdot Z$)	
#	Bara	Bara	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	102,09	75	-100,77	-84,12	1,315	4,44
2	2	3	97,77	-4,64	-94,98	4,46	2,793	7,97
3	3	4	60,21	-8,18	-59,79	5,89	0,423	1,38
4	4	5	13,8	-4,43	-13,67	2,24	0,13	0,28
5	4	6	14,16	-5,09	-14,06	2,08	0,095	0,33
6	6	7	-17,78	-1,71	17,84	-0,62	0,066	0,34
7	6	8	-42,5	-6,56	43,15	5,22	0,644	3,29
8	8	9	178,03	19,83	-174,87	-9,12	3,157	16,1
9	9	10	17,17	-9,23	-17,04	5,58	0,133	0,6
10	9	11	12,9	2,07	-12,86	-3,99	0,047	0,16
11	9	12	2,55	-15,85	-2,45	8,64	0,104	0,47
12	9	13	2,32	-1,96	-2,31	-1,93	0,003	0,01
13	13	14	-10,35	22,34	10,44	-23,1	0,087	0,29
14	13	15	-48,89	4,89	49,57	-4,91	0,681	2,2
15	1	15	148,99	33,79	-145,08	-23,99	3,905	19,96
16	1	16	79,25	-0,87	-76,61	7,08	2,638	11,97
17	1	17	93,34	3,94	-91,42	1,77	1,924	8,73
18	3	15	33,77	-18,19	-33,54	13,65	0,231	0,75
19	4	18	13,96	2,44	-13,96	-1,35	0	1,09

20	4	18	17,87	1,19	-17,87	0,18	0	1,37
21	5	6	0,67	-6,24	-0,66	5,07	0,01	0,02
22	7	8	-77,94	-12,41	78,83	15,05	0,89	4,56
23	10	12	-17,6	-20,09	17,79	17,65	0,186	0,85
24	11	13	-9,93	-4,39	9,95	2,68	0,026	0,09
25	12	13	-0,49	60,35	1,18	-64,09	0,696	2,27
26	12	16	-33,4	8,82	33,61	-10,08	0,212	0,96
27	12	17	-48,46	9,17	49,42	-9,77	0,957	4,32
28	14	15	-68,84	-9,6	69,71	10,98	0,875	2,8
29	18	19	4,63	1,39	-4,53	-1,23	0,108	0,16
30	19	20	1,23	0,63	-1,22	-0,62	0,006	0,01
31	21	20	1,08	0,39	-1,08	-0,38	0	0,01
32	21	22	-1,08	-0,39	1,08	0,4	0,001	0
33	22	23	9,65	3,11	-9,64	-3,1	0,01	0,02
34	23	24	3,34	1	-3,32	-1,81	0,022	0,03
35	24	25	7,07	1,71	-7,07	-1,09	0	0,63
36	24	25	6,79	1,65	-6,79	-1,05	0	0,6
37	24	26	-10,54	-1,55	10,54	1,61	0	0,06
38	26	27	-10,54	-1,61	10,74	1,93	0,204	0,31
39	27	28	-20,04	-2,43	20,3	2,83	0,261	0,4
40	28	29	-24,9	-5,13	25,17	5,51	0,272	0,38
41	7	29	60,09	13,03	-60,09	-10,66	0	2,36
42	25	30	7,56	4,63	-7,45	-4,46	0,11	0,16
43	30	31	3,85	2,66	-3,77	-2,55	0,077	0,12
44	31	32	-2,03	-0,35	2,05	0,39	0,025	0,04
45	32	33	3,81	1,91	-3,8	-1,9	0,008	0,01
46	34	32	7,46	3,79	-7,46	-3,1	0	0,69
47	34	35	-7,46	-3,79	7,5	3,55	0,039	0,06
48	35	36	-13,5	-6,55	13,6	6,53	0,103	0,13
49	36	37	-17,07	-10,61	17,19	10,77	0,123	0,16
50	37	38	-21,05	-13,7	21,47	14,15	0,422	0,65
51	37	39	3,86	2,93	-3,85	-2,92	0,006	0,01
52	36	40	3,46	4,09	-3,46	-4,07	0,009	0,01
53	22	38	-10,73	-3,51	10,76	3,54	0,024	0,04
54	11	41	9,19	3,53	-9,19	-2,83	0	0,7
55	41	42	8,88	3,27	-8,69	-2,95	0,187	0,32
56	41	43	-11,59	-2,95	11,59	3,55	0	0,59
57	38	44	-24,35	5,23	24,52	-5,08	0,175	0,35
58	15	45	37,33	-0,73	-37,33	2,09	0	1,36
59	14	46	47,89	27,4	-47,89	-25,47	0	1,93
60	46	47	47,89	25,47	-47,29	-24,03	0,604	1,79
61	47	48	17,59	12,43	-17,51	-12,33	0,079	0,1
62	48	49	0,08	-7,38	-0,04	6,93	0,04	0,06
63	49	50	9,66	4,43	-9,58	-4,3	0,084	0,13
64	50	51	-11,42	-6,2	11,64	6,56	0,224	0,35
65	10	51	29,64	12,51	-29,64	-11,86	0	0,66

66	13	49	32,43	33,8	-32,43	-30,3	0	3,5
67	29	52	17,92	2,55	-17,45	-1,95	0,463	0,6
68	52	53	12,55	-0,25	-12,43	0,41	0,125	0,16
69	53	54	-7,57	-4,47	7,72	4,66	0,154	0,19
70	54	55	-11,82	-6,06	12,13	6,46	0,308	0,4
71	11	43	13,59	4,85	-13,59	-4,55	0	0,31
72	44	45	-36,52	3,28	37,33	-2,09	0,812	1,62
73	40	56	3,46	4,07	-3,46	-3,74	0	0,33
74	56	41	-5,43	0,66	5,61	-0,49	0,176	0,18
75	56	42	-1,58	1,46	1,59	-1,45	0,01	0,02
76	39	57	3,85	2,92	-3,85	-2,61	0	0,31
77	57	56	-2,85	0,61	2,86	-0,58	0,016	0,02
78	38	49	-4,66	-10,53	4,8	10,44	0,145	0,22
79	38	48	-17,22	-19,39	17,43	19,71	0,205	0,32
80	9	55	18,93	10,38	-18,93	-9,86	0	0,52
							-----	-----
Toplam:							27.864	121.67

Hat Verileri Tablosu, bir güç sistem ağındaki iletim hatlarını veya şubeleri temsil eder. Tabloda yer alan bilgilerin ayrıntılı bir açıklaması:

Sütun başlıkları: Sütun başlıkları, tabloda sunulan veriler hakkında bilgi sağlar. Başlıklar arasında ‘Hat’ (hat numarası), ‘Çıkış’ (hattın başladığı bara numarası), ‘Giriş’ (hattın sonlandığı bara numarası), ‘Çıkış Hattı Enjeksiyonu P (MW)’ (Çıkışta aktif güç enjeksiyonu megavat olarak), ‘Çıkış Hattı Enjeksiyonu Q (MVar)’ (Çıkışta reaktif güç enjeksiyonu megavolt-amper reaktif olarak), ‘Giriş Hattı Enjeksiyonu P (MW)’ (girişte aktif güç enjeksiyonu megavat olarak), ‘Giriş Hattı Enjeksiyonu Q (MVar)’ (girişte reaktif güç enjeksiyonu megavolt-amper reaktif olarak), ‘Kayıp (I^2Z) P (MW)’ (hattaki aktif güç kaybı megavat olarak) ve ‘Kayıp (I^2Z) Q (MVar)’ (hattaki reaktif güç kaybı megavolt-amper reaktif olarak) bulunur. Bu değerler, iletim sırasında ısı olarak dağılan güç kayıplarını temsil eder. Bu tablo, iletim ağındaki güç akışını ve kayıpları kapsamlı bir şekilde sunarak sistem performansının analizini ve optimizasyonunu sağlar.

Verilen değerlere göre, hat üzerindeki toplam kayıp miktarı 21.589 MW olarak belirtilmiştir. Bu değer, hat üzerinden geçen akımın karesi ile hattın empedansının çarpımını temsil eder. Hat üzerindeki toplam kayıp, enerjinin ısıya dönüşerek sistemden çıkması sonucu oluşur. Daha yüksek bir kayıp miktarı, enerji verimliliğinin düşük olduğunu gösterir ve enerji kaynaklarının daha fazla tüketilmesine neden olur. Q (MVar) değeri ise hat üzerindeki reaktif gücü ifade eder. Reaktif güç, enerjinin endüktif ve kapasitif yükler tarafından tüketildiği veya üretildiği gücü temsil eder. Verilen değere

göre, hat üzerindeki reaktif güç kaybı 96.43 MVAR olarak belirtilmiştir. Reaktif güç kaybı, güç faktöründeki düşüklük veya reaktif bileşenlerin etkisiyle oluşabilir. Yüksek reaktif güç kaybı, enerji sistemlerinde verimsizliklere ve güç kalitesi sorunlarına neden olabilir. Bu değerler, enerji dağıtım sisteminin verimliliği ve güç kalitesi açısından önemlidir. Düşük kayıp miktarı ve reaktif güç kaybı, enerji sisteminin daha verimli çalıştığını ve enerjinin daha etkin bir şekilde iletiminin sağlandığını gösterir.

3.2. Grey Wolf Optimization (GWO) Analizi

Grey Wolf Optimization (GWO), doğal kurt sürüsünün sosyal davranışını taklit eden bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu algoritma, bir objektif fonksiyonun eniyilemesi için kullanılır. GWO'nun çalışma mantığı şu adımları içerir:

Başlangıç: Algoritma başlamadan önce, optimizasyon probleminin boyutu ve sınırları belirlenir. Ayrıca, sürüdeki kurtların sayısı (search agents) ve maksimum iterasyon sayısı gibi parametreler atanır.

Başlangıç Popülasyonu: Sürüdeki her bir kurt, çözüm alanında rastgele bir konuma yerleştirilir. Her bir kurt, problemdeki bir çözümü temsil eder.

Ayrışma Aşaması: Kurtlar, objektif fonksiyonun eniyilemesi için sürü içinde hareket ederler. Her bir kurt, mevcut konumundan eniyileme yönünde hareket eder. Bu hareket, lider kurt (alfa), ikinci en iyi kurt (beta) ve üçüncü en iyi kurt (delta) tarafından yönlendirilir.

Kurt Hareketi: Her bir kurt, lider kurt (alfa), beta ve delta kurtlarından etkilenen bir hareket denklemi kullanarak yeni bir konum belirler. Bu hareket denklemi, kurt sürüsünün sosyal hiyerarşisini ve etkileşimlerini taklit eder.

Yeni Konumların Değerlendirilmesi: Her bir kurt, yeni konumunda objektif fonksiyon değerini hesaplar. Eğer yeni konum, mevcut konumdan daha iyi bir çözüm sağlıyorsa, kurdun konumu güncellenir.

Yeni Konumların Karşılaştırılması: Her bir kurt, yeni konumunda elde ettiği objektif fonksiyon değerini lider kurt (alfa) ile karşılaştırır. Eğer daha iyi bir çözüm bulunmuşsa, lider kurt güncellenir. **Döngü:** Belirlenen maksimum iterasyon sayısına veya durma kriterlerine ulaşılan kadar 3-6 adımları tekrarlanır.

Bunun yanında koddaki bazı parametreler şunlardır:

SearchAgents_no (Birey, Ajan Sayısı): Bu parametre, Gri Kurt Optimizasyonu (GWO) algoritmasında güç sistemleri optimizasyonunda kullanılan arama ajanlarının sayısını belirler. Arama ajanlarından kasıt sürüdeki birey sayısıdır. Bu sayı ne kadar yüksekse, algoritmanın daha geniş bir arama alanında çalışması ve potansiyel olarak daha iyi çözümler bulması beklenir. Bu tez çalışmasındaki kod örneğinde, Birey Sayısı değişkeni 10, 50 ve 100 olarak üç ayrı optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu değer, optimizasyon algoritmasında kullanılan ajan sayısının belirlenmesini sağlar. Daha fazla ajan, geniş bir arama alanında daha kapsamlı bir optimizasyon yapılmasına olanak tanır. Ancak, ajan sayısı arttıkça hesaplama maliyeti ve arama süresi de artar.

lb (Alt Sınır): Bu parametre, optimizasyon sürecindeki değişkenlerin alt sınırlarını belirtir. Örneğin, kod örneğinde lb değişkeni Tablo 3.4.'te verilmiştir.

Tablo 3.4 : IEEE 57 baralı güç sisteminin GWO analizinde parametre değerleri olan lb değerleri

Alt sınır (lb) değerler								
0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,9	0,9
0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0	0	0

Bu değerler, güç sistemlerindeki değişkenlerin fiziksel sınırlarını temsil eder. Örneğin, voltaj faktörü değişkeni için alt sınır 0.95, diğer değişkenler için ise 0.9 olarak belirlenmiştir. Bu değerlerden 0.95 değerinde ilk 7 tanesi jeneratör, sonraki 0.9 değerinde olan 17 tanesi trafo, 0 değerinde olan son 3 tanesi kapasitör bankasıdır.

Ub (Üst Sınır): Bu parametre, optimizasyon sürecindeki değişkenlerin üst sınırlarını belirtir. Örneğin, kod örneğinde ub değişkeni Tablo 3.5.'te verilmiştir.

Tablo 3.5 : IEEE 57 baralı güç sisteminin GWO analizinde parametre değerleri olan ub değerleri

Üst sınır (ub) değerler								
1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	20	20	20

Bu değerler, güç sistemlerindeki değişkenlerin üst sınırlarını temsil eder. Örneğin, voltaj faktörü değişkeni için üst sınır 1.1, diğer değişkenler için ise 20 olarak belirlenmiştir. Bu değerlerden 1.1 değerinde ilk 7 tanesi jeneratör, sonraki 1.1 değerinde olan 17 tanesi trafo, 20 değerinde olan son 3 tanesi kapasitör bankasıdır.

dim: Bu parametre, optimize edilecek değişkenlerin çözüm vektörünün boyutunu ve toplam sayısını belirler. Her bir değişken, probleme özgü olarak tanımlanan bir özelliği temsil eder. Kod örneğinde dim değişkeni 27 olarak belirlenmiştir. Bu değişkenlerden 7 tanesi jeneratör, 17 tanesi trafo, 3 tanesi kapasitör bankasıdır.

Positions (Pozisyonlar): Bu değişken, ajanların optimizasyon sürecindeki başlangıç pozisyonlarını temsil eder. Kod örneğinde, Pozisyonlar değişkeni giriş fonksiyonu kullanılarak belirlenir. Başlangıç pozisyonları, rastgele değerlerle oluşturulur ve lb ve ub sınırları dikkate alınarak ayarlanır. Giriş kodunda eğer tüm değişkenlerin sınırları eşitse ve lb ve ub için tek bir sayı girilmişse, Pozisyonlar matrisi rastgele oluşturulan değerlerle doldurulur. Her bir değer, ilgili değişkenin alt ve üst sınırları arasında rastgele bir değer olacaktır. Eğer her bir değişkenin farklı üst ve alt sınırları varsa, Pozisyonlar matrisi sütun doldurulur. Her bir sütun, ilgili değişkenin alt ve üst sınırları arasında rastgele bir değere sahip olur. Bu şekilde, giriş fonksiyonu, GWO algoritmasının ilk popülasyonunu başlatırken kullanılan konumları belirler.

Max_iteration: Bu parametre, GWO algoritmasının maksimum iterasyon sayısını belirler. Algoritma, bu sayıya ulaşıncaya kadar belirli bir iterasyon sayısında çalışır ve çözümü iyileştirmeye çalışır. Daha yüksek iterasyon sayıları, algoritmanın daha uzun süre çalışmasını sağlar ve potansiyel olarak daha iyi sonuçlar elde etmesine olanak tanır. Kod örneğinde Max_iteration değişkeni 200 olarak belirlenmiştir. Optimizasyon algoritması, belirli bir iterasyon sayısı kadar çalıştıktan sonra sonlanır.

Swarm ve fSwarm: Bu parametreler, GWO algoritmasında kullanılan arama ajanlarının pozisyonlarını ve bu pozisyonlara karşılık gelen objektif fonksiyon değerlerini temsil eder. Swarm, her bir arama ajanının pozisyonunu içeren bir matristir, fSwarm ise bu pozisyonlara karşılık gelen objektif fonksiyon değerlerini içeren bir vektördür.

PBest ve fPBest: Bu parametreler, her bir arama ajanının en iyi pozisyonunu ve bu pozisyona karşılık gelen en iyi objektif fonksiyon değerini temsil eder. Her arama ajanı, bulunduğu en iyi pozisyonu ve bu pozisyona karşılık gelen en iyi değeri saklar ve güncellemelerde kullanır.

Best_pos: En iyi çözümün konumu. Algoritma çalıştıktan sonra bulunan en iyi çözümü temsil eder.

Best_score: En iyi çözümün objektif fonksiyon değeri. Algoritma çalıştıktan sonra bulunan en iyi çözümün objektif fonksiyon değerini temsil eder.

GWO_cg_curve: Algoritma iterasyonları boyunca en iyi çözümün objektif fonksiyon değerlerinin bir listesini temsil eder.

Yukarıda açıklanan parametreler, güç sistemleri optimizasyonu için kullanılan Gri Kurt Optimizasyonu (GWO) algoritmasının yapılandırılmasında ve çalıştırılmasında kullanılmaktadır. Kod örneğinde, SearchAgents_no değişkeni 10, 50 ve 100 farklı ajan sayıları ve iterasyon sayılarıyla üç ayrı optimizasyon çalışması gerçekleştirilmekte ve elde edilen sonuçlar grafiklerle görselleştirilmektedir.

Newton metoduyla güç akışı 4 iterasyonda yakınsandı.

Yakınsama 0.00 saniye içerisinde gerçekleşti.

Sistem Özeti			
Kaç tane?		Ne kadar?	
Bara	57	Toplam jeneratör kapasitesi	1975.9
Jeneratör	7	Çevrimiçi kapasite	1975.9
Çalışan jeneratörler	7	Üretim (güncel)	1272.4
Yükler	42	Yük	1250.8
Sabit Yük	42	Sabit Yük	1250.8
Değişken Yük	0	Değişken Yük	-0.0 of -0.0
Şöntler	3	Şönt (enj)	-0.0
Hatlar	80	Kayıplar ($I^2 \cdot Z$)	21.59
Trafo lar	17	Hat şarjı (enj)	-
Ara bağlantılar	0	Toplam ara bağlantı akışı	0.0
Bölgeler	1		
		En az	En fazla
Voltaj genliği	1.065 p.u. @ bus 14		1.224 p.u. @ bus 25
Voltaj açısı	- 15.84 deg @ bus 31		0.00 deg @ bus 1
Kayıp Güç (P) ($I^2 \cdot R$)	-		3.25 MW @ line 1-15
Kayıp Güç (Q) ($I^2 \cdot X$)	-		16.63 MVar @ line 1-15

Şekil 3.2 : IEEE 57 baralı standart güç sistemine GWO yük akışı analizi sonucu

GWO (Grey Wolf Optimizer) sistemi analizi sonucunda elde edilen çıktıya göre, Newton yöntemi güç akışı analizi 4 iterasyonda konverge olmuştur. Konvergensin sağlandığı süre ise 0.00 saniyedir. Aşağıda sisteme ilişkin ayrıntılar bulunmaktadır:

Toplam 57 adet bara bulunmaktadır. Genel toplamda 1975.9 MW kapasiteye sahip jeneratörler bulunmaktadır. Bu jeneratörlerin çıkış güç aralığı -468.0 MW ile 699.0 MW arasındadır. Toplamda 7 adet jeneratör aktiftir ve gerçekleştirilen üretim 1272.4 MW'tır. Bu jeneratörlerin reaktif güç üretimi ise 263.1 MVar'dır. Sistemde 42 adet yük bulunmaktadır. Bu yüklerin toplam güç tüketimi 1250.8 MW'dır ve reaktif güç tüketimi

336.4 MVAR'dır. Tüm yükler sabit yüklerdir, yani güç tüketimi değiştirilemez. Sistemde 3 adet şönt (shunt) bulunmaktadır. Şöntlerden gelen enjekte edilen reaktif güç miktarı - 0.0 MVAR'dır. Toplamda 80 adet hat bulunmaktadır. Hatlardan kaynaklanan güç kayıpları (I^2Z) 21.59 MW ve reaktif güç kayıpları (I^2X) 96.43 MVAR'dır. Sistemde 17 adet transformatör bulunmaktadır. Transformatörlerden kaynaklanan hat şarjı 136.4 MVAR'dır. Sistemde herhangi bir aralık bağlantısı bulunmamaktadır. Toplamda 1 adet bölge bulunmaktadır.

Aşağıda voltaj ve güç kaybı değerlerinin minimum ve maksimum değerleri verilmektedir:

Voltaj Büyüklüğü: Minimum: 1.065 p.u., bu değer 14 numaralı barada gerçekleşmiştir. Maksimum: 1.224 p.u., bu değer 25 numaralı barada gerçekleşmiştir.

Voltaj Açısı: Minimum: -15.84 derece, bu değer 31 numaralı barada gerçekleşmiştir. Maksimum: 0.00 derece, bu değer 1 numaralı barada gerçekleşmiştir.

Güç Kayıpları ($I^2 * R$): En küçük gerilim açısı -15.84 derece ve bu değer 31 numaralı barada, en büyük gerilim açısı ise 0.00 derece ve bu değer 1 numaralı barada elde edilmiştir.

Aktif Güç Kayıpları: Aktif güç kayıpları 0 ile 3.25 MW arasında değişmektedir ve en yüksek güç kaybı 1-15 numaralı hatta oluşmuştur.

Reaktif Güç Kayıpları: Reaktif güç kayıpları 0 ile 16.63 MVAR arasında değişmektedir ve en yüksek reaktif güç kaybı 1-15 numaralı hatta oluşmuştur.

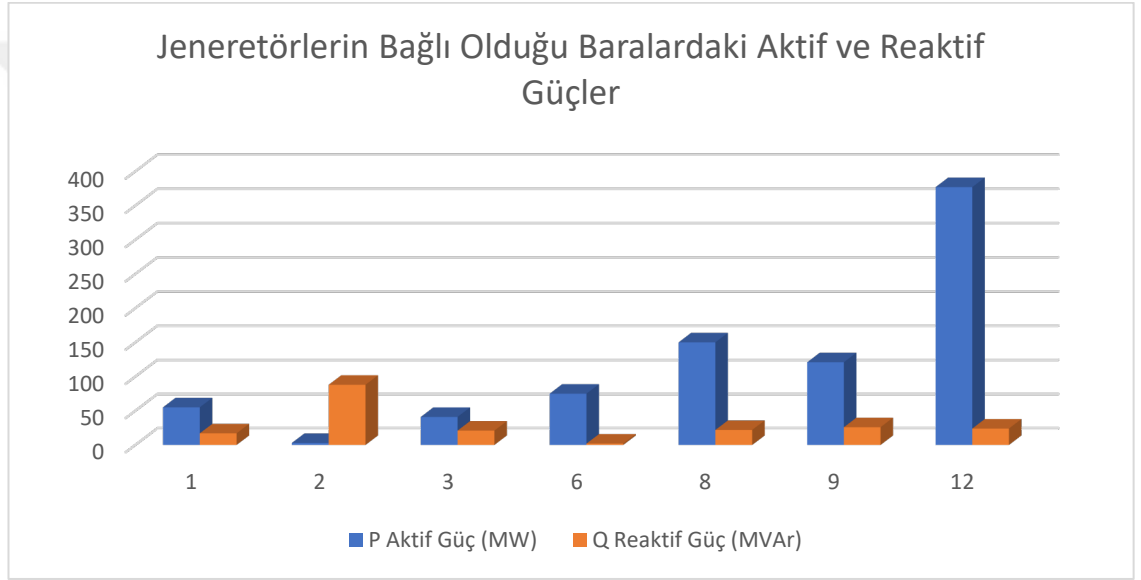
Tablo 3.6 : IEEE 57 baralılık güç sisteminin GWO analizi sonucu baralardaki güç kaybı

Bara Verisi						
Bara	Voltaj		Üretim		Yük	
#	Genlik(pu)	Açı(deg)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1	1,1	0	472,39	-18,91	55	17
2	1,1	-1,47	0	88,51	3	88
3	1,09	-5,734	40	48,01	41	21
4	1,086	-6,832	-	-	-	-
5	1,083	-7,867	-	-	13	4
6	1,087	-7,988	0	10,37	75	2
7	1,088	-7,131	-	-	-	-
8	1,1	-4,42	450	19,64	150	22
9	1,088	-8,693	0	72,77	121	26

10	1,068	-9,96	-	-	5	2
11	1,071	-9,053	-	-	-	-
12	1,076	-8,912	310	42,7	377	24
13	1,069	-8,626	-	-	18	2,3
14	1,065	-8,263	-	-	10,5	5,3
15	1,078	-6,494	-	-	22	5
16	1,076	-7,598	-	-	43	3
17	1,08	-4,66	-	-	42	8
18	1,132	-10,224	-	-	27,2	9,8
19	1,106	-11,399	-	-	3,3	0,6
20	1,1	-11,576	-	-	2,3	1
21	1,146	-11,197	-	-	-	-
22	1,147	-11,156	-	-	-	-
23	1,147	-11,231	-	-	6,3	2,1
24	1,154	-11,89	-	-	-	-
25	1,224	-15,218	-	-	6,3	3,2
26	1,16	-11,662	-	-	-	-
27	1,17	-10,256	-	-	9,3	0,5
28	1,179	-9,381	-	-	4,6	2,3
29	1,189	-8,777	-	-	17	2,6
30	1,207	-15,526	-	-	3,6	1,8
31	1,181	-15,843	-	-	5,8	2,9
32	1,185	-15,127	-	-	1,6	0,8
33	1,184	-15,152	-	-	3,8	1,9
34	1,111	-12,327	-	-	-	-
35	1,116	-12,118	-	-	6	3
36	1,124	-11,89	-	-	-	-
37	1,129	-11,656	-	-	-	-
38	1,148	-11,002	-	-	14	7
39	1,126	-11,659	-	-	-	-
40	1,124	-11,981	-	-	-	-
41	1,11	-12,266	-	-	6,3	3
42	1,077	-13,282	-	-	7,1	4,4
43	1,167	-9,973	-	-	2	1
44	1,157	-10,303	-	-	12	1,8
45	1,186	-8,283	-	-	-	-
46	1,172	-9,581	-	-	-	-
47	1,156	-10,693	-	-	29,7	11,6
48	1,154	-10,814	-	-	-	-
49	1,157	-10,986	-	-	18	8,5
50	1,147	-11,426	-	-	21	10,5
51	1,175	-10,825	-	-	18	5,3
52	1,163	-10,277	-	-	4,9	2,2
53	1,155	-10,955	-	-	20	10
54	1,163	-10,361	-	-	4,1	1,4
55	1,178	-9,508	-	-	6,8	3,4

56	1,073	-13,545	-	-	7,6	2,2
57	1,077	-14,198	-	-	6,7	2
			-----	-----	-----	-----
Toplam:			1272,39	263,09	1250,8	336,4

Tablo 3.6'daki veriler temel alınarak aşağıdaki yorum yapılır. Jeneratör Bağlantısı: Jeneratörler 1, 2, 3, 6, 8, 9 ve 12. numaralı baralara bağlıdır. Bu baralardaki jeneratörler toplamda 1272.39 MW aktif güç ve 263.09 MVar reaktif güç üretmektedir. Yük Bağlantısı: Toplamda 1250.80 MW aktif güç ve 336.40 MVar reaktif güç tüketen yükler vardır. Yüklerin dağılımı her bir barada farklıdır.



Şekil 3.3 : Jeneratörlerin bağlı olduğu baralardaki aktif ve reaktif güçler

Bara 1, 55 MW aktif güç tüketirken, 17 MVar reaktif güç üretmektedir.

Bara 2, 3 MW aktif güç tüketirken, 88 MVar reaktif güç üretmektedir.

Bara 3, 41 MW aktif güç tüketirken, 21 MVar reaktif güç üretmektedir.

Bara 6, 75 MW aktif güç tüketirken, 2 MVar reaktif güç üretmektedir.

Bara 8, 150 MW aktif güç tüketirken, 22 MVar reaktif güç üretmektedir.

Bara 9, 121 MW aktif güç tüketirken, 26 MVar reaktif güç üretmektedir.

Bara 12, 377 MW aktif güç tüketirken, 24 MVar reaktif güç üretmektedir.

Diğer Baralar: Diğer baralardaki veriler eksiktir (-) veya belirli bir değer içermemektedir. Toplamda, sistemde üretilen toplam aktif güç 1272.39 MW ve tüketilen toplam aktif güç 1250.80 MW'tır. Benzer şekilde, sistemde üretilen toplam reaktif güç 263.09 MVar ve tüketilen toplam reaktif güç 336.40 MVar'dır. Bu bilgilere dayanarak, sistemin mevcut durumunda jeneratörlerin yük taleplerini karşılamakta olduğunu ve fazla üretim yapıldığını söylenir. Yüklerin dağılımı dikkate alındığında, bazı baraların daha fazla yük taşıdığı ve diğerlerinden daha fazla enerji tükettiği görülmektedir. Örneğin, Bara 8 en yüksek aktif güç tüketen bara olarak öne çıkıyor. Bu veriler, sistemin dengeli olmayan bir yük dağılımı veya enerji talebi olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.7 : IEEE 57 baralık güç sisteminin GWO analizi sonucu iletim hatlarındaki güç kaybı

Hat #	Hat Verisi		Çıkış Barası Enjeksiyonu		Giriş Barası Enjeksiyonu		Kayıp ($I^2 \cdot Z$)	
	Çıkış Bara	Giriş Bara	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	102,3	-36,71	-101,53	23,71	0,775	2,62
2	2	3	98,53	-23,2	-96,06	20,44	2,473	7,05
3	3	4	60,82	-6,02	-60,47	2,66	0,35	1,14
4	4	5	13,97	-5,99	-13,85	3,2	0,114	0,24
5	4	6	14,65	-7	-14,56	3,19	0,087	0,3
6	6	7	-16,87	0,77	16,92	-3,78	0,049	0,25
7	6	8	-42,73	-1,35	43,25	-1,59	0,525	2,68
8	8	9	176,28	-4,64	-173,74	11,05	2,543	12,97
9	9	10	17,3	6,49	-17,18	-11,06	0,119	0,54
10	9	11	13,84	15,87	-13,74	-18,06	0,106	0,35
11	9	12	2,33	-0,83	-2,32	-8,16	0,011	0,05
12	9	13	2,82	9,69	-2,75	-14,2	0,063	0,21
13	13	14	-12,14	14,03	12,18	-15,15	0,042	0,14
14	13	15	-47,79	3,59	48,34	-4,49	0,543	1,76
15	1	15	148,56	0,22	-145,31	4,69	3,252	16,63
16	1	16	76,22	-2,07	-74,04	5,5	2,18	9,89
17	1	17	90,3	2,65	-88,7	1,25	1,608	7,3
18	3	15	34,24	12,59	-34,05	-18,35	0,194	0,63
19	4	18	13,73	1,48	-13,73	-0,66	0	0,82
20	4	18	18,12	8,84	-18,12	-7,55	0	1,29
21	5	6	0,85	-7,2	-0,84	5,76	0,011	0,02
22	7	8	-79,72	-2,37	80,47	3,87	0,747	3,82
23	10	12	-17,31	-4,8	17,38	1,37	0,075	0,34
24	11	13	-9,76	5,11	9,79	-7,17	0,026	0,09
25	12	13	-5,24	11,65	5,28	-18,47	0,039	0,13
26	12	16	-30,88	6,71	31,04	-8,5	0,158	0,71
27	12	17	-45,94	7,13	46,7	-9,25	0,757	3,41

28	14	15	-66,02	-4,92	66,68	5,33	0,66	2,11
29	18	19	4,65	1,34	-4,57	-1,22	0,084	0,13
30	19	20	1,27	0,62	-1,26	-0,61	0,005	0,01
31	21	20	1,04	0,4	-1,04	-0,39	0	0,01
32	21	22	-1,04	-0,4	1,04	0,4	0,001	0
33	22	23	9	-3,45	-9	3,46	0,007	0,01
34	23	24	2,7	-5,56	-2,66	4,51	0,041	0,06
35	24	25	6,82	-8,56	-6,82	9,66	0	1,1
36	24	25	7,13	1,21	-7,13	-0,79	0	0,42
37	24	26	-11,29	2,84	11,29	-2,79	0	0,05
38	26	27	-11,29	2,79	11,46	-2,54	0,166	0,26
39	27	28	-20,76	2,04	20,96	-1,73	0,197	0,3
40	28	29	-25,56	-0,57	25,75	0,84	0,196	0,28
41	7	29	62,8	6,15	-62,8	-4,33	0	1,82
42	25	30	7,65	5,55	-7,57	-5,43	0,08	0,12
43	30	31	3,97	3,63	-3,9	-3,53	0,065	0,1
44	31	32	-1,9	0,63	1,91	-0,61	0,015	0,02
45	32	33	3,81	1,9	-3,8	-1,9	0,005	0
46	34	32	7,31	2,49	-7,31	-2,09	0	0,39
47	34	35	-7,31	-2,49	7,34	2,13	0,025	0,04
48	35	36	-13,34	-5,13	13,41	5,01	0,07	0,09
49	36	37	-15,96	-2,29	16,02	2,37	0,06	0,08
50	37	38	-20,08	-8,54	20,32	8,65	0,242	0,38
51	37	39	4,06	6,17	-4,04	-6,16	0,01	0,02
52	36	40	2,55	-2,72	-2,55	2,73	0,003	0,01
53	22	38	-10,04	3,05	10,06	-3,03	0,016	0,02
54	11	41	8,92	-4,93	-8,92	5,6	0	0,67
55	41	42	9	5,07	-8,82	-4,77	0,179	0,3
56	41	43	-12,58	-15,02	12,58	16,31	0	1,28
57	38	44	-29,33	-3,46	29,52	3,58	0,191	0,39
58	15	45	42,34	7,81	-42,34	-6,45	0	1,36
59	14	46	43,34	14,76	-43,34	-13,66	0	1,1
60	46	47	43,34	13,66	-42,99	-13,07	0,347	1,02
61	47	48	13,29	1,47	-13,26	-1,44	0,024	0,03
62	48	49	0,9	-3,74	-0,89	3,11	0,008	0,01
63	49	50	9,77	2,89	-9,71	-2,79	0,062	0,1
64	50	51	-11,29	-7,71	11,49	8,02	0,197	0,31
65	10	51	29,49	13,86	-29,49	-13,32	0	0,54
66	13	49	29,62	19,91	-29,62	-18,19	0	1,72
67	29	52	20,04	0,89	-19,63	-0,36	0,411	0,53
68	52	53	14,73	-1,84	-14,61	2	0,124	0,16
69	53	54	-5,39	0,76	5,43	-0,7	0,042	0,05
70	54	55	-9,53	-0,7	9,65	0,85	0,117	0,15
71	11	43	14,58	17,88	-14,58	-17,31	0	0,58
72	44	45	-41,52	-5,38	42,34	6,45	0,816	1,62
73	40	56	2,55	-2,73	-2,55	2,88	0	0,15

74	56	41	-6,02	-1,17	6,2	1,35	0,181	0,18
75	56	42	-1,72	-0,36	1,72	0,37	0,006	0,01
76	39	57	4,04	6,16	-4,04	-5,6	0	0,56
77	57	56	-2,66	3,6	2,69	-3,55	0,03	0,04
78	38	49	-2,72	-4,06	2,74	3,69	0,019	0,03
79	38	48	-12,33	-5,11	12,37	5,18	0,042	0,07
80	9	55	16,45	4,5	-16,45	-4,25	0	0,25
							-----	-----
Toplam:							21,589	96,43

Hat Verileri Tablosu, bir güç sistem ağındaki iletim hatlarını veya şubeleri temsil eder.

Sütun başlıkları: Sütun başlıkları, tabloda sunulan veriler hakkında bilgi sağlar. Başlıklar arasında ‘Hat’ (hat numarası), ‘Çıkış’ (hattın başladığı bara numarası), ‘Giriş’ (hattın sonlandığı bara numarası), ‘Çıkış Hattı Enjeksiyonu P (MW)’ (Çıkışta aktif güç enjeksiyonu megavat olarak), ‘Çıkış Hattı Enjeksiyonu Q (MVar)’ (Çıkışta reaktif güç enjeksiyonu megavolt-amper reaktif olarak), ‘Giriş Hattı Enjeksiyonu P (MW)’ (girişte aktif güç enjeksiyonu megavat olarak), ‘Giriş Hattı Enjeksiyonu Q (MVar)’ (girişte reaktif güç enjeksiyonu megavolt-amper reaktif olarak), ‘Kayıp (I^2Z) P (MW)’ (hattaki aktif güç kaybı megavat olarak) ve ‘Kayıp (I^2Z) Q (MVar)’ (hattaki reaktif güç kaybı megavolt-amper reaktif olarak) bulunur. Bu değerler, iletim sırasında ısı olarak dağılan güç kayıplarını temsil eder. Bu tablo, iletim ağındaki güç akışını ve kayıpları kapsamlı bir şekilde sunarak sistem performansının analizini ve optimizasyonunu sağlar.

GWO analizi için, sistemdeki baraların numaralandırması şu şekildedir: 1, 2, 3, 6, 8, 9 ve 12. Bu numaralandırma kullanılarak bazı sonuçlar elde edilir. İlk adımda, her bir hattın kayıp miktarı hesaplanır. Bu hesaplama, hatların uzunluğu, direnci ve geçen akım gibi faktörlere dayanır. Sisteminizdeki hatların bu özelliklerini ve kayıp hesaplama formülünü kullanarak, her bir hat için kayıp miktarını belirlenir. Daha sonra, her bir hattın kayıp miktarı üzerinde GWO yöntemini uygulayarak, hatlardaki kayıpları optimize edilir. GWO, gri kurtlar olarak adlandırılan bir grup kurt benzetimli arama ajanını kullanır. Bu kurtlar, bir objektif fonksiyonu eniyilemek için bir araya gelir ve uygun bir çözüm bulmak için birbirleriyle etkileşime girer. GWO analizinde, gri kurtlar, mevcut çözüm alanında rastgele bir şekilde hareket eder ve en iyi çözümü bulmaya çalışır. Her bir gri kurt, çözüm alanındaki bir noktaya karşılık gelir ve bu noktadaki objektif fonksiyon değeri ile temsil edilir. Kurtlar, lider kurt olarak adlandırılan en iyi çözümü takip eder ve diğer kurtlarla birlikte hareket eder. Gri kurtlar, iterasyonlar boyunca hareket ederek en iyi çözümü

bulmaya çalışır. Bu iterasyonlar, her bir gri kurdun en iyi çözüm için konumunu güncellemesini içerir. Bu şekilde, en iyi çözüme yaklaşan bir optimizasyon süreci gerçekleştirilir. GWO analizi sonucunda, gri kurtların en son konumlarındaki objektif fonksiyon değerleri kullanılarak, hatlardaki kayıp miktarları elde edilir. Bu kayıp miktarları, sistemdeki hatlardaki enerji kaybını temsil eder. Sonuç olarak, GWO analizi kullanarak sistemdeki jeneratörlerin bağlandığı baralardaki hat kayıplarını ve toplam hatlardaki kayıpları hesaplanılır. Bu analiz, gri kurt optimizasyonunu kullanarak en iyi çözüme yaklaşan bir süreç izler ve kayıp miktarlarını minimize etmeyi amaçlar. Bu sayede, enerji dağıtım sistemini daha verimli hale getirebilir ve kaynakları daha etkin bir şekilde kullanılır.

Verilen değerlere göre, hat üzerindeki toplam kayıp miktarı 21.589 MW olarak belirtilmiştir. Bu değer, hat üzerinden geçen akımın karesi ile hattın empedansının çarpımını temsil eder. Hat üzerindeki toplam kayıp, enerjinin ısıya dönüşerek sistemden çıkması sonucu oluşur. Daha yüksek bir kayıp miktarı, enerji verimliliğinin düşük olduğunu gösterir ve enerji kaynaklarının daha fazla tüketilmesine neden olur. Q (MVar) değeri ise hat üzerindeki reaktif gücü ifade eder. Reaktif güç, enerjinin endüktif ve kapasitif yükler tarafından tüketildiği veya üretildiği gücü temsil eder. Verilen değere göre, hat üzerindeki reaktif güç kaybı 96.43 MVar olarak belirtilmiştir. Reaktif güç kaybı, güç faktöründeki düşüklük veya reaktif bileşenlerin etkisiyle oluşur. Yüksek reaktif güç kaybı, enerji sistemlerinde verimsizliklere ve güç kalitesi sorunlarına neden olur. Bu değerler, enerji dağıtım sisteminin verimliliği ve güç kalitesi açısından önemlidir. Düşük kayıp miktarı ve reaktif güç kaybı, enerji sisteminin daha verimli çalıştığını ve enerjinin daha etkin bir şekilde iletiminin sağlandığını gösterir.

Tablo 3.8 : IEEE 57 baralı güç sisteminin GWO analizi sonucu elde edilmiş en iyi çözüm

GWO Analizi Sonucu Elde Edilmiş En İyi Çözüm								
1,1	1,1	1,09043	1,08681	1,1	1,08777	1,07625	0,954318	0,933408
1,03937	1,01852	0,93493	0,994364	0,912916	0,92329	0,997428	0,904117	0,901293
0,90253	0,9	0,900438	1,08012	0,980238	0,919631	2,28721	11,756	9,55781

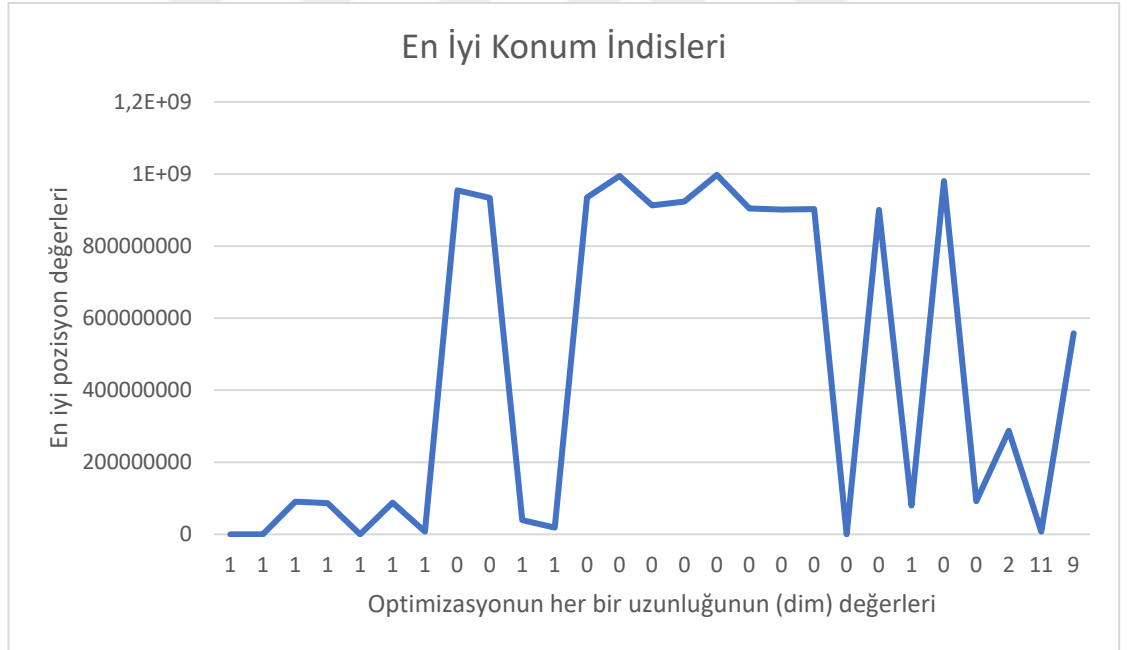
GWO tarafından bulunan amaç fonksiyonunun en iyi optimal değeri 21.5895 MW'TIR. GWO (Grey Wolf Optimizer) tarafından elde edilen en iyi çözüm, bir dizi sayısal değerden oluşur. Bu değerler optimize edilmek istenen amaç fonksiyonunun en iyi değerini temsil eder.

21.5895 ise amaç fonksiyonunun en iyi değeridir. Bu değer, GWO optimizasyon algoritması tarafından elde edilen çözümün amaç fonksiyonunu (genellikle enerji kaybını veya maliyeti minimize etmek gibi bir hedefi ifade eder) en iyi şekilde optimize ettiğini gösterir. Bu çıktı, GWO analizi sonucunda elde edilen en iyi çözümü ve amaç fonksiyonunun en iyi değerini temsil eder. Yani GWO tarafından analiz sonucu hatlardaki toplam en iyi optimizasyon sonucu enerji kaybı 21.5895 MWtır.

Runpf fonksiyonu, MVAbase, bus, gen ve branch verilerini kullanarak Newton-Raphson yük akış analizini gerçekleştirir. Bu analiz, güç sistemi bileşenlerinin gerilim düzeylerini ve güç akışlarını hesaplar.

bbb değişkeni, branch verilerindeki aktif güç girişlerinin karesini temsil eder. PF sütunu, dalga akımın aktığı başlangıç noktasındaki aktif gücü içerir.

best: Bu değer, en iyi çözümün bulunduğu konumun indisini temsil etmektedir. 27,8411767641473 olarak belirtilmiştir. best_position: En iyi çözümün bulunduğu konumun koordinatlarını ifade eder. İndisler sırasıyla Şekil 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.4 : Best_position indisleri

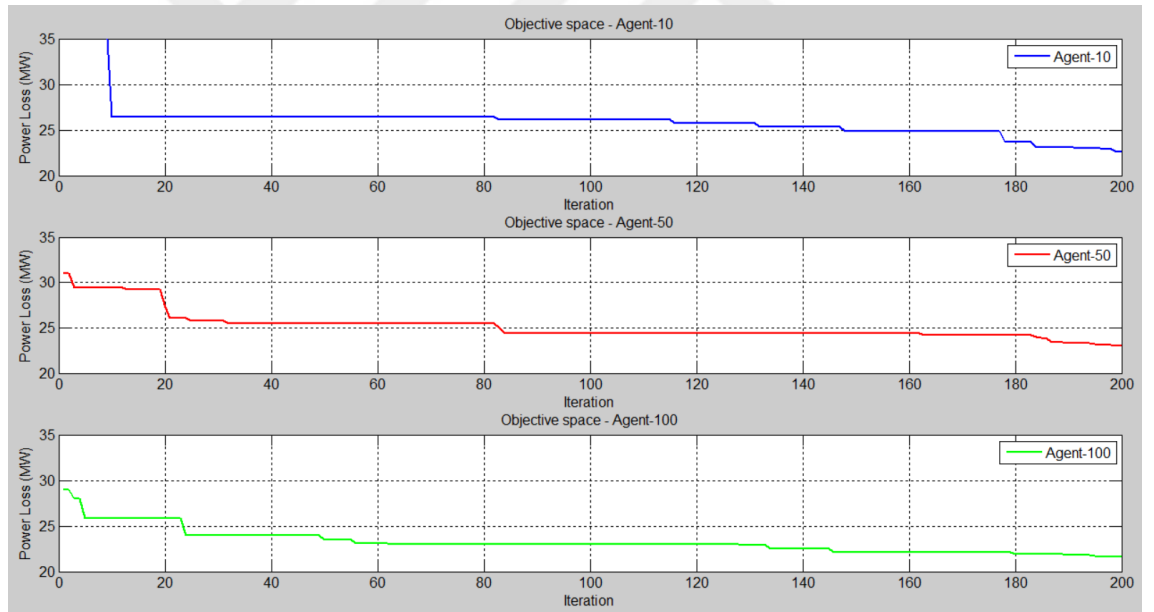
best_score: En iyi çözümün elde ettiği puanı ifade eder. 21,58949205 olarak belirtilmiştir.

fbest: En iyi çözümün sonuç olarak elde edilen değeridir. 27,84117676 olarak belirtilmiştir.

plosaa: Bu değerler, kurt sürüsünün pozisyon ayarlamalarını ifade eder. Kurtların belirli konumlarını gösteren dizi verileridir. Örneğin, ilk dört pozisyon şu şekildedir: (1,701494787), (1,701494787), (3,901138504), (3,901138504) gibi devam eder. Bu değerler, GWO algoritmasının çalışması sırasında elde edilen sonuçları ve kurt sürüsünün davranışını temsil etmektedir. Algoritma, kurt sürüsündeki lider kurdun konumunu güncellerken, diğer kurtların da lider kurdun etrafında hareket etmesini simüle eder. Bu şekilde, en iyi çözüme yaklaşmaya çalışır.

GWO_cg_curve: Bu değerler, GWO algoritmasının her bir iterasyonunda en iyi çözümün elde ettiği puanları temsil eder. Verilen değerler, çözümün puanının her bir iterasyonda sırasıyla şu şekilde değiştiğini gösterir: 28,92493014, 28,92493014, 27,98357173, 27,98357173, 25,82717518, 25,82717518 ve böyle devam eder.

lastbpf: Bu değer, GWO algoritmasının son iterasyonunda elde edilen en iyi çözümün puanını ifade eder. 27,84117676 olarak belirtilmiştir.



Şekil 3.5 : Birey sayısı (Agent_No) yukarıdan aşağıya sırasıyla 10, 50, 100 olan bir sistemin GWO analizi

Şekil 3.5'te Agent-10, Agent-50, Agent-100 değerlerine göre analiz yapılmıştır. Grafikten de anlaşılacağı gibi 200 iterasyonda Agent-10, 10 tane Agent_no'ya sahip yani sürüdeki birey sayısı 10, Agent-50, 50 tane Agent_no'ya sahip yani sürüdeki birey sayısı 50, Agent-100, 10 tane Agent_no'ya sahip yani sürüdeki birey sayısı 100 olan farklı analizler grafik şekli olarak gösterilmiştir. Bu grafikte 200 iterasyon sayılı Agent-10, 10

tane Agent_no'ya sahip yani sürüdeki birey sayısı 10 olan grafik en üstte mavi renkte, 200 iterasyon sayılı Agent-50, 50 tane Agent_no'ya sahip yani sürüdeki birey sayısı 50 olan grafik en üstte kırmızı renkte, 200 iterasyon sayılı Agent-100, 100 tane Agent_no'ya sahip yani sürüdeki birey sayısı 100 olan grafik en üstte yeşil renkte gösterilmiştir.

Burada sürüdeki birey sayısı yani Agent_no artarsa hedefi bulma oranı yükselir. Agent-100 olan yeşil grafik 5'inci iterasyondan sonra kayıp güç değerini 30 MW'ta yakinken 25 MW'a yakın değere çekmiş. Agent-50 olan kırmızı grafik 20'inci iterasyondan sonra kayıp güç değerini 30 MW'ın üzerindeyken 25 MW'a yakın değere çekmiş. Agent-10 olan mavi grafik 140'ıncı iterasyona kadar pek bir değişiklik gözlenmemiş 140'ıncı iterasyondan sonra gözle görülür bir biçimde güç değerini 25 MW'ın altında bir değere çekmiştir. Burada da Agent sayısı yani sürüdeki birey sayısı artarsa hedefi bulma oranı artar. Buna bağlı olarak zaman ve maliyette artar.

3.3. Power Flow ve Grey Wolf Optimization (GWO) Analizleri Karşılaştırması

GWO analizlerinden sonra çıkan kayıp güç değeri PF yani Yük akışı analizi sonucu elde edilen değerlerle karşılaştırılır. Analizler sonucu esas olan iki analizde de hatlarda oluşan kayıpların en aza indirilmesidir.

Tablo 3.9 : IEEE 57 baralılık güç sisteminin ORPD yük akışı analizi sonucu iletim hatlarındaki güç kaybı

		ORPD	GWO
Hatlardaki Toplam	P (MW)	27,864	21,589
Kayıp	Q (MVar)	121,67	96,43

Aktif Güç Kaybı (P) Değerlendirmesi: ORPD Sonucu: 27,864 MW GWO Sonucu: 21,589 MW Aktif güç kaybı, enerji sistemindeki hatlardaki direnç ve reaktans kaynaklı güç kaybını ifade eder. Karşılaştırmada, GWO yöntemi kullanıldığında elde edilen hatlardaki toplam aktif güç kaybı (21,589 MW), ORPD yöntemiyle elde edilen değere (27,864 MW) kıyasla daha düşüktür. Bu durum, GWO yönteminin hatlardaki enerji kayıplarını daha etkin bir şekilde azalttığını göstermektedir. Reaktif Güç Kaybı (Q) Değerlendirmesi; ORPD Sonucu, 121,67 MVar, GWO Sonucu, 96,43 MVar'dır. Reaktif güç kaybı, güç sistemlerindeki endüktif ve kapasitif elemanlar arasındaki reaktif güç akışından kaynaklanır. Tabloya göre, GWO yöntemi kullanıldığında elde edilen hatlardaki toplam reaktif güç kaybı (96,43 MVar), ORPD yöntemiyle elde edilen değere (121,67 MVar) kıyasla daha düşüktür. Bu, GWO yönteminin reaktif güç kayıplarını daha etkin bir şekilde

azalttığını göstermektedir. Bu sonuçlar, GWO yönteminin hatlardaki toplam kaybı minimize etme konusunda ORPD yöntemine göre daha başarılı olduğunu göstermektedir. GWO'nun daha düşük aktif ve reaktif güç kaybı değerleri sunması, enerji sistemi verimliliğini artırabilir ve güç kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlayabilir. GWO analizinde görüldüğü gibi kayıp güç değerleri en aşağıya indirilmiştir. Böylelikle yapay zeka algoritması olan GWO algoritmasının kayıp güç belirgin bir avantaj sağladığı gözlemlenmiştir.

3.4. GWO (Grey Wolf Optimizer)'nun Literatürde Bulunan Diğer Metaheuristik Optimizasyon Yöntemleriyle Karşılaştırılması

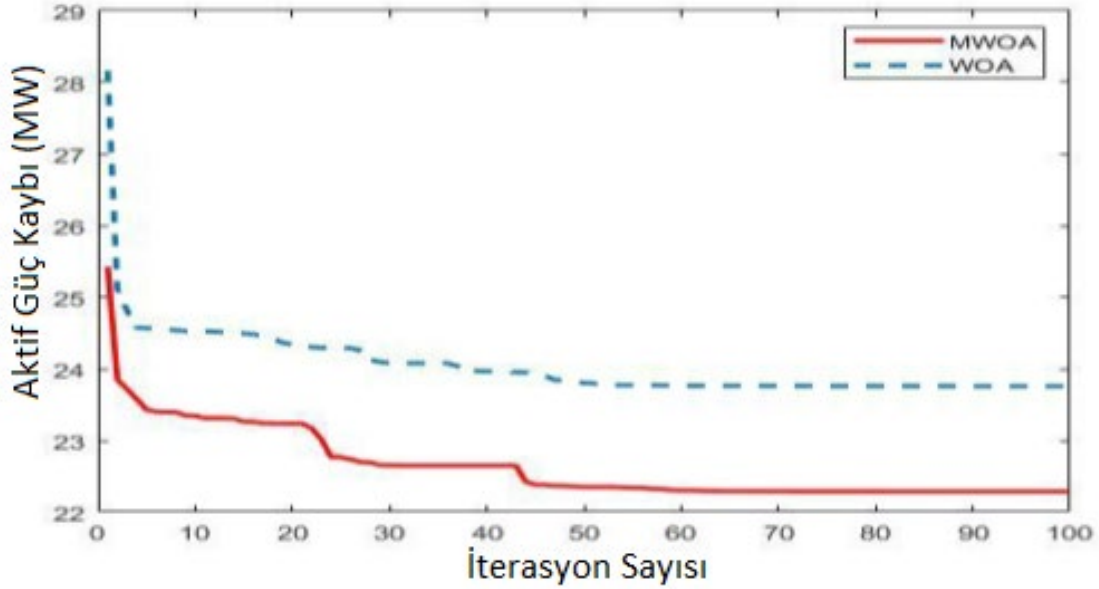
IEEE 57 baralılık güç sisteminin GWO (Grey Wolf Optimizer) algoritmasına uygulandıktan sonra diğer yöntemlere uygulanması gözlenmiştir. Bu tezde IEEE 57 standart güç sisteminin metaheuristik bir algoritma olan GWO analizi sonucu hatlardaki toplam güç kaybı 21,589 MW olarak gözlemlenmiştir. Bu tezde IEEE 57 baralılık standart güç sisteminin gerçek güç kaybı (P_{loss}) yapılan yine bu tezdeki GWO analizi sonucu değeri ve daha önce literatürde yapılan çalışmalarda tezde IEEE 57 baralılık standart güç sisteminin gerçek güç kaybı (P_{loss}) değerleriyle karşılaştırılıp hangisinin daha avantajlı olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 3.10 : 57 baralı standart güç sisteminin GWO (Grey Wolf Optimizer) analizinin diğer metaheuristik analizlerle karşılaştırılması

Metaheuristik Teknikleri	Minimum Güç Kayıpları (MW)
GWO	21,5890
MWAO[19]	22,2876
SCA[20]	24,0500
ABC[21]	24,1025
ISMA[22]	24,5856
MJAYA[23]	23,4705
MFOM[24]	24,2529
BBO[25]	24,5400
GSA[26]	24,5400
SOA[27]	24,4300
BSO[28]	24,3700
OGWO-VCP[29]	24,7500
HHO-PSO[30]	24,4600

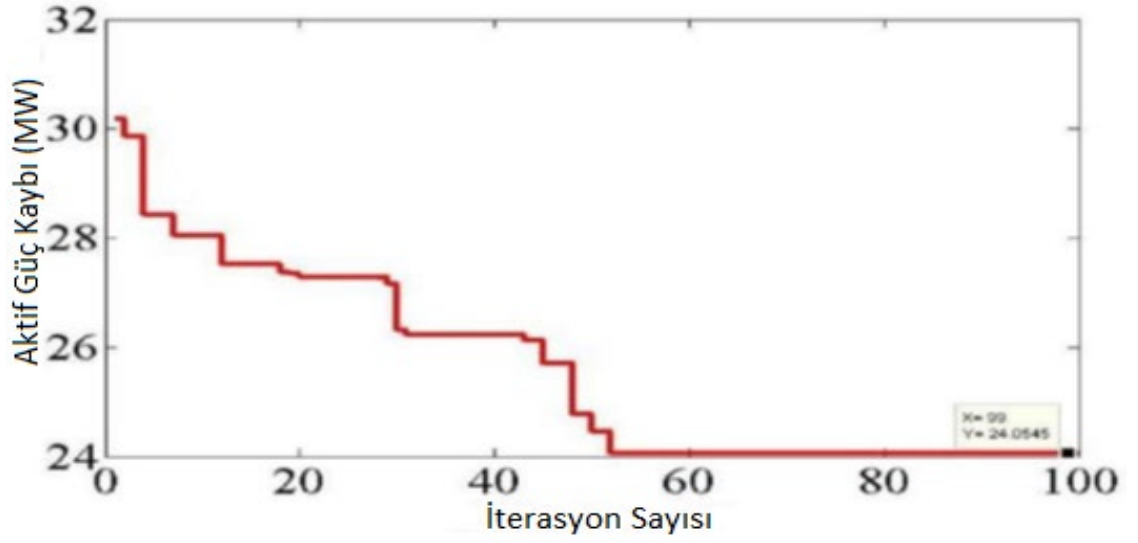
Tablo 3.10'da görüldüğü gibi GWO analizi (GWO'nun spesifik parametresi olan ajan sayısı) bu tezde 10, 50 ve 100 ajanlı (birey sayılı) ve 200 iterasyonda analiz sonucu en

düşük ya da en iyi güç kaybı diye tanımlanan P_{best} değeri **21,589** MW çıkmış ve diğer literatürdeki diğer 13 araştırmacının yaptığı 13 farklı metaheuristik yönteminin en iyi gerçek güç kaybı değerlerine göre belirgin bir avantaj sağladığı gözlemlenmiştir.



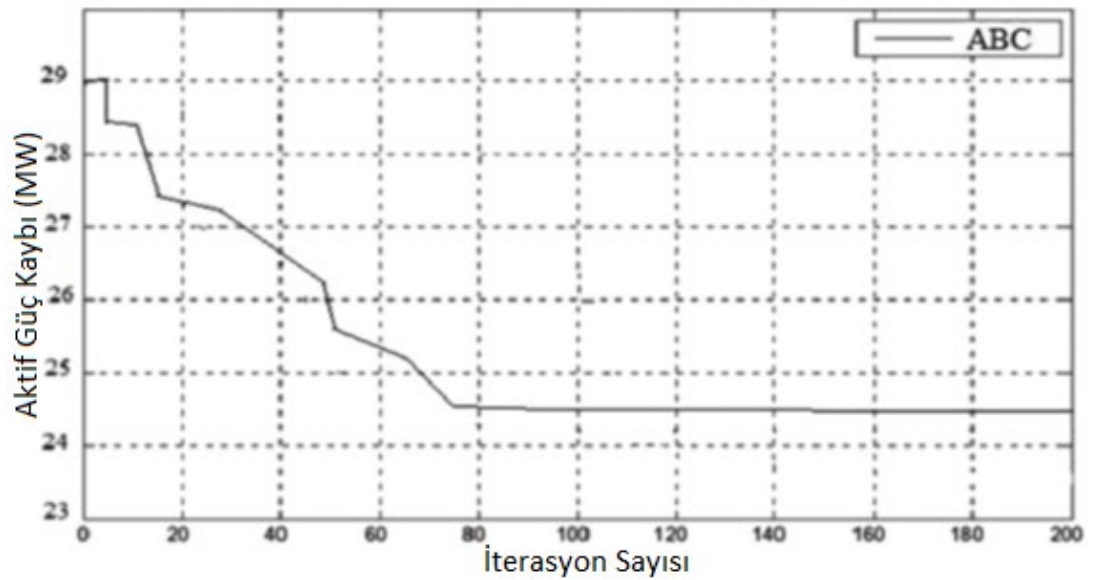
Şekil 3.6 : A IEEE 57 standart güç sisteminin MWOA algoritması üzerinde güç kaybı analizi

Şekil 3.6’da Sahay S. ve arkadaşları Aktif Güç Kaybını Minimizasyon için Modifiye Balina Optimizasyon Algoritmasının İstatistiksel Analizi Aktif Güç Kaybını Minimizasyon için Modifiye Balina Optimizasyon Algoritmasının İstatistiksel Analizi adlı çalışmalarında Modifiye Balina Optimizasyon Algoritması (MWHO) üzerinde çalışmış ve IEEE 57 standart güç sistemini 100 iterasyonda en iyi gerçek güç kaybı (P_{loss}) değerinin 22,2876 MW olduğunu gözlemlemiştir Bu değerleri daha büyük güç kaybı değerleri çıkaran Balina Optimizasyon Algoritması (WHO) değerleriyle karşılaştırmıştır.[19]



Şekil 3.7 : A IEEE 57 standart güç sisteminin SCA algoritması üzerinde güç kaybı analizi

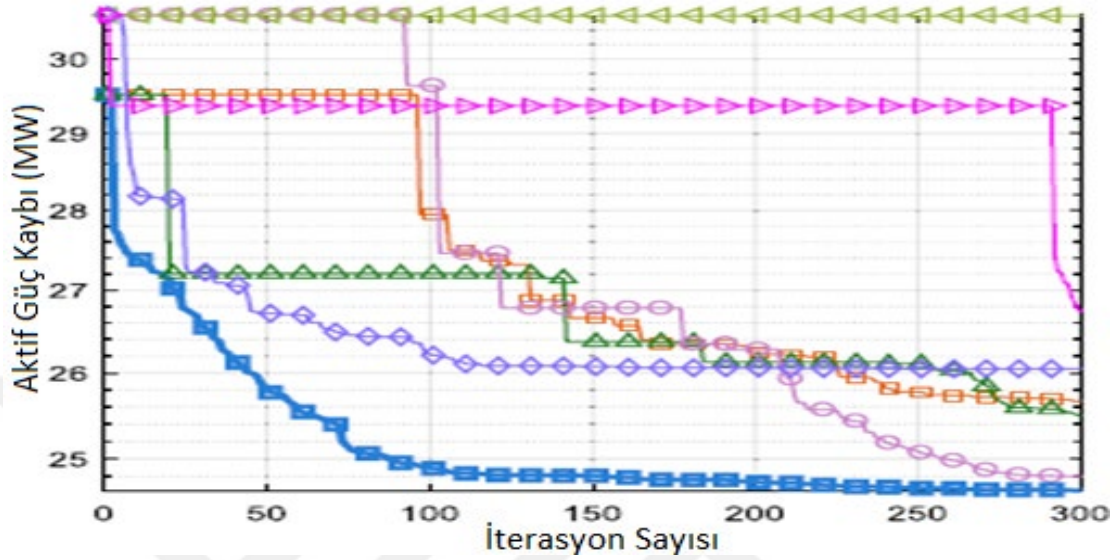
Şekil 3.7’de Saddique M. ve arkadaşları Sinüs-Kosinüs Algoritması Kullanarak Güç Kayıplarını En Aza İndirmek İçin İletim Sistemindeki Reaktif Güç Dağıtımının Optimal Çözümü adlı çalışmalarında Sinüs-Kosinüs Algoritması (SCA) üzerinde çalışmış ve IEEE 57 standart güç sistemini 100 iterasyonda en iyi gerçek güç kaybı (P_{loss}) değerinin 24,0500 MW olduğunu gözlemlemiştir.[20]



Şekil 3.8 : A IEEE 57 standart güç sisteminin ABC algoritması üzerinde güç kaybı analizi

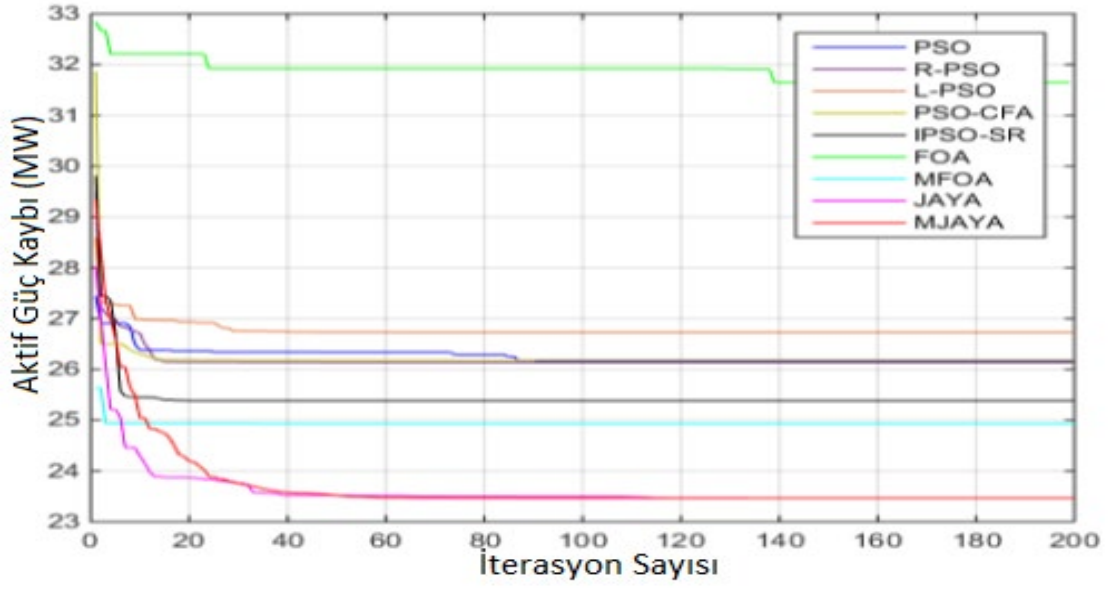
Şekil 3.8’de M. Ettappan ve arkadaşları Yapay Arı Kolonisi Algoritması kullanarak gerçek güç kaybı minimizasyonu ve voltaj kararlılığının artırılması için optimum reaktif güç dağıtımı adlı çalışmalarında Yapay Arı Kolonisi (ABC) üzerinde çalışmış ve IEEE

57 standart güç sistemini 200 iterasyonda en iyi gerçek güç kaybı (P_{loss}) değerinin 24,1025 MW olduğunu gözlemlemiştir.[21]



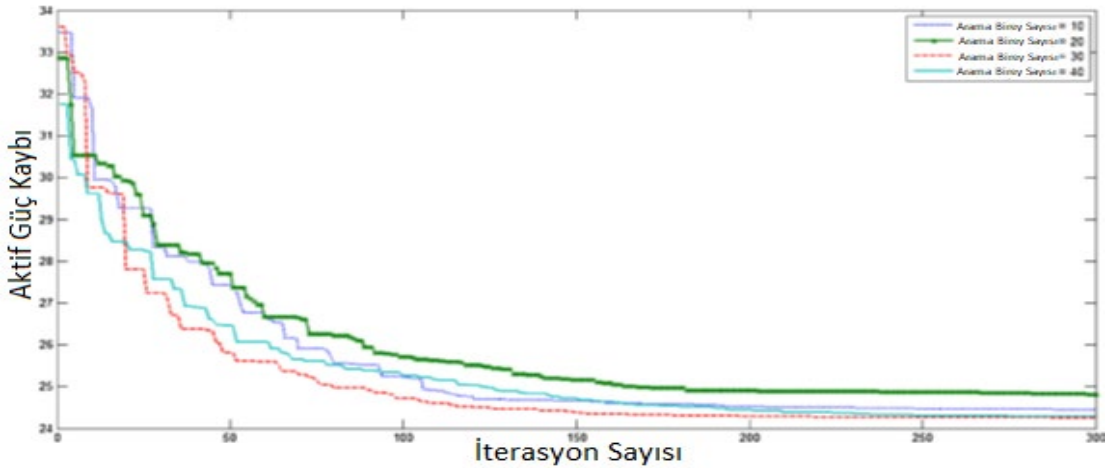
Şekil 3.9 : A IEEE 57 standart güç sisteminin ISMA algoritması üzerinde güç kaybı analizi

Şekil 3.9’da Wei Y. ve arkadaşları Geliştirilmiş bir balçık kalıp algoritması kullanarak optimum reaktif güç dağıtımını adlı çalışmalarında Geliştirilmiş Balçık Kalıp Algoritması (ISMA) üzerinde çalışmış ve IEEE 57 standart güç sistemini 300 iterasyonda en iyi gerçek güç kaybı (P_{loss}) değerinin 24,5856 MW olduğunu gözlemlemiştir. Bu değeri diğer metaheuristik optimizasyon yöntemleriyle karşılaştırmıştır. Şekil 3.9’da Geliştirilmiş Balçık Kalıp Algoritması (ISMA) analizinde güç kayıpları mavi renkte verilmiştir.[22]



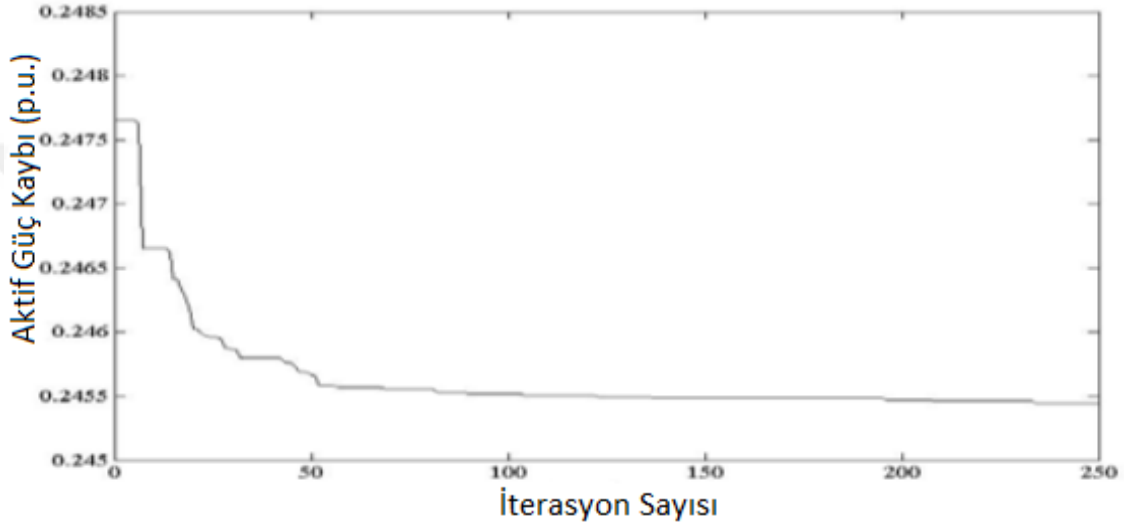
Şekil 3.10 : A IEEE 57 standart güç sisteminin JAYA algoritması üzerinde güç kaybı analizi

Şekil 3.10'da Das T. ve arkadaşları Değiştirilmiş JAYA Algoritmasına Dayalı Optimal Reaktif Güç Dağıtımı adlı çalışmalarında Değiştirilmiş JAYA (MJAYA) Algoritması üzerinde çalışmış ve IEEE 57 standart güç sistemini 200 iterasyonda en iyi gerçek güç kaybı (P_{loss}) değerinin 23,4705 MW olduğunu gözlemlemiştir. Bu değeri diğer meta-heuristic optimizasyon yöntemleriyle ve standart JAYA Algoritmasıyla karşılaştırmıştır. Şeki 3.10'da standart JAYA Algoritması mor, Değiştirilmiş JAYA (MJAYA) Algoritması analizinde güç kayıpları kırmızı renkte verilmiştir.[23]



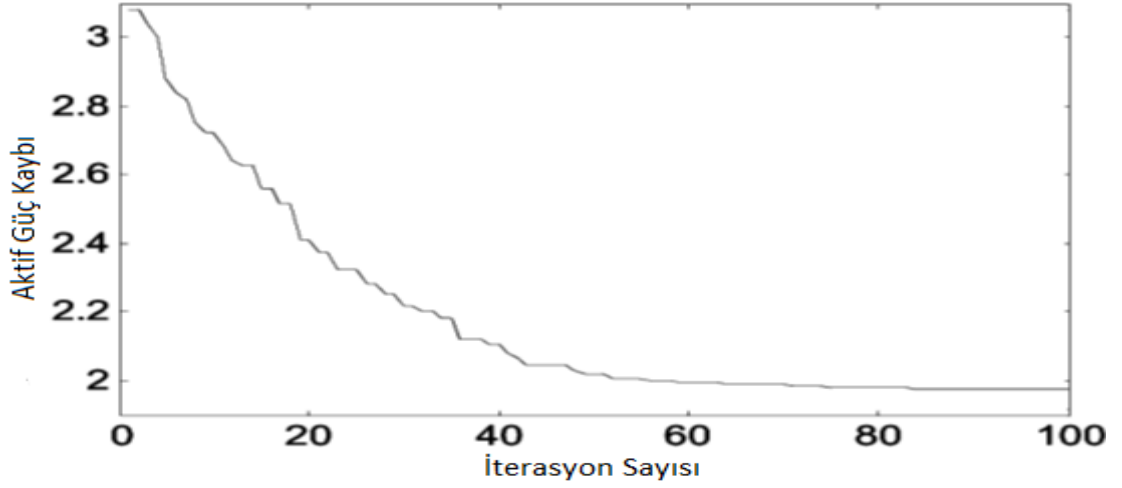
Şekil 3.11 : A IEEE 57 standart güç sisteminin Moth-flame algoritması üzerinde güç kaybı analizi

Şekil 3.11’de Ng. Shin Mei R. ve arkadaşları Moth-flame optimizasyon tekniği kullanılarak kayıp minimizasyonu ile optimum reaktif güç dağıtım çözümü adlı çalışmalarında Moth-flame optimizasyon Algoritması üzerinde çalışmış. Bu değerleri birey sayısı (agent_no) 10, 20, 30, 40 olan Moth-flame sürü algoritmasında optimize etmiştir. IEEE 57 standart güç sistemini 300 iterasyonda en iyi gerçek güç kaybı (P_{loss}) değerinin 24,2529 MW olduğunu gözlemlemiştir.[24]



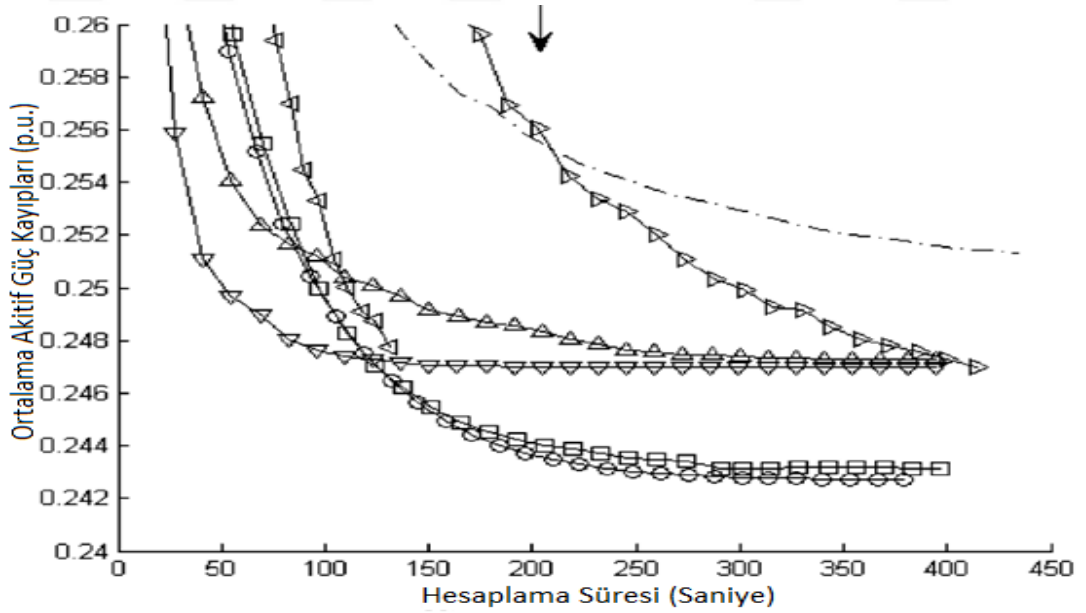
Şekil 3.12 : A IEEE 57 standart güç sisteminin BBO algoritması üzerinde güç kaybı analizi

Şekil 3.12’de Bhattacharya A. ve arkadaşları Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon Kullanarak Optimal Reaktif Güç Akışı Çözümü adlı çalışmalarında Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (BBO) üzerinde çalışmış, IEEE 57 standart güç sistemini 250 iterasyonda en iyi gerçek güç kaybı (P_{loss}) değerinin 24,5400 MW olduğunu gözlemlemiştir.[25]



Şekil 3.13 : IEEE 57 bara için GSA algoritmasını kullanan genel OF'nin yakınsama özelliği sistem.

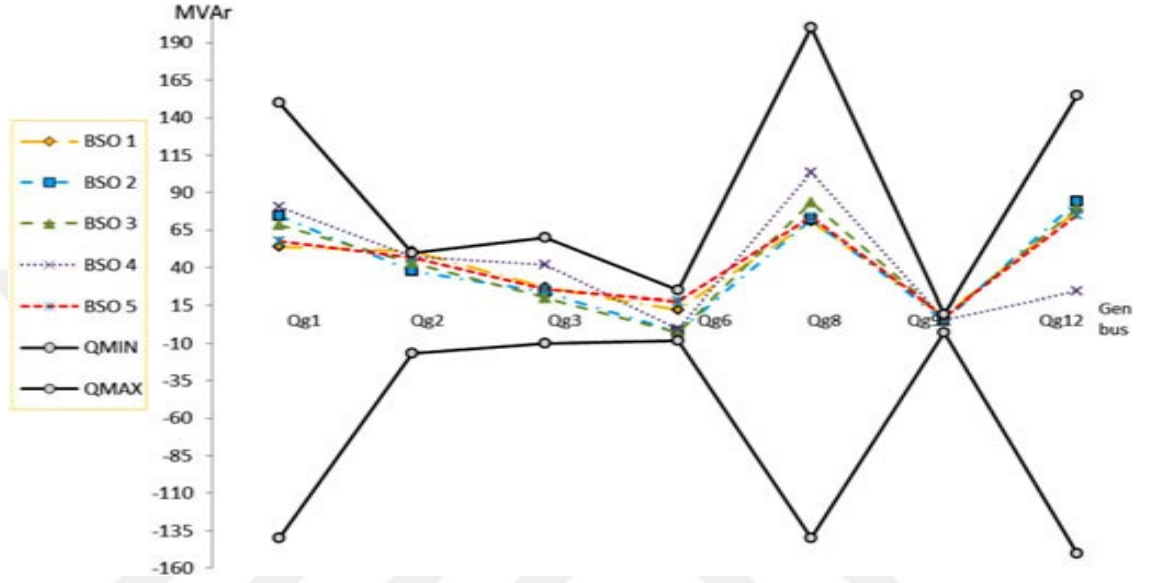
Şekil 3.13’de Roy P. ve arkadaşları Voltaj kararlılığı geliştirmesi için yerçekimi arama algoritmasına dayalı optimum reaktif güç dağıtımı adlı çalışmalarında Yerçekimi Arama Algoritmasına (GSO) üzerinde çalışmış, IEEE 57 standart güç sistemini 100 iterasyonda yakınsama özelliği (convergence curve) değerlerini hesaplayıp bu özellik değerleri üzerinden en iyi gerçek güç kaybı (P_{loss}) değerinin 24,5400 MW olduğunu gözlemlemiştir.[26]



Şekil 3.14 : A IEEE 57 standart güç sisteminin SOA algoritması üzerinde güç kaybı analizi

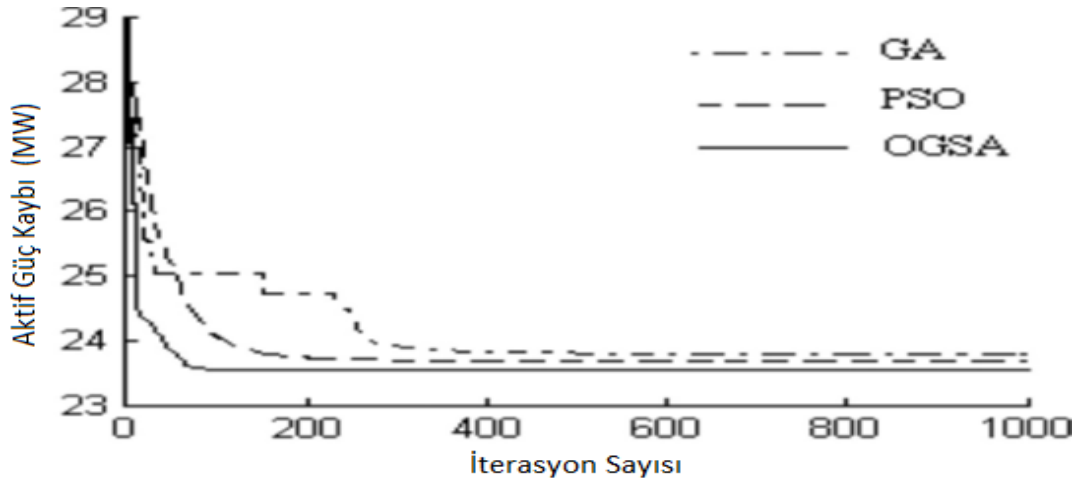
Şekil 3.14’te Dai C. ve arkadaşları Optimum reaktif güç dağıtımı için arayıcı optimizasyon algoritması adlı çalışmalarında Arayıcı Optimizasyon Algoritması (SOA)

üzerinde çalışmış, IEEE 57 standart güç sistemini 400 saniyede en iyi gerçek güç kaybı (P_{loss}) değerinin 24,4300 MW olduğunu gözlemlemiştir. Bu değeri diğer metaheuristik optimizasyon yöntemiyle karşılaştırmıştır. Şekil 3.14'te Arayıcı Optimizasyon Algoritması (SOA) yuvarlak şekiller biçiminde gösterilmiştir. [27]



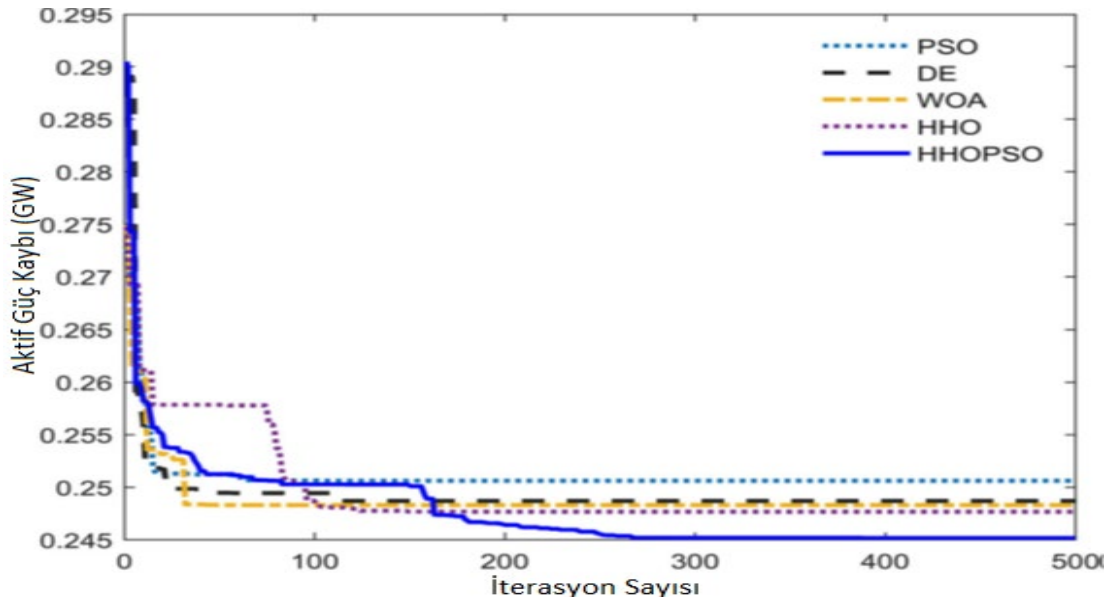
Şekil 3.15 : Güç için BSO stratejilerinin jeneratör veri yollarındaki reaktif güç çıkışları kayıp minimizasyonu (IEEE 57-bus sistemi)

Shaheen A. ve arkadaşları Reaktif Güç Dağıtım Sorununu Çözmek için Geri İzleme Arama Optimize Edicisinin Entegre Stratejileri Arayıcı Geri İzleme Arama Optimize Edicisi (BSO) üzerinde çalışmış, IEEE 57 standart güç sistemini 400 iterasyonda en iyi gerçek güç kaybı (P_{loss}) değerinin 24,3700 MW olduğunu gözlemlemiştir. Bunun yanında Şekil 3.15'te her IEEE 57 baralı sistemde toplam 7 jeneratörün reaktif güç kaybını hesaplamıştır.[28]



Şekil 3.16 : IEEE 57 standart güç sisteminin OGWO algoritması üzerinde güç kaybı analizi

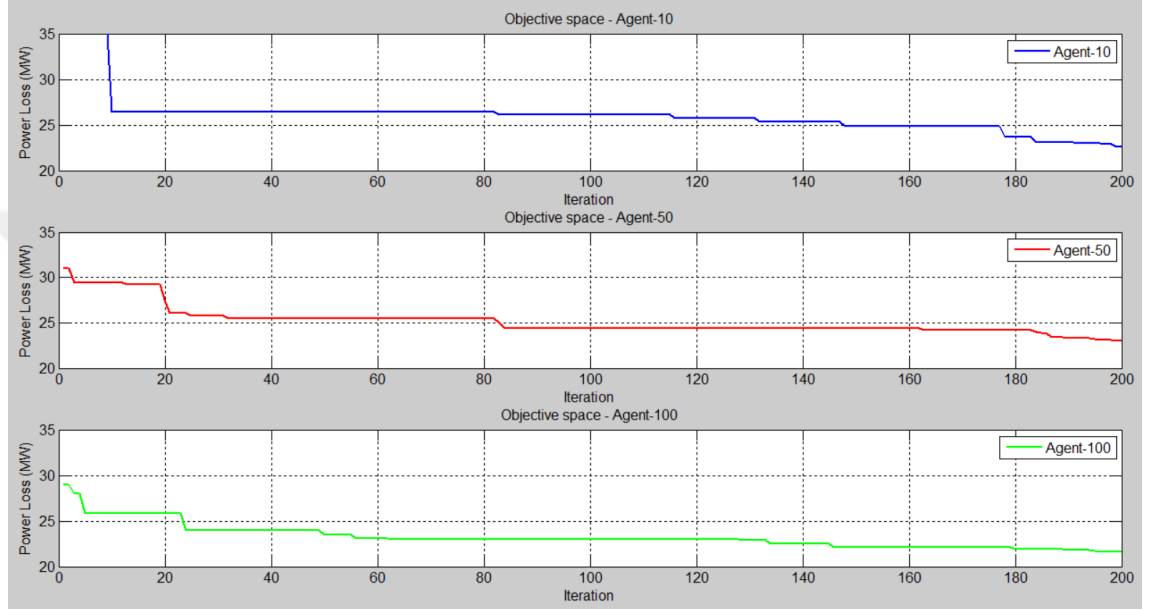
Şekil 3.16’da Binod Shaw ve arkadaşları karşıt tabanlı bir yerçekimi arama algoritması ile güç sistemlerinin reaktif güç dağıtımının çözümü adlı çalışmalarında ve IEEE 57 standart güç sistemini 1000 iterasyonda analizini yapmıştır. Analizi Karşıt Tabanlı Yerçekimi Arama (OGWO) algoritması yapmış ve en iyi gerçek güç kaybı (P_{loss}) değerinin 24,7200 MW olduğunu gözlemlemiştir. Bu değerleri daha düşük sonuçlar olan Genetik Algoritma (GA) ve Parçacık Sürü Algoritması (PSO) değerleriyle karşılaştırmıştır.[31]



Şekil 3.17 : IEEE 57 standart güç sisteminin HHO-PSO algoritması üzerinde güç kaybı analizi

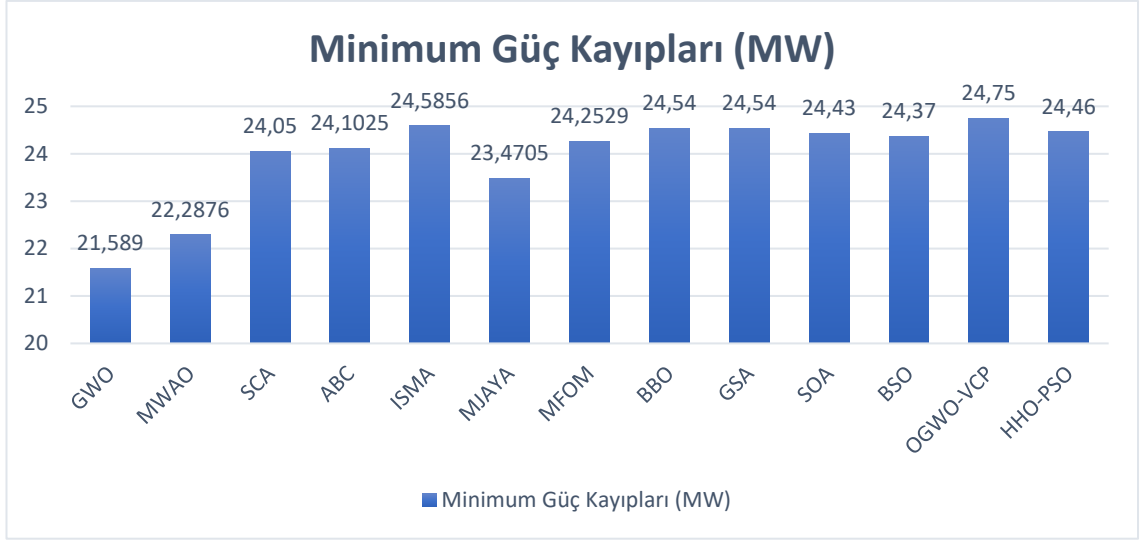
Şekil 3.17’de Shekarappa G. S. ve arkadaşları Hibrit Harris Hawk Parçacık Sürü Optimize Edici Kullanarak Reaktif Yükleme Varyasyonu için Gerilim Kısıtlı Reaktif Güç

Planlama Problemi adlı çalışmalarında Hibrit Harris Hawk Parçacık Sürü Optimize Edici Algoritması (HHO-PSO) üzerinde çalışmış, IEEE 57 standart güç sistemini 500 iterasyonda en iyi gerçek güç kaybı (P_{loss}) değerinin 24,4600 MW olduğunu gözlemlemiştir. Bu değeri diğer metaheuristik optimizasyon yöntemiyle karşılaştırmıştır. [30]



Şekil 3.18 : IEEE 57 standart güç sisteminin GWO algoritması üzerinde güç kaybı analizi

Şekil 3.18’de bu tez için, IEEE 57 standart güç sistemini 200 iterasyonda birey sayısı (ajan sayısı) 10, 50, 100 olan kurt sürüsü optimizasyonunda hem ajan sayısının etkisi gözlemlenmiş hem de diğer sezgisel optimizasyon algoritmalarına göre başarılı bir sonuç çıkarıp en iyi gerçek güç kaybı (P_{loss}) değerinin 21,589 MW olduğunu gözlemlemiştir.



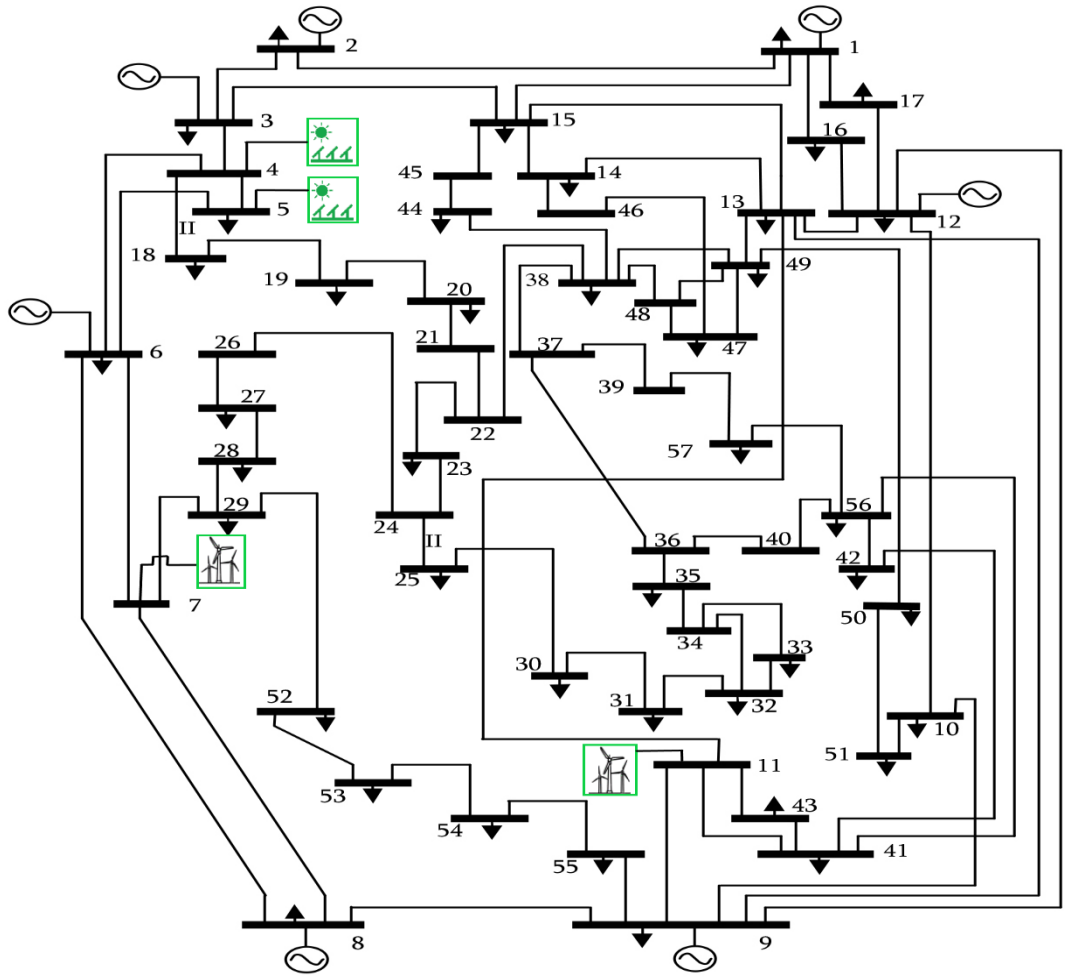
Şekil 3.19 : IEEE 57 baralı standart güç sisteminin GWO (Grey Wolf Optimizer) analizinin diğer meta-heuristic analizlerle karşılaştırılması

Şekil 3.19’da görüldüğü gibi GWO'nun daha düşük aktif ve reaktif güç kaybı değerleri sunması, enerji sistemi verimliliğini artırabilir ve güç kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlayabilir. GWO analizinde görüldüğü gibi kayıp güç değerleri en aşağıya indirilmiştir. Böylelikle yapay zeka algoritması olan GWO algoritması kayıp güç açısından belirgin bir avantaj sağladığı gözlemlenmiştir.

3.5. IEEE 57 Baralı Standart Güç Sistemine Dağıtık Enerji Kaynağı(DER)

Entegre Ederek GWO (Grey Wolf Optimizer) Analizinin Yapılması

GWO algoritmasının kayıp güç açısından diğer metaheuristik optimizasyon algoritmalarına göre belirgin bir avantaj sağladığı önceki bölüm olan Başlık 3.5’te değinilmiştir. Bu başlıkta ise önceki bölümlerde Dağıtık Enerji Kaynağı ya da Yenilenebilir Enerji Kaynağı diye bahsedilen güneş ve rüzgar tarlasındaki güneş paneli ve rüzgar türbininin parametrelerini IEEE 57 baralı standart güç sistemine uyarlayarak GWO algoritmasının güç sistemi analizinde Dağıtık Enerji Kaynaklarının kayıp gerçek gücü gözlemlenecektir.



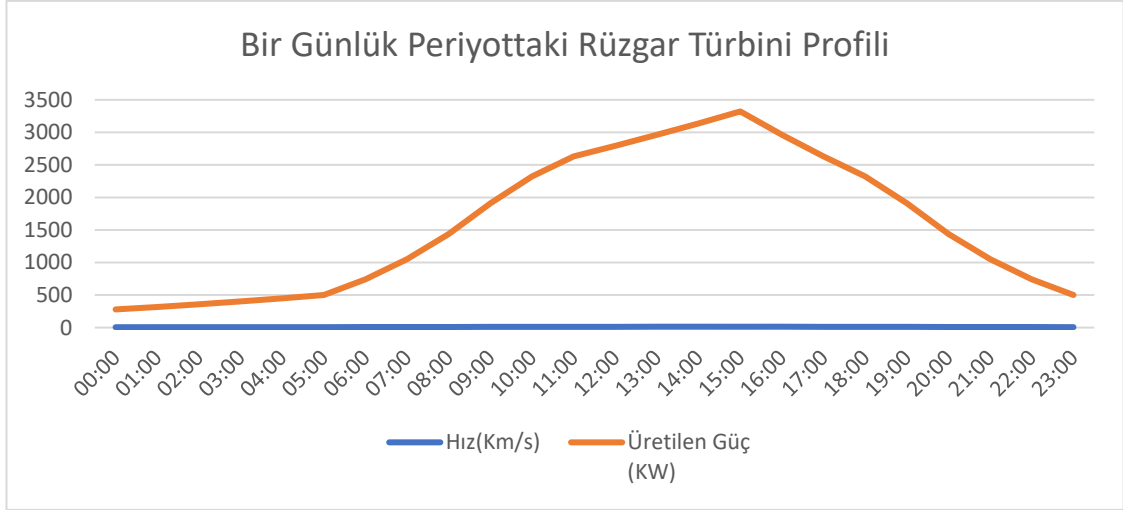
Şekil 3.20 : IEEE 57 baralı standart güç sistemine güneş paneli ve rüzgar türbininin entegre edilmesi

Şekil 3.20’de görüldüğü gibi 2 adet güneş paneli ve 2 adet rüzgar türbini olmak üzere toplamda 4 adet yenilenebilir enerji kaynağı IEEE 57 baralı standart güç sistemine eklenmiştir. Entegre edilen RES kaynakları yeşil dikdörtgen içinde güneş ve rüzgar resimleriyle belirtilerek Şekil 3.18’de gösterilmiştir. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının eklendiği baralar 2 adet güneş paneli için 4’üncü ve 5’inci baralar, 2 adet rüzgar türbini için 7’inci ve 11’inci baralardır.

Tablo 3.11 : Bir Günlük Rüzgar Profili

Saat	Hız (km/s)	Üretilen Güç (KW)
00:00	5,85	279,5124
01:00	6,1	316,9005
02:00	6,35	357,4824
03:00	6,6	401,3888
04:00	6,85	448,7508
05:00	7,1	499,699
06:00	8,1	741,9737
07:00	9,1	1052,102
08:00	10,1	1438,459
09:00	11,1	1909,424
10:00	11,85	2323,21
11:00	12,35	2629,87
12:00	12,6	2792,834
13:00	12,85	2962,394
14:00	13,1	3138,682
15:00	13,35	3321,829
16:00	12,85	2962,394
17:00	12,35	2629,87
18:00	11,85	2323,21
19:00	11,1	1909,424
20:00	10,1	1438,459
21:00	9,1	1052,102
22:00	8,1	741,9737
23:00	7,1	499,699

Tablo 3.11 ve Şekil 3.21’de 1 günlük rüzgar profili verilmiştir. Burada öğle vakitlerinde rüzgar hızları yüksek, akşam vakitlerinde ise düşük olduğundan gündüzleri üretilen enerji daha yüksektir. Buradaki üretilen güç değerleri ise Denklem 2.2’ye göre hesaplanmıştır. Sistemde kullanılan periyot bir günü 12 periyot aldığından 2 saatlik ortalama değerler sisteme eklenmiştir.



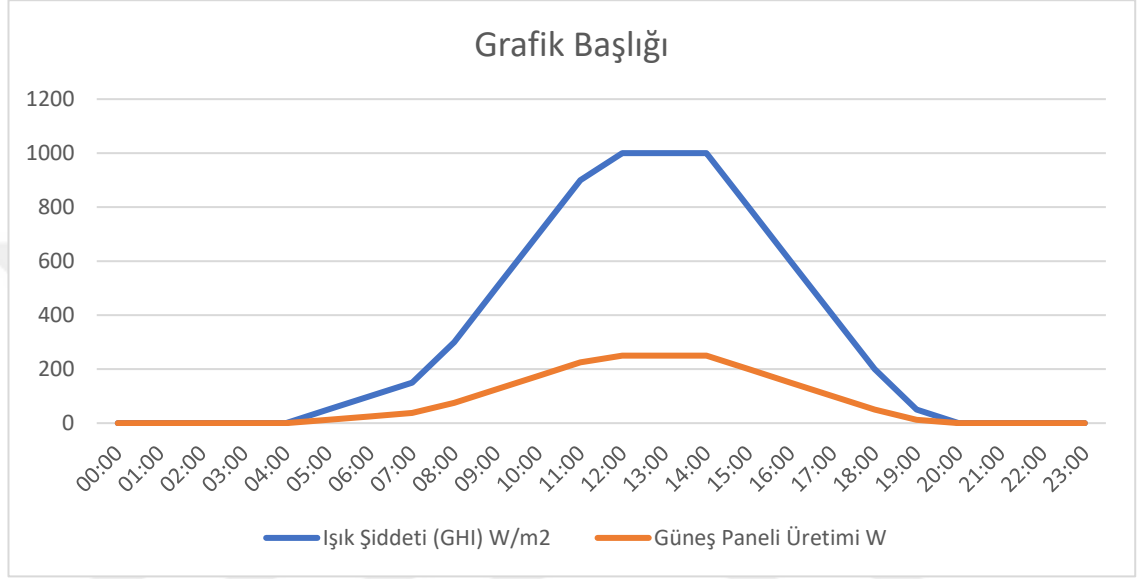
Şekil 3.21 : Bir günlük rüzgar profili

Tablo 3.12 ve Şekil 3.22’de 1 günlük güneş profili verilmiştir. Burada öğle vakitlerinde güneş yeryüzüne dik ve dike yakın açılarla düştüğünden ışık şiddeti de öğlen saatlerinde yüksek olur. Bu yüzde ışık şiddetinin paneldeki yarı iletkenlerden hareketlendirdiği elektron sayısı yüksek olur. Akşam ise panellere güneş ışını gelmediğinde üretilen enerji direkt 0 MW olur. Buradaki üretilen güç değerleri ise Denklem 2.1’e göre hesaplanmıştır. Sistemde kullanılan periyot bir günü 12 periyot aldığından 2 saatlik ortalama değerler sisteme eklenmiştir.

Tablo 3.12 : Bir Günlük Güneş Profili

Saat	Işık Şiddeti (GHI) W/m2	Güneş Paneli Üretimi W
00:00	0	0
01:00	0	0
02:00	0	0
03:00	0	0
04:00	0	0
05:00	50	12,5
06:00	100	25
07:00	150	37,5
08:00	300	75
09:00	500	125
10:00	700	175
11:00	900	225
12:00	1000	250
13:00	1000	250
14:00	1000	250
15:00	800	200
16:00	600	150

17:00	400	100
18:00	200	50
19:00	50	12,5
20:00	0	0
21:00	0	0
22:00	0	0
23:00	0	0



Şekil 3.22 : Bir günlük güneş profili

Bir güç sistemine Yenilenebilir Enerji Kaynağı entegre etmenin avantajı artan güç üretimi, yerinde üretim, dağıtım sistemi iyileşmesi, gerilim düzenlemesi, sistem planlama ve işletme başlıkları altında incelenebilir. Artan güç üretimi başlığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme eklenmesiyle, toplam güç üretim kapasitesi artar. Bu da elektrik talebinin daha büyük bir kısmının yenilenebilir enerjiden karşılanmasını sağlar. Sonuç olarak, sistem daha az ölçekte enerjiyi iletmek zorunda kalır ve bu da güç kayıplarının azalmasına yol açar. Yerinde üretim başlığı incelendiğinde, güneş panelleri ve rüzgar türbinleri genellikle tüketim noktasına yakın bir konumda kurulur. Bu, enerjiyi uzun mesafelerde iletmek için olan ihtiyacı azaltır. Bu yerinde üretim yaklaşımı, elektriğin uzun iletim hatları boyunca taşınması sırasında oluşan iletim kayıplarını minimize eder. Yük merkezlerine yakın yerlerde elektrik üretilmesiyle, uzun iletim hatlarıyla ilgili enerji kayıpları azalır. Dağıtım sistemi iyileşmesi başlığına bakıldığında, yenilenebilir enerji kaynakları, elektriği dağıtım ağı içinde doğrudan üretir. Bu dağıtım ağında oluşabilecek kayıpları azaltır. Yerinde enerji üretimi, elektriği nihai kullanıcılara

daha yakın bir noktada sağladığı için dağıtım sisteminde oluşan kayıpları azaltır ve enerji teslimatının genel verimliliğini artırır. Gerilim düzenlemesi başlığında yenilenebilir enerji kaynakları, yerinde elektrik üretimiyle gerilim dalgalanmalarını dengeleyebilir ve sistemin gerilim düşüşlerini azaltır. Bu, kaybedilen gerçek güç değerinin düşmesine ve sistemin daha istikrarlı çalışmasına yardımcı olur. Sistem planlama ve işletme başlığında ise yenilenebilir enerji kaynaklarının optimize bir şekilde entegre edilmesi ve etkili bir sistem planlamasıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarından kaynaklanan güç kayıpları azaltır ve genel sistem verimliliği maksimize edilebilir.

Bunun yanında sisteme eklenen her bir DER için bus-data yani bara verileri kısmında baraların değerleri DER'lere göre uyarlanır. Ek olarak gen-data kısmında güneş paneli ve rüzgar türbininin eklendiği baralara bu DER kaynaklarına bağlı 4 adet jeneratör eklenir. Son olarak gen-cost kısmındaki jeneratör fiyatı kısmında da tıpkı gen-data kısmında olduğu gibi DER'lerin eklendiği her bir değer için nasıl jeneratör eklenmişse burada da jeneratör fiyatı eklenir. Yani başlangıçta 7 adet konvansiyonel jeneratör vardı. Bu konvansiyonel jeneratörler 2'nci, 3'üncü, 6'ncı, 8'inci, 9'uncu, 10'uncu ve 12'nci baralara bağlıydı. Bunun yanında DER'lerden gelen ve 4 adet olan jeneratörlerden 2 adet güneş panelleri 4'üncü ve 5'inci baralara, diğer 2 adet jeneratör 7'nci ve 11'inci baralara bağlandı. Nihayetinden 11 adet jeneratör elde edilmiş olundu.

IEEE 57 baralı RES-DER eklenmiş güç sisteminde 11 adet jeneratör bağlandığı belirtilmişti. Bunu GWO algoritmasına da uyarlamak gerekir. GWO algoritmasında GWO Hesaplama kısmında 27 tane olan dimension uzunluğu ek 4 jeneratörün eklenmesiyle 31 adet oldu ve buna bağlı Matlab Dosyasındaki bütün mfile kodları bu sisteme göre düzenlendi. Ardından analiz yapıldı.

RES eklenmiş IEEE 57 baralı güç sisteminin GWO analiz sonucu elde edilen IEEE 57 baralı standart sistemdeki gibi Şekil 3.18'de görüldüğü üzere 200 iterasyonda ve 10, 50 ve 100 birey sayılı (Agent_no) GWO analizine tabi tutulmuştur ve elde edilen değerler beklenildiği gibi kayıp güç değeri $P_{loss} = 14,8040$ MW çıkmıştır.

Sistem Özeti				
Kaç tane?		Ne kadar?	P (MW)	Q (MVar)
Bara	57	Toplam jeneratör kapasitesi	2535.9	-508.0 to 939.0
Jeneratör	7	Çevrimiçi kapasite	2535.9	-508.0 to 939.0
Çalışan jeneratörler	7	Üretim (güncel)	1252.6	226.0
Yükler	42	Yük	1237.8	332.4
Sabit Yük	42	Sabit Yük	1237.8	332.4
Değişken Yük	0	Değişken Yük	-0.0 of -0.0	-0.0
Şöntler	3	Şönt (enj)	-0.0	36.8
Hatlar	80	Kayıplar ($I^2 \cdot Z$)	14.80	67.08
Trafolar	17	Hat şarjı (enj)	-	136.7
Ara bağlantılar	0	Toplam ara bağlantı akışı	0.0	0.0
Bölgeler	1			
		En az	En fazla	
Voltaj genliği		1.061 p.u. @ bara 33	1.204 p.u. @ bara 29	
Voltaj açısı		-11.82 deg @ bara 31	1.59 deg @ bara 8	
Kayıp Güç (P) ($I^2 \cdot R$)		-	3.63 MW @ hat 8-9	
Kayıp Güç (Q) ($I^2 \cdot X$)		-	18.51 MVar @ hat 8-9	

Şekil 3.23 : RES eklenmiş IEEE 57 baralı standart güç sistemine GWO yük akışı analizi sonucu

Şekil 3.23’de GWO (Grey Wolf Optimizer) sistemi analizi sonucunda elde edilen çıktıya göre, Newton yöntemi güç akışı analizi 4 iterasyonda konverge olmuştur. Konvergensin sağlandığı süre ise 0.00 saniyedir. Aşağıda sisteme ilişkin ayrıntılar bulunmaktadır:

Toplam 57 adet bara bulunmaktadır. Genel toplamda 2535.9 MW kapasiteye sahip jeneratörler bulunmaktadır. Bu jeneratörlerin çıkış güç aralığı -508.0 MW ile 939.0 MW arasındadır. Toplamda 11 adet jeneratör aktiftir. Çalışan Jeneratörler 11 adet jeneratöründe sistemde aktif olduğunu belirtir. Gerçekleştirilen üretim 1252.6 MW’dır. Bu jeneratörlerin reaktif güç üretimi ise 226.0 MVar’dır. Sistemde 41 adet yük bulunmaktadır. Bu yüklerin toplam güç tüketimi 1237.8 MW’dır ve reaktif güç tüketimi 332.4 MVar’dır. Tüm yükler sabit yüklerdir, yani güç tüketimi değiştirilemez. Sistemde 3 adet şönt bulunmaktadır. Şöntlerden gelen enjekte edilen reaktif güç miktarı -0.0 MVar’dır. Toplamda 80 adet hat bulunmaktadır. Hatlardan kaynaklanan güç kayıpları (I^2Z) 14.80 MW ve reaktif güç kayıpları (I^2X) 67.08 MVar’dır. Sistemde 17 adet transformatör bulunmaktadır. Transformatörlerden kaynaklanan hat şarjı 136.7 MVar’dır. Sistemde herhangi bir aralık bağlantısı bulunmamaktadır. Toplamda 1 adet bölge bulunmaktadır.

Aşağıda voltaj ve güç kaybı değerlerinin minimum ve maksimum değerleri verilmektedir:

Voltaj Büyüklüğü: Minimum: 1.061 p.u., bu değer 33 numaralı barada gerçekleşmiştir. Maksimum: 1.204 p.u., bu değer 29 numaralı barada gerçekleşmiştir.

Voltaj Açısı: Minimum: -11.82 derece, bu değer 31 numaralı barada gerçekleşmiştir. Maksimum: 1.59 derece, bu değer 8 numaralı barada gerçekleşmiştir.

Güç Kayıpları ($I^2 \cdot R$): En küçük gerilim açısı değer oluşturmamış.

Aktif Güç Kayıpları: Aktif güç kayıpları 0 ile 3.63 MW arasında değişmektedir ve en yüksek güç kaybı 8-9 numaralı hatta oluşmuştur.

Reaktif Güç Kayıpları: Reaktif güç kayıpları 0 ile 18.51 MVar arasında değişmektedir ve en yüksek reaktif güç kaybı 8-9 numaralı hatta oluşmuştur.

Tablo 3.13 : RES eklenmiş IEEE 57 baralılık güç sisteminin GWO analizi sonucu baralardaki güç kaybı

Bara Verisi						
Bara	Voltaj		Üretim		Yük	
#	Genlik(pu)	Açı(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1,1	0	292,6	6,34	55	17
2	1,1	-0,543	0	86,37	3	88
3	1,091	-1,95	40	23,27	41	21
4	1,091	-1,476	40	-14,87	-	-
5	1,1	-0,495	40	-5,46	-	-
6	1,095	-1,284	0	3,12	75	2
7	1,1	-0,332	40	19,25	-	-
8	1,1	1,591	450	-4,76	150	22
9	1,089	-3,535	0	50,27	121	26
10	1,07	-5,884	-	-	5	2
11	1,09	-4,045	40	32,2	-	-
12	1,076	-5,597	310	30,29	377	24
13	1,073	-4,758	-	-	18	2,3
14	1,069	-4,683	-	-	10,5	5,3
15	1,08	-3,409	-	-	22	5
16	1,077	-5,23	-	-	43	3
17	1,082	-3,427	-	-	42	8
18	1,183	-4,831	-	-	27,2	9,8
19	1,149	-6,401	-	-	3,3	0,6
20	1,139	-6,887	-	-	2,3	1
21	1,1	-7,132	-	-	-	-
22	1,1	-7,183	-	-	-	-
23	1,099	-7,182	-	-	6,3	2,1
24	1,1	-6,534	-	-	-	-
25	1,114	-10,686	-	-	6,3	3,2

26	1,145	-6,139	-	-	-	-
27	1,173	-4,069	-	-	9,3	0,5
28	1,19	-2,969	-	-	4,6	2,3
29	1,204	-2,243	-	-	17	2,6
30	1,094	-11,162	-	-	3,6	1,8
31	1,063	-11,815	-	-	5,8	2,9
32	1,063	-11,34	-	-	1,6	0,8
33	1,061	-11,372	-	-	3,8	1,9
34	1,066	-8,358	-	-	-	-
35	1,071	-8,173	-	-	6	3
36	1,078	-7,954	-	-	-	-
37	1,084	-7,765	-	-	-	-
38	1,101	-7,197	-	-	14	7
39	1,082	-7,775	-	-	-	-
40	1,078	-8,003	-	-	-	-
41	1,149	-7,375	-	-	6,3	3
42	1,115	-8,47	-	-	7,1	4,4
43	1,154	-5,038	-	-	2	1
44	1,109	-6,676	-	-	12	1,8
45	1,135	-4,966	-	-	-	-
46	1,122	-5,945	-	-	-	-
47	1,108	-7,012	-	-	29,7	11,6
48	1,106	-7,105	-	-	-	-
49	1,115	-7,354	-	-	18	8,5
50	1,102	-7,704	-	-	21	10,5
51	1,128	-6,839	-	-	18	5,3
52	1,177	-4,075	-	-	4,9	2,2
53	1,169	-4,937	-	-	20	10
54	1,171	-4,692	-	-	4,1	1,4
55	1,181	-4,174	-	-	6,8	3,4
56	1,107	-8,87	-	-	7,6	2,2
57	1,104	-9,46	-	-	6,7	2
Toplam:			-----	-----	-----	-----
			1252,6	226,01	1237,8	332,4

Tablo 3.13'te bazı veriler elde edilip buna göre yorum yapılır. Jeneratör Bağlantısı: Jeneratörler 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11 ve 12. numaralı baralara bağlıdır. Bu baralardaki jeneratörler toplamda 1275.60 MW aktif güç ve 226.01 MVar reaktif güç üretmektedir.

Yük Bağlantısı: Toplamda 1237.80 MW aktif güç ve 332.40 MVar reaktif güç tüketen yükler vardır. Yüklerin dağılımı her bir barada farklıdır.

Bu bilgilere dayanarak, sistemin mevcut durumunda jeneratörlerin yük taleplerini karşılamakta olduğunu ve fazla üretim yapıldığını söylenebilir. Yüklerin dağılımı dikkate

alındığında, bazı baraların daha fazla yük taşıdığı ve diğerlerinden daha fazla enerji tükettiği görülmektedir.

Tablo 3.14 : DER-RES eklenmiş IEEE 57 baralık güç sisteminin GWO analizi sonucu iletim hatlarındaki güç kaybı

Hat Verileri								
Hat	Çıkış	Giriş	Çıkış Barası	Enjeksiyonu	Giriş Barası	Enjeksiyonu	Kayıplar ($I^2 \cdot Z$)	
#	Bara	Bara	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	37,7	-18,79	-37,59	3,53	0,106	0,36
2	2	3	34,59	-5,16	-34,3	-3,82	0,295	0,84
3	3	4	-24,87	4,34	24,93	-8,66	0,062	0,2
4	4	5	-15,4	-1,14	15,52	-1,69	0,124	0,26
5	4	6	-3,22	-3,82	3,22	-0,32	0,005	0,02
6	6	7	-19,85	-2,81	19,91	-0,18	0,066	0,34
7	6	8	-34,05	1,66	34,38	-5,62	0,333	1,7
8	8	9	210,5	-10,17	-206,88	22,12	3,629	18,51
9	9	10	29,76	3,48	-29,48	-7,29	0,287	1,31
10	9	11	11,04	-5,91	-11,01	3,42	0,031	0,1
11	9	12	14,64	-2,99	-14,52	-5,52	0,119	0,54
12	9	13	17,47	3,16	-17,33	-7,45	0,136	0,45
13	13	14	-0,45	9,22	0,46	-10,44	0,011	0,04
14	13	15	-31,14	-0,46	31,37	-1,47	0,227	0,73
15	1	15	79,69	4,42	-78,74	-11,31	0,95	4,86
16	1	16	53,06	-0,48	-52	-1,18	1,059	4,81
17	1	17	67,15	4,19	-66,26	-3,54	0,894	4,06
18	3	15	58,17	1,75	-57,7	-6,64	0,464	1,52
19	4	18	14,77	0,61	-14,77	0,25	0	0,87
20	4	18	18,91	-1,86	-18,91	2,98	0	1,13
21	5	6	24,48	-3,77	-24,33	2,6	0,152	0,32
22	7	8	-54,75	10,47	55,11	-10,98	0,36	1,84
23	10	12	-5,46	-5,97	5,47	2,25	0,011	0,05
24	11	13	25,1	16,03	-24,93	-17,66	0,174	0,57
25	12	13	-24,91	10,36	25,03	-16,93	0,125	0,41
26	12	16	-8,99	-0,63	9	-1,82	0,013	0,06
27	12	17	-24,06	-0,17	24,26	-4,46	0,201	0,9
28	14	15	-48,94	-7,18	49,31	6,64	0,364	1,17
29	18	19	6,49	1,55	-6,34	-1,34	0,146	0,22
30	19	20	3,04	0,74	-3,02	-0,7	0,021	0,03
31	21	20	-0,72	0,3	0,72	-0,3	0	0
32	21	22	0,72	-0,3	-0,72	0,3	0	0
33	22	23	2,24	3,58	-2,24	-3,57	0,001	0
34	23	24	-4,06	1,47	4,09	-2,45	0,028	0,04
35	24	25	7,5	-1,24	-7,5	1,81	0	0,57
36	24	25	7,54	3,59	-7,54	-2,94	0	0,65
37	24	26	-19,13	0,09	19,13	0,04	0	0,13

38	26	27	-19,13	-0,04	19,59	0,75	0,46	0,71
39	27	28	-28,89	-1,25	29,26	1,83	0,375	0,58
40	28	29	-33,86	-4,13	34,21	4,61	0,344	0,48
41	7	29	74,84	8,96	-74,84	-6,43	0	2,52
42	25	30	8,74	5,57	-8,62	-5,4	0,117	0,17
43	30	31	5,02	3,6	-4,92	-3,44	0,104	0,16
44	31	32	-0,88	0,54	0,88	-0,53	0,005	0,01
45	32	33	3,81	1,91	-3,8	-1,9	0,006	0,01
46	34	32	6,29	2,55	-6,29	-2,18	0	0,37
47	34	35	-6,29	-2,55	6,31	2,22	0,021	0,03
48	35	36	-12,31	-5,22	12,38	5,11	0,067	0,08
49	36	37	-13,92	-4,24	13,97	4,31	0,053	0,07
50	37	38	-16,72	-7,85	16,91	7,91	0,188	0,29
51	37	39	2,75	3,54	-2,74	-3,54	0,004	0,01
52	36	40	1,54	-0,87	-1,54	0,87	0,001	0
53	22	38	-1,52	-3,88	1,53	3,88	0,003	0
54	11	41	10,78	10,03	-10,78	-8,92	0	1,11
55	41	42	10,15	5,43	-9,94	-5,07	0,207	0,35
56	41	43	-13,12	-0,91	13,12	1,45	0	0,54
57	38	44	-21,08	-4,39	21,19	4,37	0,11	0,22
58	15	45	33,77	7,78	-33,77	-6,82	0	0,96
59	14	46	37,98	12,33	-37,98	-11,41	0	0,92
60	46	47	37,98	11,41	-37,69	-10,96	0,288	0,85
61	47	48	7,99	-0,64	-7,98	0,66	0,01	0,01
62	48	49	-0,61	-7,68	0,65	7,14	0,037	0,06
63	49	50	9,32	5,52	-9,25	-5,4	0,076	0,12
64	50	51	-11,75	-5,1	11,94	5,4	0,187	0,3
65	10	51	29,94	11,27	-29,94	-10,7	0	0,57
66	13	49	30,82	30,99	-30,82	-28,3	0	2,69
67	29	52	23,63	-0,77	-23,08	1,5	0,556	0,72
68	52	53	18,18	-3,7	-17,99	3,94	0,189	0,24
69	53	54	-2,01	0,63	2,02	-0,62	0,006	0,01
70	54	55	-6,12	-0,78	6,17	0,84	0,048	0,06
71	11	43	15,12	2,72	-15,12	-2,45	0	0,27
72	44	45	-33,19	-6,17	33,77	6,82	0,577	1,15
73	40	56	1,54	-0,87	-1,54	0,9	0	0,03
74	56	41	-7,22	-1,16	7,46	1,4	0,241	0,24
75	56	42	-2,82	-0,65	2,84	0,67	0,015	0,02
76	39	57	2,74	3,54	-2,74	-3,33	0	0,21
77	57	56	-3,96	1,33	3,98	-1,29	0,025	0,04
78	38	49	-2,79	-7,42	2,85	7,14	0,057	0,09
79	38	48	-8,56	-6,97	8,59	7,02	0,031	0,05
80	9	55	12,97	4,41	-12,97	-4,24	0	0,16

Toplam: 14,804 67,08

Hat Verileri Tablosu, bir güç sistem ağındaki iletim hatlarını veya şubeleri temsil eder. Tabloda yer alan bilgilerin ayrıntılı bir açıklaması:

Sütun başlıkları: Sütun başlıkları, tabloda sunulan veriler hakkında bilgi sağlar. Başlıklar arasında 'Hat' (hat numarası), 'Çıkış' (hattın başladığı bara numarası), 'Giriş' (hattın sonlandığı bara numarası), 'Çıkış Hattı Enjeksiyonu P (MW)' (Çıkışta aktif güç enjeksiyonu megavat olarak), 'Çıkış Hattı Enjeksiyonu Q (MVar)' (Çıkışta reaktif güç enjeksiyonu megavolt-amper reaktif olarak), 'Giriş Hattı Enjeksiyonu P (MW)' (girişte aktif güç enjeksiyonu megavat olarak), 'Giriş Hattı Enjeksiyonu Q (MVar)' (girişte reaktif güç enjeksiyonu megavolt-amper reaktif olarak), 'Kayıp (I^2Z) P (MW)' (hattaki aktif güç kaybı megavat olarak) ve 'Kayıp (I^2Z) Q (MVar)" (hattaki reaktif güç kaybı megavolt-amper reaktif olarak) bulunur. Bu değerler, iletim sırasında ısı olarak dağılan güç kayıplarını temsil eder. Bu tablo, iletim ağındaki güç akışını ve kayıpları kapsamlı bir şekilde sunarak sistem performansının analizini ve optimizasyonunu sağlar.

GWO analizi için, sistemdeki baraların numaralandırması şu şekildedir: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11 ve 12. Bu numaralandırmayı kullanarak bazı bulgular elde edilebilir. İlk bulgu, her bir hattın kayıp miktarı hesaplanır. Bu hesaplama, hatların uzunluğu, direnci ve geçen akım gibi faktörlere dayanır. Sistemdeki hatların bu özelliklerini ve kayıp hesaplama formülünü kullanarak, her bir hat için kayıp miktarını belirlenir. Daha sonra, her bir hattın kayıp miktarı üzerinde GWO yöntemini uygulayarak, hatlardaki kayıpları optimize edilir. GWO, gri kurtlar olarak adlandırılan bir grup kurt benzetimli arama ajanını kullanır. Bu kurtlar, bir objektif fonksiyonu eniyilemek için bir araya gelir ve uygun bir çözüm bulmak için birbirleriyle etkileşime girer. GWO analizinde, gri kurtlar, mevcut çözüm alanında rastgele bir şekilde hareket eder ve en iyi çözümü bulmaya çalışır. Her bir gri kurt, çözüm alanındaki bir noktaya karşılık gelir ve bu noktadaki objektif fonksiyon değeri ile temsil edilir. Kurtlar, lider kurt olarak adlandırılan en iyi çözümü takip eder ve diğer kurtlarla birlikte hareket eder. Gri kurtlar, iterasyonlar boyunca hareket ederek en iyi çözümü bulmaya çalışır. Bu iterasyonlar, her bir gri kurdun en iyi çözüm için konumunu güncellemesini içerir. Bu şekilde, en iyi çözüme yaklaşan bir optimizasyon süreci gerçekleştirilir. GWO analizi sonucunda, gri kurtların en son konumlarındaki objektif fonksiyon değerleri kullanılarak, hatlardaki kayıp miktarları elde edilir. Bu kayıp miktarları, sistemdeki hatlardaki enerji kaybını temsil eder. Sonuç olarak, GWO analizi kullanarak sistemdeki jeneratörlerin bağlandığı baralardaki hat kayıplarını ve toplam

hatlardaki kayıpları hesaplanır. Bu analiz, gri kurt optimizasyonunu kullanarak en iyi çözüme yaklaşan bir süreç izler ve kayıp miktarlarını minimize etmeyi amaçlar. Bu sayede, enerji dağıtım sistemini daha verimli hale getirebilir ve kaynakları daha etkin bir şekilde kullanılabilir.

Verilen değerlere göre, hat üzerindeki toplam kayıp miktarı 14.408 MW olarak belirtilmiştir. Bu değer, hat üzerinden geçen akımın karesi ile hattın empedansının çarpımını temsil eder. Hat üzerindeki toplam kayıp, enerjinin ısıya dönüşerek sistemden çıkması sonucu oluşur. Daha yüksek bir kayıp miktarı, enerji verimliliğinin düşük olduğunu gösterir ve enerji kaynaklarının daha fazla tüketilmesine neden olur. Q (MVar) değeri ise hat üzerindeki reaktif gücü ifade eder. Reaktif güç, enerjinin endüktif ve kapasitif yükler tarafından tüketildiği veya üretildiği gücü temsil eder. Verilen değere göre, hat üzerindeki reaktif güç kaybı 67.08 MVar olarak belirtilmiştir. Reaktif güç kaybı, güç faktöründeki düşüklük veya reaktif bileşenlerin etkisiyle oluşabilir. Yüksek reaktif güç kaybı, enerji sistemlerinde verimsizliklere ve güç kalitesi sorunlarına neden olur. Bu değerler, enerji dağıtım sisteminin verimliliği ve güç kalitesi açısından önemlidir. Düşük kayıp miktarı ve reaktif güç kaybı, enerji sisteminin daha verimli çalıştığını ve enerjinin daha etkin bir şekilde iletiminin sağlandığını gösterir.

Tablo 3.15 : DER-RES eklenmiş güç sisteminin GWO Tarafından elde edilen en iyi çözüm

GWO Tarafından elde edilen en iyi çözüm					
1,1	1,1	1,09112	1,0915	1,1	1,09514
1,1	1,1	1,08856	1,07624	0,921781	0,929364
0,96363	1,00207	0,956968	0,96112	0,910586	0,983478
0,900795	0,946692	0,94615	0,943172	0,920953	0,94168
0,982468	0,944418	0,917955	10,421	6,14629	10,6614

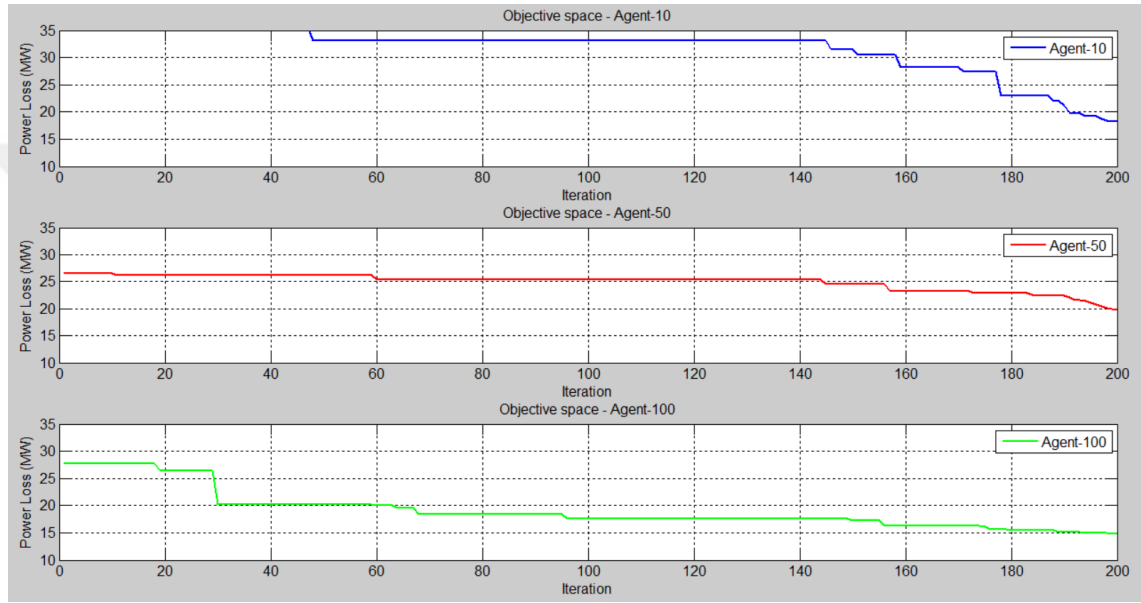
GWO tarafından bulunan amaç fonksiyonunun en iyi optimal değeri 14.4080 MW'tır. GWO (Grey Wolf Optimizer) tarafından elde edilen en iyi çözüm, bir dizi sayısal değerden oluşur. Bu değerler optimize edilmek istenen amaç fonksiyonunun en iyi değerini temsil eder.

14.4080 ise amaç fonksiyonunun en iyi değeridir. Bu değer, GWO optimizasyon algoritması tarafından elde edilen çözümün amaç fonksiyonunu (genellikle enerji kaybını veya maliyeti minimize etmek gibi bir hedefi ifade eder) en iyi şekilde optimize ettiğini gösterir. Bu çıktı, GWO analizi sonucunda elde edilen en iyi çözümü ve amaç

fonksiyonunun en iyi değerini temsil eder. Yani GWO tarafından analiz sonucu hatlardaki toplam en iyi optimizasyon sonucu enerji kaybı 14.4080 MW'tır.

Runpf fonksiyonu, MVAbase, bus, gen ve branch verilerini kullanarak Newton-Raphson yük akış analizini gerçekleştirir. Bu analiz, güç sistemi bileşenlerinin gerilim düzeylerini ve güç akışlarını hesaplar.

bbb değişkeni, hat verilerindeki aktif güç girişlerinin karesini temsil eder. PF sütunu, dalga akımının aktığı başlangıç noktasındaki aktif gücü içerir.

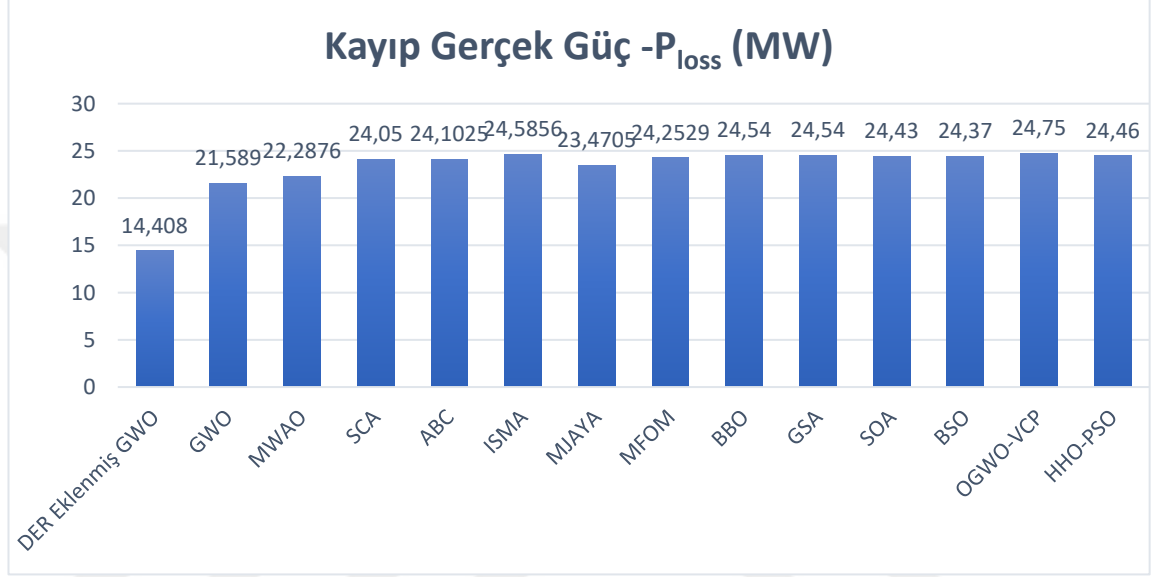


Şekil 3.24 : Birey sayısı (Agent_No) yukarıdan aşağıya sırasıyla 10, 50, 100 olan bir sistemin GWO analizi

Şekil 3.24'te Agent-10, Agent-50, Agent-100 değerlerine göre analiz yapılmıştır. Grafikten de anlaşılacağı gibi 200 iterasyonda Agent-10, 10 tane Agent_no'ya sahip yani sürüdeki birey sayısı 10, Agent-50, 50 tane Agent_no'ya sahip yani sürüdeki birey sayısı 50, Agent-100, 10 tane Agent_no'ya sahip yani sürüdeki birey sayısı 100 olan farklı analizler grafik şekli olarak gösterilmiştir. Bu grafikte 200 iterasyon sayılı Agent-10, 10 tane Agent_no'ya sahip yani sürüdeki birey sayısı 10 olan grafik en üstte mavi renkte, 200 iterasyon sayılı Agent-50, 50 tane Agent_no'ya sahip yani sürüdeki birey sayısı 50 olan grafik en üstte kırmızı renkte, 200 iterasyon sayılı Agent-100, 100 tane Agent_no'ya sahip yani sürüdeki birey sayısı 100 olan grafik en üstte yeşil renkte gösterilmiştir.

Burada sürüdeki birey sayısı yani Agent_no artarsa hedefi bulma oranı yükselir. Agent-100 olan yeşil grafik 5'inci iterasyondan sonra kayıp güç değerini 30 MW'a yakınken 15

MW'ın altındaki değere çekmiş. Agent-50 olan kırmızı grafik 20'inci iterasyondan sonra kayıp güç değerini 30 MW'a yakinken 20 MW'ın altındaki değere çekmiş. Agent-10 olan mavi grafik 40'inci iterasyonda kayıp güç değerini 30 MW'ın altına, 140'inci iterasyondan sonra gözle görülür bir biçimde güç değerini 20 MW'ın altında bir değere çekmiştir. Burada da Agent sayısı yani sürüdeki birey sayısı artarsa hedefi bulma oranı artar. Buna bağlı olarak zaman ve maliyette artar.

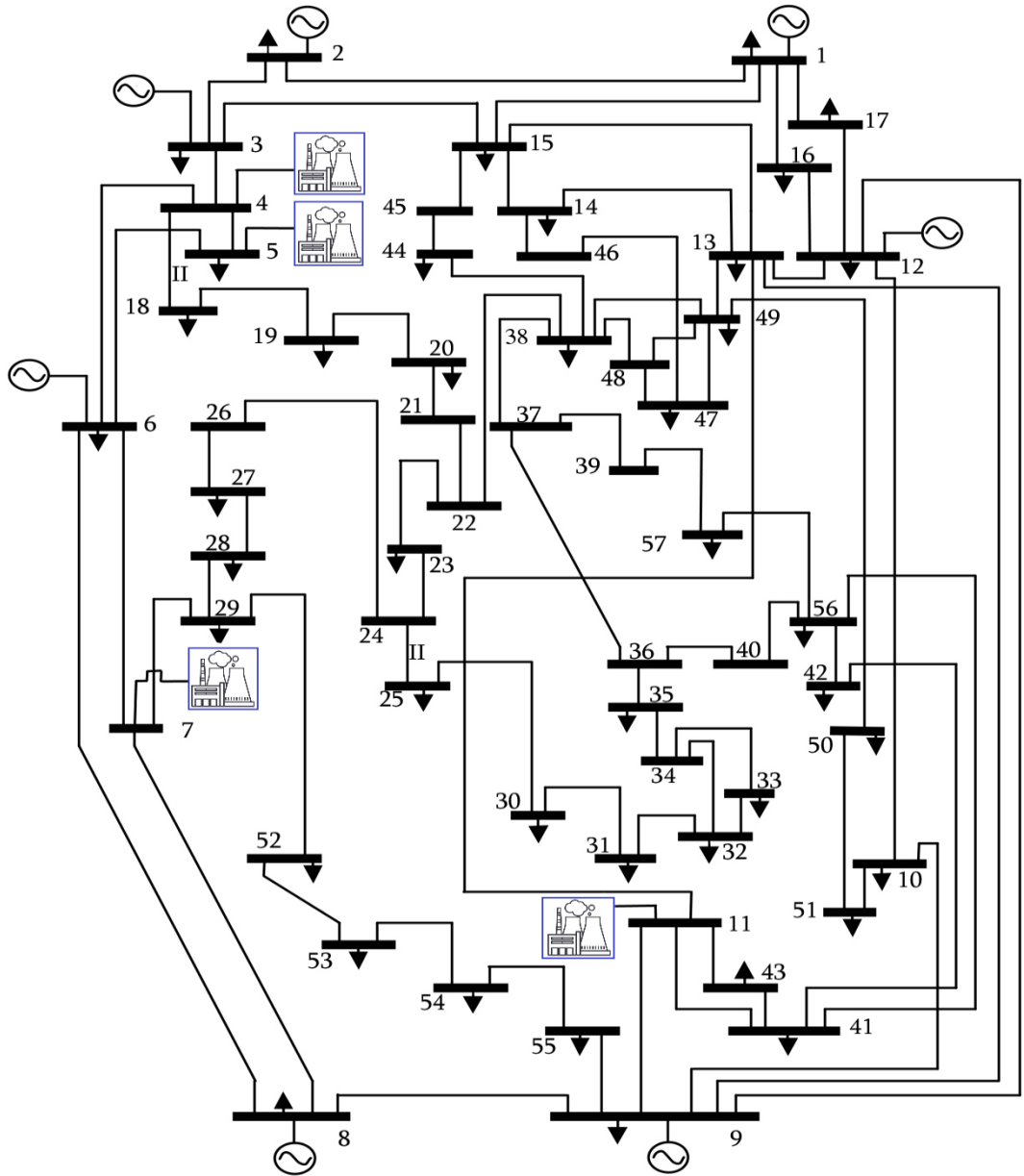


Şekil 3.25 : DER eklenmiş IEEE 57 baralılık güç sisteminin GWO analizinin diğer metasezgisel analizlerle karşılaştırılması

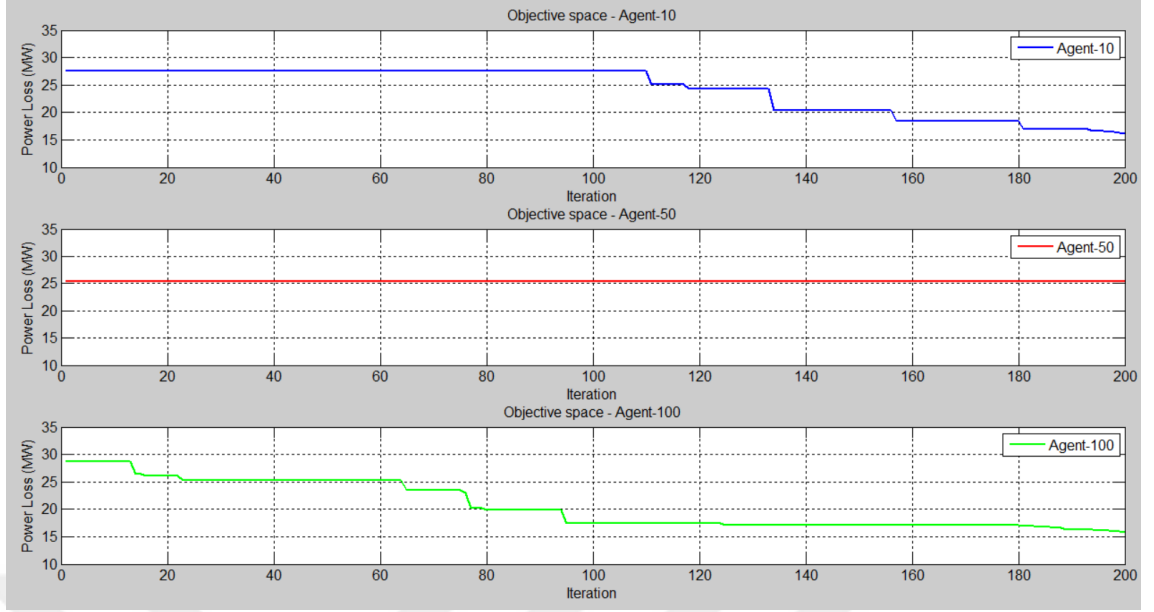
Son olarak Şekil 3.25'te görüldüğü üzere IEEE 57 baralı standart sistemin çeşitli metaheuristik optimizasyon algoritmaları analizlerinden elde edilen P_{loss} yani kayıp güç değerlerine ait grafik incelendiğinde zaten önceki başlıklarda değinildiği üzere GWO'nun diğer metaheuristik optimizasyon algoritmalarına göre avantajlı olduğu kanıtlanmıştı. Bu tezin amacına yönelik ise IEEE 57 baralı standart sisteme DER-RES eklenip GWO algoritmasında optimizasyon yapılırsa kayıp güç değerini aşağıya çekebilir mi diye bir hipotez konulmuştu. Bu hipotezde yapılan çalışmalar ve analizler sonucu kanıtlanmış olup Şekil 3.25'te görüldüğü üzere kayıp gücü dengeleyip maliyet ve enerji açısından önemli derecede avantaj sağlamaktadır.

3.6. IEEE 57 Baralı Standart Güç Sistemine Termik Santral Gücü Entegre Ederek GWO (Grey Wolf Optimizer) Analizinin Yapılması

Sistemde 4, 5, 7 ve 11. baralara bağlanan 2 adet güneş paneli ve 2 adet rüzgar türbini toplamda 4 adet olan jeneratörler çıkarılıp yerine aynı 4 baraya termik santral bağlanmıştır. Bağlanan Termik Santraller Şekil 3.26’da verilmiştir. Termik santralin saatlik ürettiği güç temel alınmıştır. Aynı şekilde 12 periyotta toplam 24 saatli analiz GWO algoritmasında analiz edilmiştir.



Şekil 3.26 : Baralarının 4'üne termik Santral eklenmiş IEEE 57 baralı güç sistemi



Şekil 3.27 : Termik Santral eklenmiş güç sisteminin GWO analizinin grafik sonuçları

Şekil 3.27’de GWO analizi Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının eklendiği senaryoda olduğu gibi 10, 50 ve 100 birey sayılı kurt sürüsü algoritmalarında analiz edilmiştir. Burada sürüdeki birey sayısı yani Agent_no artarsa hedefi bulma oranı yükselir. Agent-100 olan yeşil grafik yaklaşık 15’inci iterasyondan sonra kayıp güç değerini 30 MW’a yakınken 15 MW civarı değere çekmiş. Agent-50 olan kırmızı grafik 25 MW civarı sabit kalmıştır. Agent-10 olan mavi grafik 110’uncu iterasyonda kayıp güç değerini 27 MW civarından 15 MW civarına çekmiştir. Burada da Agent sayısı yani sürüdeki birey sayısı artarsa hedefi bulma oranı artar. Buna bağlı olarak zaman ve maliyette artar.

Tablo 3.16 : Termik Santral eklenmiş güç sisteminin hatlarda oluşan kayıpları

Hat #	Çıkış Bara	Giriş Bara	Çıkış Barası Enjeksiyonu		Giriş Barası Enjeksiyonu		Kayıp ($I^2 \cdot Z$)	
			P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	37,55	-18,74	-37,45	3,49	0,105	0,35
2	2	3	34,45	-9,65	-34,15	0,65	0,298	0,85
3	3	4	-25,32	5,31	25,39	-9,65	0,065	0,21
4	4	5	-14,88	1,29	15	-4,14	0,12	0,25
5	4	6	-2,98	-0,36	2,99	-3,79	0,004	0,01
6	6	7	-19,29	-4,43	19,35	1,44	0,064	0,32
7	6	8	-33,86	0,64	34,18	-4,62	0,328	1,68
8	8	9	210,3	-7	-206,68	18,91	3,62	18,46
9	9	10	29,58	-2	-29,31	-1,91	0,273	1,24
10	9	11	11,18	-4,44	-11,15	1,96	0,029	0,1

11	9	12	14,76	-6,82	-14,64	-1,73	0,122	0,56
12	9	13	17,5	0,88	-17,37	-5,21	0,129	0,42
13	13	14	-0,4	8,57	0,41	-9,81	0,01	0,03
14	13	15	-31,98	-1,19	32,22	-0,72	0,238	0,77
15	1	15	80,08	1,22	-79,13	-8,13	0,951	4,86
16	1	16	53,48	-3,92	-52,4	2,28	1,073	4,87
17	1	17	67,55	0,74	-66,65	-0,08	0,899	4,08
18	3	15	58,47	3,56	-58	-8,48	0,468	1,53
19	4	18	14,43	8,77	-14,43	-7,31	0	1,46
20	4	18	18,05	3,55	-18,05	-2,12	0	1,43
21	5	6	25	-1,38	-24,84	0,22	0,156	0,33
22	7	8	-55,15	10,36	55,51	-10,83	0,365	1,87
23	10	12	-5,06	-7,72	5,07	3,95	0,014	0,06
24	11	13	24,91	9,41	-24,77	-11,15	0,138	0,45
25	12	13	-23,61	23,34	23,8	-29,76	0,194	0,63
26	12	16	-9,39	2,81	9,4	-5,28	0,016	0,07
27	12	17	-24,44	3,28	24,65	-7,92	0,214	0,96
28	14	15	-50,32	-7,82	50,71	7,33	0,385	1,23
29	18	19	5,28	1,06	-5,15	-0,86	0,135	0,2
30	19	20	1,85	0,26	-1,83	-0,25	0,011	0,02
31	21	20	0,47	0,76	-0,47	-0,75	0	0,01
32	21	22	-0,47	-0,76	0,47	0,76	0,001	0
33	22	23	2,44	1,01	-2,44	-1,01	0,001	0
34	23	24	-3,86	-1,09	3,89	0,3	0,026	0,04
35	24	25	8,38	3,16	-8,38	-2,29	0	0,88
36	24	25	7,18	-5,78	-7,18	7	0	1,22
37	24	26	-19,45	2,33	19,45	-2,18	0	0,15
38	26	27	-19,45	2,18	19,98	-1,36	0,53	0,82
39	27	28	-29,28	0,86	29,7	-0,2	0,425	0,66
40	28	29	-34,3	-2,1	34,69	2,64	0,384	0,54
41	7	29	75,79	14,77	-75,79	-11,87	0	2,9
42	25	30	9,26	7,07	-9,08	-6,8	0,18	0,27
43	30	31	5,48	5	-5,29	-4,72	0,186	0,28
44	31	32	-0,51	1,82	0,53	-1,79	0,02	0,03
45	32	33	3,81	1,91	-3,8	-1,9	0,008	0,01
46	34	32	5,94	1,32	-5,94	-0,92	0	0,4
47	34	35	-5,94	-1,32	5,96	1,06	0,021	0,03
48	35	36	-11,96	-4,06	12,03	4	0,074	0,09
49	36	37	-13,14	0,62	13,19	-0,56	0,053	0,07
50	37	38	-16,26	-6,24	16,47	6,37	0,207	0,32
51	37	39	3,08	6,79	-3,06	-6,77	0,014	0,02
52	36	40	1,1	-4,62	-1,1	4,63	0,007	0,01
53	22	38	-2,9	-1,77	2,91	1,78	0,002	0
54	11	41	10,63	5,64	-10,63	-4,67	0	0,97
55	41	42	10,23	6,23	-9,94	-5,75	0,285	0,48
56	41	43	-13,61	-6,73	13,61	7,64	0	0,91

57	38	44	-19,46	-1,28	19,57	1,3	0,112	0,23
58	15	45	32,2	5	-32,2	-3,95	0	1,05
59	14	46	39,41	12,32	-39,41	-11,13	0	1,19
60	46	47	39,41	11,13	-39,04	-10,35	0,374	1,11
61	47	48	9,34	-1,25	-9,32	1,27	0,016	0,02
62	48	49	-1,05	-7,83	1,09	7,42	0,049	0,08
63	49	50	9,96	9,33	-9,82	-9,09	0,146	0,23
64	50	51	-11,18	-1,41	11,36	1,69	0,18	0,29
65	10	51	29,36	7,63	-29,36	-6,99	0	0,64
66	13	49	32,73	36,43	-32,73	-32,45	0	3,98
67	29	52	24,11	6,64	-23,42	-5,75	0,685	0,89
68	52	53	18,52	3,55	-18,3	-3,26	0,221	0,29
69	53	54	-1,7	-0,66	1,7	0,66	0,005	0,01
70	54	55	-5,8	-2,06	5,86	2,13	0,055	0,07
71	11	43	15,61	9,09	-15,61	-8,64	0	0,44
72	44	45	-31,57	-3,1	32,2	3,95	0,629	1,25
73	40	56	1,1	-4,63	-1,1	4,96	0	0,33
74	56	41	-7,37	-1,83	7,71	2,17	0,341	0,34
75	56	42	-2,82	-1,31	2,84	1,35	0,022	0,04
76	39	57	3,06	6,77	-3,06	-6,1	0	0,67
77	57	56	-3,64	4,1	3,69	-4,02	0,055	0,08
78	38	49	-3,6	-7,39	3,67	7,2	0,076	0,12
79	38	48	-10,32	-6,48	10,37	6,55	0,047	0,07
80	9	55	12,66	5,72	-12,66	-5,53	0	0,19
Toplam:							15,862	74,04

Tablo 3.16 ve 3.17’de Termik Santral eklenmiş güç sisteminin hatlarda ve baralarda oluşan kayıpları verilmiştir. Bu kayıplar aktif ve reaktif kayıplardır. Sütun başlıkları: Sütun başlıkları, tabloda sunulan veriler hakkında bilgi sağlar. Başlıklar arasında ‘Hat’ (hat numarası), ‘Çıkış’ (hattın başladığı bara numarası), ‘Giriş’ (hattın sonlandığı bara numarası), ‘Çıkış Hattı Enjeksiyonu P (MW)’ (Çıkışta aktif güç enjeksiyonu megavat olarak), ‘Çıkış Hattı Enjeksiyonu Q (MVar)’ (Çıkışta reaktif güç enjeksiyonu megavolt-amper reaktif olarak), ‘Giriş Hattı Enjeksiyonu P (MW)’ (girişte aktif güç enjeksiyonu megavat olarak), ‘Giriş Hattı Enjeksiyonu Q (MVar)’ (girişte reaktif güç enjeksiyonu megavolt-amper reaktif olarak), ‘Kayıp (I^2Z) P (MW)’ (hattaki aktif güç kaybı megavat olarak) ve ‘Kayıp (I^2Z) Q (MVar)’ (hattaki reaktif güç kaybı megavolt-amper reaktif olarak) bulunur. Bu değerler, iletim sırasında ısı olarak dağılan güç kayıplarını temsil eder. Bu tablo, iletim ağındaki güç akışını ve kayıpları kapsamlı bir şekilde sunarak sistem performansının analizini ve optimizasyonunu sağlar.

Tablo 3.17 : Termik Santral eklenmiş güç sisteminin baralarda oluşan kayıpları

Bara Verisi						
Bara	Voltaj		Üretim		Yük	
#	Genlik(pu)	Açı(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1,1	0	293,66	-3,7	55	17
2	1,1	-0,541	0	81,84	3	88
3	1,095	-2,001	40	30,52	41	21
4	1,095	-1,517	40	3,6	-	-
5	1,1	-0,498	40	-5,53	-	-
6	1,094	-1,27	0	-5,36	75	2
7	1,1	-0,36	40	26,56	-	-
8	1,1	1,576	450	-0,46	150	22
9	1,087	-3,537	0	38,26	121	26
10	1,077	-5,957	-	-	5	2
11	1,087	-4,036	40	26,1	-	-
12	1,085	-5,723	310	55,65	377	24
13	1,075	-4,815	-	-	18	2,3
14	1,071	-4,746	-	-	10,5	5,3
15	1,083	-3,445	-	-	22	5
16	1,084	-5,316	-	-	43	3
17	1,085	-3,476	-	-	42	8
18	0,996	-5,953	-	-	27,2	9,8
19	0,965	-7,818	-	-	3,3	0,6
20	0,958	-8,268	-	-	2,3	1
21	0,99	-8,044	-	-	-	-
22	0,991	-8,045	-	-	-	-
23	0,991	-8,06	-	-	6,3	2,1
24	0,999	-7,553	-	-	-	-
25	1,008	-12,972	-	-	6,3	3,2
26	1,092	-7,111	-	-	-	-
27	1,117	-4,622	-	-	9,3	0,5
28	1,133	-3,334	-	-	4,6	2,3
29	1,147	-2,485	-	-	17	2,6
30	0,982	-13,502	-	-	3,6	1,8
31	0,938	-14,181	-	-	5,8	2,9
32	0,927	-13,321	-	-	1,6	0,8
33	0,924	-13,363	-	-	3,8	1,9
34	0,959	-9,589	-	-	-	-
35	0,963	-9,34	-	-	6	3
36	0,971	-9,052	-	-	-	-
37	0,975	-8,75	-	-	-	-
38	0,992	-8,015	-	-	14	7
39	0,971	-8,722	-	-	-	-
40	0,973	-9,167	-	-	-	-
41	1,021	-8,262	-	-	6,3	3

42	0,979	-9,587	-	-	7,1	4,4
43	1,05	-5,263	-	-	2	1
44	0,998	-7,376	-	-	12	1,8
45	1,023	-5,276	-	-	-	-
46	1,016	-6,341	-	-	-	-
47	1	-7,706	-	-	29,7	11,6
48	0,998	-7,844	-	-	-	-
49	1,009	-8,127	-	-	18	8,5
50	0,989	-8,43	-	-	21	10,5
51	1,008	-7,129	-	-	18	5,3
52	1,106	-4,089	-	-	4,9	2,2
53	1,09	-4,826	-	-	20	10
54	1,095	-4,696	-	-	4,1	1,4
55	1,108	-4,244	-	-	6,8	3,4
56	0,968	-10,022	-	-	7,6	2,2
57	0,972	-11,033	-	-	6,7	2
Toplam:			1253,66	247,49	1237,8	332,4

Tablo 3.17'deki verilere bakıldığında baralarda oluşan kaybın 1237,8 MW aktif güç kaybı 332,4 MVAr reaktif güç kaybı olduğu gözlemlendi. Özellikle jeneratörlerin olduğu baralara dikkat edilirse jenerasyon yani üretim oluyor. Bu üretim aktif ve reaktif güç biriminde oluşan kayıpları belirtiyor. Bu da o baralarda enerji üretimi olduğunu jeneratörlerin elektrik enerjisi ürettiğini üretirken Tablo 3.17'de gözüktüğü gibi baraların bağlandığı 11 bara da güç kaybı olduğunu kanıtlar. Termik santrallerin bağlı olduğu 4'üncü, 5'inci, 7'nci ve 11'inci baraların P aktif güç değeri standart 40 MW değerindedir. Bu da özdeş santraller bağlandığını belirtir.

Tablo 3.18 : Termik Santral eklenmiş güç sisteminin GWO tarafından elde edilen en iyi çözüm

GWO tarafından elde edilen en iyi çözüm								
1,1	1,1	1,09466	1,09475	1,1	1,0936	1,09987	1,1	1,08709
1,08521	1,05295	1,08605	1,02655	0,960557	1,07729	0,913871	0,952688	1,02253
1,05449	1,04554	1,06259	1,00231	1,02296	1,07276	0,91782	0,975522	1,45192
5,11449								

Tablo 3.18'de Termik Santral eklenmiş güç sisteminin GWO tarafından elde edilen en iyi çözüm her bir ölçeğindeki değerler verilmiştir. Buradaki ilk 11 değer jeneratörlerin değeri, sonraki 17 değer trafoların değeri, en sondaki 4 değer ise kapasitörlerin değeridir.

Tablo 3.19 : RES ve Termik santrallerde Kayıp Güçler

		GWO(YEK)	GWO(Termik)
Hatlardaki Toplam	P (MW)	14,804	15,862
Kayıp	Q (MVar)	67,08	74,04

Tablo 3.19’da 4, 5, 7 ve 11. Baralara RES eklenerek elde edilen sonuç ve aynı baralardan RES çıkarılıp Termik santral eklenerek GWO optimizasyonu yapıldı. Elde edilen sonuç yani kayıp güç Yenilenebilir Enerji Kaynaklarında (YEK) 14,804 MW içen Termik Santral bağlandığında elde edilen kayıp güç 15,862 MW olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre YEK sistemlerinin Termik Santrallere göre enerji tasarrufu bakımından daha avantajlı olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Renewable Energy Agency, (2023), *Renewable Capacity Statistics About Irena*. [Online]. Available: www.irena.org
- [2] Duerr S., Ababei C., and Ionel D. M., (2017), "Load Balancing with Energy Storage Systems based on Co-simulation of Multiple Smart Buildings and Distribution Networks." *6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, 05-08 November, San Diego, CA, USA.
- [3] Duerr S., Ababei C., and Ionel D. M., (2020), "A Case for Using Distributed Energy Storage for Load Balancing and Power Loss Minimization in Distribution Networks," *Electric Power Components and Systems*, vol. 48, no. 9–10, pp. 1063–1076, 21 October, doi: 10.1080/15325008.2020.1825556.
- [4] Ehsan A. and Yang Q., (2018), "Optimal integration and planning of renewable distributed generation in the power distribution networks: A review of analytical techniques," *Applied Energy*, vol. 210. Elsevier Ltd, pp. 44–59, 15 January, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.10.106.
- [5] Kefayat M., Lashkar Ara A., and Nabavi Niaki S. A., (2015), "A hybrid of ant colony optimization and artificial bee colony algorithm for probabilistic optimal placement and sizing of distributed energy resources," *Energy Convers Manag*, vol. 92, pp. 149–161, March, doi: 10.1016/j.enconman.2014.12.037.
- [6] Shuaibu Hassan A., Sun Y., and Wang Z., (2020), "Optimization techniques applied for optimal planning and integration of renewable energy sources based on distributed generation: Recent trends," *Cogent Engineering*, vol. 7, no. 1, 02 January, doi: 10.1080/23311916.2020.1766394.
- [7] Belmino L. M. *et al.*, (2019), "Placement and Sizing of Distributed Generation in Distribution System," in *2019 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies, ISGT Latin America 2019*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., September 2019. doi: 10.1109/ISGT-LA.2019.8894981.
- [8] Sanjay R., Jayabarathi T., Raghunathan T., Ramesh V., and Mithulananthan N., (2017) "Optimal allocation of distributed generation using hybrid grey Wolf optimizer," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 14807–14818, 14 August, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2726586.
- [9] Al-Saedi W., Lachowicz S. W., Habibi D., and Bass O., (2013), "Power flow control in grid-connected microgrid operation using Particle Swarm Optimization under

- variable load conditions,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 49, no. 1, pp. 76–85, 11 February, doi: 10.1016/j.ijepes.2012.12.017.
- [10] Hassan A. S., Othman E. S. A., Bendary F. M., and Ebrahim M. A., (2020), “Optimal integration of distributed generation resources in active distribution networks for techno-economic benefits,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 3462–3471, 25 November, doi: 10.1016/j.egy.2020.12.004.
- [11] Bey M., Araria R., Tourqui D., and Drias S., (2023), “STATCOM device incorporation for optimal power flow with voltage deviation and active power losses based on sea horses optimization method,” *Aut Aut Research Journal*, vol. 14, March.
- [12] Mirjalili S., Mirjalili S. M., and Lewis A., (2014), “Grey Wolf Optimizer,” *Advances in Engineering Software*, vol. 69, pp. 46–61, 21 January, doi: 10.1016/j.advengsoft.2013.12.007.
- [13] Zimmerman R. D. and Murillo-Sánchez C. E., (2020), “Matpower Optimal Scheduling Tool MOST 1.1 User’s Manual,” 8 October.
- [14] Elsayed S. K., Kamel S., Selim A., and Ahmed M., (2021), “An Improved Heap-Based Optimizer for Optimal Reactive Power Dispatch,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 58319–58336, 21 April, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3073276.
- [15] Naderi E., Narimani H., Fathi M., and Narimani M. R., (2017), “A novel fuzzy adaptive configuration of particle swarm optimization to solve large-scale optimal reactive power dispatch,” *Applied Soft Computing Journal*, vol. 53, pp. 441–456, 12 January, doi: 10.1016/j.asoc.2017.01.012.
- [16] Ghasemi M., Ghavidel S., Ghanbarian M. M., and Habibi A., (2014), “A new hybrid algorithm for optimal reactive power dispatch problem with discrete and continuous control variables” *Applied Soft Computing Journal*, vol. 22, pp. 126–140, 22 May, doi: 10.1016/j.asoc.2014.05.006.
- [17] Elattar E. E. and ElSayed S. K., (2019), “Modified JAYA algorithm for optimal power flow incorporating renewable energy sources considering the cost, emission, power loss and voltage profile improvement,” *Energy*, vol. 178, pp. 598–609, 29 April, doi: 10.1016/j.energy.2019.04.159.
- [18] Rajan A. and Malakar T., (2016), “Exchange market algorithm based optimum reactive power dispatch,” *Applied Soft Computing Journal*, vol. 43, pp. 320–336, 27 February, doi: 10.1016/j.asoc.2016.02.041.
- [19] Sahay S., Upputuri R., Kumari P., and Kumar N., (2022), “Statistical Analysis of Modified Whale Optimization Algorithm for Active Power Loss Minimization Statistical Analysis of Modified Whale Optimization Algorithm for Active Power Loss Minimization”, *Research Square*, 10 November, doi: 10.21203/rs.3.rs-2025635/v1.

- [20] Saddique M. S., Habib S., Haroon S. S., Bhatti A. R., Amin S., and Ahmed E. M., (2022), "Optimal Solution of Reactive Power Dispatch in Transmission System to Minimize Power Losses Using Sine-Cosine Algorithm," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 20223–20239, 28 February, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3152153.
- [21] Ettappan M., Vimala V., Ramesh S., and Kesavan V. T., (2020), "Optimal reactive power dispatch for real power loss minimization and voltage stability enhancement using Artificial Bee Colony Algorithm," *Microprocess Microsyst*, vol. 76, 14 March, doi: 10.1016/j.micpro.2020.103085.
- [22] Wei Y., Zhou Y., Luo Q., and Deng W., (2021), "Optimal reactive power dispatch using an improved slime mould algorithm," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 8742–8759, 27 November, doi: 10.1016/j.egyr.2021.11.138.
- [23] Das T., Chandra Sur Degree S., Roy R., and Krishna Mandal K., (2020) "Optimal Reactive Power Dispatch based on Modified JAYA Algorithm." *2020 International Conference on Computer, Electrical & Communication Engineering (ICCECE)*, pp. 1-7, 17-18 January, Kolkata, India, doi: 10.1109/ICCECE48148.2020.9223111.
- [24] Ng Shin Mei R., Sulaiman M. H., Mustaffa Z., and Daniyal H., (2017), "Optimal reactive power dispatch solution by loss minimization using moth-flame optimization technique," *Applied Soft Computing Journal*, vol. 59, pp. 210–222, 30 May, doi: 10.1016/j.asoc.2017.05.057.
- [25] Bhattacharya A. and Chattopadhyay P. K., (2010), "Solution of Optimal Reactive Power Flow using Biogeography-Based Optimization." *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol:4, No:3, pp. 621–629.
- [26] Roy P. K., Mandal B., and Bhattacharya K., (2012), "Gravitational search algorithm based optimal reactive power dispatch for voltage stability enhancement," *Electric Power Components and Systems*, vol. 40, no. 9, pp. 956–976, 11 June, doi: 10.1080/15325008.2012.675405.
- [27] Dai C., Chen W., Zhu Y., and Zhang X., (2009), "Seeker optimization algorithm for optimal reactive power dispatch," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 24, no. 3, pp. 1218–1231, 8 May, doi: 10.1109/TPWRS.2009.2021226.
- [28] Shaheen A. M., El-Sehiemy R. A., and Farrag S. M., (2018), "Integrated Strategies of Backtracking Search Optimizer for Solving Reactive Power Dispatch Problem," *IEEE Systems Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 424–433, March, doi: 10.1109/JSYST.2016.2573799.
- [29] Babu R., Raj S., Dey B., and Bhattacharyya B., (2021), "Optimal reactive power planning using oppositional grey wolf optimization by considering bus vulnerability analysis," *Energy Conversion and Economics*, vol. 3, no. 1, pp. 38–49, 23 December, doi: 10.1049/enc2.12048.
- [30] Shekarappa G. S., Mahapatra S., and Raj S., (2021), "Voltage Constrained Reactive Power Planning Problem for Reactive Loading Variation Using Hybrid Harris

Hawk Particle Swarm Optimizer,” *Electric Power Components and Systems*, vol. 49, no. 4–5, pp. 421–435, 11 September, doi: 10.1080/15325008.2021.1970060.

- [31] Shaw B., Mukherjee V., and Ghoshal S. P., (2014), “Solution of reactive power dispatch of power systems by an opposition-based gravitational search algorithm,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 55, pp. 29–40, 21 August, doi: 10.1016/j.ijepes.2013.08.010.



BÖLÜM 4. EKLER

4.1. EK A

```
function [MVAbase, bus, gen, gencost, branch, f, success, et] = ...
    runopf(casedata, mpopt, fname, solvedcase)

%%----- initialize -----
%% default arguments
if nargin < 4
    solvedcase = ''; %% don't save solved case
    if nargin < 3
        fname = ''; %% don't print results to a file
        if nargin < 2
            mpopt = mpoption; %% use default options
            if nargin < 1
                casedata = 'case57'; %% default data file is
'case57.m'
            end
        end
    end
end

%%----- run the optimal power flow -----
[r, success] = opf(casedata, mpopt);

%%----- output results -----
if fname
    [fd, msg] = fopen(fname, 'at');
    if fd == -1
        error(msg);
    else
        if mpopt.out.all == 0
            fprintf(r, fd, mpooption(mpoopt, 'out.all', -1));
        else
            fprintf(r, fd, mpopt);
        end
        fclose(fd);
    end
end
fprintf(r, 1, mpopt);

%% save solved case
if solvedcase
    savecase(solvedcase, r);
end

if nargout == 1 || nargout == 2
    MVAbase = r;
    bus = success;
```

```
elseif nargout > 2
    [MVABase, bus, gen, gencost, branch, f, et] = ...
        deal(r.baseMVA, r.bus, r.gen, r.gencost, r.branch, r.f, r.et);
end
```



4.2. EK B

```
% Grey Wolf Optimizer
function
[Alpha_score,Alpha_pos,Convergence_curve,veri]=GW02(SearchAgents_no,Max_iter,lb,ub,dim)

% initialize alpha, beta, and delta_pos
Alpha_pos=zeros(1,dim);
Alpha_score=inf; %change this to -inf for maximization problems

Beta_pos=zeros(1,dim);
Beta_score=inf; %change this to -inf for maximization problems

Delta_pos=zeros(1,dim);
Delta_score=inf; %change this to -inf for maximization problems

%Initialize the positions of search agents
Positions=initialization(SearchAgents_no,dim,ub,lb);

Convergence_curve=zeros(1,Max_iter);

[PQ, PV, REF, NONE, BUS_I, BUS_TYPE, PD, QD, GS, BS, BUS_AREA, VM, ...
VA, BASE_KV, ZONE, VMAX, VMIN, LAM_P, LAM_Q, MU_VMAX, MU_VMIN] =
idx_bus;
[F_BUS, T_BUS, BR_R, BR_X, BR_B, RATE_A, RATE_B, RATE_C, ...
TAP, SHIFT, BR_STATUS, PF, QF, PT, QT, MU_SF, MU_ST, ...
ANGMIN, ANGMAX, MU_ANGMIN, MU_ANGMAX] = idx_brch;
[GEN_BUS, PG, QG, QMAX, QMIN, VG, MBASE, GEN_STATUS, PMAX, PMIN, ...
MU_PMAX, MU_PMIN, MU_QMAX, MU_QMIN, PC1, PC2, QC1MIN, QC1MAX, ...
QC2MIN, QC2MAX, RAMP_AGC, RAMP_10, RAMP_30, RAMP_Q, APF] =
idx_gen;

[baseMVA, bus, gen, branch, areas, gencost]=case57; %Input data of
IEEE 30 bus test system

l=0;% Loop counter

% Main loop
while l<Max_iter
    for i=1:size(Positions,1)
        Flag4ub=Positions(i,:)>ub;
        Flag4lb=Positions(i,:)<lb;

        Positions(i,:)=(Positions(i,:).*(~(Flag4ub+Flag4lb)))+ub.*Flag4ub+lb.*
        Flag4lb;

        global bus gen branch v1 v2 v3 v6 v8 v9 v12
        %GENENERETOR ONTROLE SET DEĞERLERİ
        v1=Positions(i,1);
        v2=Positions(i,2);
        v3=Positions(i,3);
        v6=Positions(i,4);
```

```

v8=Positions(i,5);
v9=Positions(i,6);
v12=Positions(i,7);
%BARALARIN SET DEĞERLERİ
bus(1,VM)=Positions(i,1);
bus(2,VM)=Positions(i,2);
bus(3,VM)=Positions(i,3);
bus(6,VM)=Positions(i,4);
bus(8,VM)=Positions(i,5);
bus(9,VM)=Positions(i,6);
bus(12,VM)=Positions(i,7);

%GENERATORLARIN SET DEĞERLERİ
gen(1,VG)=Positions(i,1); % gen1
gen(2,VG)=Positions(i,2); %gen2
gen(3,VG)=Positions(i,3); %gen3
gen(4,VG)=Positions(i,4); %gen6
gen(5,VG)=Positions(i,5); %gen8
gen(6,VG)=Positions(i,6); %gen9
gen(7,VG)=Positions(i,7); %gen12

%TRAFONUN TAP DEĞERLERİ
branch(19,TAP)=Positions(i,8); % T1, transformer tap
branch(20,TAP)=Positions(i,9); %T2, transformer tap
branch(31,TAP)=Positions(i,10); %T3, transformer tap
branch(35,TAP)=Positions(i,11); %T4, transformer tap
branch(36,TAP)=Positions(i,12); % T5, transformer tap
branch(37,TAP)=Positions(i,13); %T6, transformer tap
branch(41,TAP)=Positions(i,14); %T7, transformer tap
branch(46,TAP)=Positions(i,15); %T8, transformer tap
branch(54,TAP)=Positions(i,16); % T9, transformer tap
branch(58,TAP)=Positions(i,17); %T10, transformer tap
branch(59,TAP)=Positions(i,18); %T11, transformer tap
branch(65,TAP)=Positions(i,19); %T12, transformer tap
branch(66,TAP)=Positions(i,20); % T13, transformer tap
branch(71,TAP)=Positions(i,21); %T14, transformer tap
branch(73,TAP)=Positions(i,22); %T15, transformer tap
branch(76,TAP)=Positions(i,23); %T16, transformer tap
branch(80,TAP)=Positions(i,24); %T17, transformer tap

%KAPASİTÖR BANKASI DEĞERLERİ
bus(18,BS)=Positions(i,25); % QC18, capacitor
bus(25,BS)=Positions(i,26); % QC25, capacitor
bus(53,BS)=Positions(i,27); % QC53, capacitor

global bus gen branch Yf Yt Ybus
[Ybus, Yf, Yt] = makeYbus(baseMVA, bus, branch); % construct
Ybus

[MVAbase,bus,gen,branch,success,et]=runpf; % run NR load flow
plot((sum(abs(bus(8,:)-1))),':r','Linewidth',3); grid on; hold
on;

global V
global Ybus
bbb=branch(:, [PF,QF]).^2; % ans. is P(from)^2, Q(from)^2
ccc=bbb';
ddd=(sum(ccc))';

```

```

        eee=sqrt(ddd); %actual values of apparent powers "From bus
injection" % HAT ÅZERÄ°NDEN 1--> 2 YE GÄ°DEN S YÄ° HESAPLADI.

        fff=branch(:,[PT,QT]).^2;
        ggg=fff';
        hhh=(sum(ggg))';
        iii=sqrt(hhh); %actual values of apparent powers "To bus
injection" % HAT ÅZERÄ°NDEN 2--> 1 E GÄ°DEN S YÄ° HESAPLADI.
        jjj=[];
        for count_1=1:41 % jjj will contain actual max. apparent
power. ("from" bus power is compared with "to" bus power)
            if eee(count_1)>=iii(count_1)
                jjj(count_1)=eee(count_1);
            else
                jjj(count_1)=iii(count_1);
            end
        end

        %penalty value calculation for line flow violations
        for count_2=1:41 % max power is compared with thermal limit
            if jjj(count_2)>branch(count_2, RATE_A)
                kkk(count_2)=10000*((kkk(count_2)-branch((count_2),
RATE_A))^2); % if limit violates,penalty is imposed
            else
                kkk(count_2)=0; %if no violation, penalty is zero
            end
        end
        penalty_line=sum(kkk); % summation of all penalty of line flow
violations

        %penalty value calculation for bus voltage violation
        lll=bus(:,VM); % voltage mag. of each bus
        for count_3=1:30
            if lll(count_3)>bus(count_3,VMAX)
                penalty_volt(count_3)=10000*(lll(count_3)-
bus(count_3,VMAX))^2;
            elseif lll(count_3)<bus(count_3,VMIN)
                penalty_volt(count_3)=10000*(bus(count_3,VMIN)-
lll(count_3))^2;
            else
                penalty_volt(count_3)=0;
            end
        end
        penalty_volt=sum(penalty_volt); %summation of penalty for bus
voltage violation

        %penalty value calculation for reactive power violation of all
%generators(PV buses and slack bus)
        mmm=gen(:,QG); % reactive power output of all generators
        for count_4=1:6
            if mmm(count_4)>gen(count_4,QMAX)
                penalty_reactive(count_4)=10000*((mmm(count_4)-
gen(count_4,QMAX))^2);
            elseif mmm(count_4)<gen(count_4,QMIN)
                penalty_reactive(count_4)=10000*((gen(count_4,QMIN)-
mmm(count_4))^2);
            else
                penalty_reactive(count_4)=0;
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
    penalty_reactive=sum(penalty_reactive);%summation of penalty
    for Q limit violation

        %penalty value calculation for P violation of slack generator
        nnn=gen(:,PG);
        if nnn(1,1)>gen(1,PMAX)
            penalty_slack=1000*((nnn(1,1)-gen(1,PMAX))^2);
        elseif nnn(1,1)<gen(1,PMIN)
            penalty_slack=1000*((gen(1,PMIN)-nnn(1,1))^2);
        else
            penalty_slack=0;
        end
        %sum of all penalties, penalty function is used to handle
        inequality
        %constraints
        global penalty_function
        penalty_function=(penalty_slack)+
        (penalty_reactive)+(penalty_volt)+(penalty_line);
        %sum of real power losses of all branches
        global loss
        sum_P_loss=(sum(real(loss)));
        global penalty_function
        fun_Swarm=(sum_P_loss)+(penalty_function);
        % Objective function= sum of active power losses of the
        transmission lines
        fSwarm=sum_P_loss;

        % Return back the search agents that go beyond the boundaries of
        the search space
        % Calculate objective function for each search agent
        fitness=fSwarm;
        % [yy, gg] = min(fSwarm');
        xx = Positions(i,:);

        % Update Alpha, Beta, and Delta
        if fitness<Alpha_score
            Alpha_score=fitness; % Update alpha
            Alpha_pos=Positions(i,:);
        end

        if fitness>Alpha_score && fitness<Beta_score
            Beta_score=fitness; % Update beta
            Beta_pos=Positions(i,:);
        end

        if fitness>Alpha_score && fitness>Beta_score &&
        fitness<Delta_score
            Delta_score=fitness; % Update delta
            Delta_pos=Positions(i,:);
        end
        %%ORPD Min Fonksiyonu Buraya YazacaÄŸÄ±z
    end

```

```

a=2-l*((2)/Max_iter); % a decreases linearly from 2 to 0

% Update the Position of search agents including omegas
for i=1:size(Positions,1)
    for j=1:size(Positions,2)

        r1=rand(); % r1 is a random number in [0,1]
        r2=rand(); % r2 is a random number in [0,1]

        A1=2*a*r1-a; % Equation (3.3)
        C1=2*r2; % Equation (3.4)

        D_alpha=abs(C1*Alpha_pos(j)-Positions(i,j)); % Equation
(3.5)-part 1
        X1=Alpha_pos(j)-A1*D_alpha; % Equation (3.6)-part 1

        r1=rand();
        r2=rand();

        A2=2*a*r1-a; % Equation (3.3)
        C2=2*r2; % Equation (3.4)

        D_beta=abs(C2*Beta_pos(j)-Positions(i,j)); % Equation
(3.5)-part 2
        X2=Beta_pos(j)-A2*D_beta; % Equation (3.6)-part 2

        r1=rand();
        r2=rand();

        A3=2*a*r1-a; % Equation (3.3)
        C3=2*r2; % Equation (3.4)

        D_delta=abs(C3*Delta_pos(j)-Positions(i,j)); % Equation
(3.5)-part 3
        X3=Delta_pos(j)-A3*D_delta; % Equation (3.5)-part 3

        Positions(i,j)=(X1+X2+X3)/3; % Equation (3.7)

    end
end
l=l+1;
Convergence_curve(l)=Alpha_score;
veri(l,:)=Alpha_pos;
end

```

4.3. EK C

```
% function [Swarm, fSwarm] = penalty_hesapla(Au, baseMVA, bus, gen,
branch, areas, gencost, Swarm, SearchAgents_no)
function [Swarm, fSwarm]= penaltyhesapla(Swarm,
Positions,SearchAgents_no)
[PQ, PV, REF, NONE, BUS_I, BUS_TYPE, PD, QD, GS, BS, BUS_AREA, VM, ...
VA, BASE_KV, ZONE, VMAX, VMIN, LAM_P, LAM_Q, MU_VMAX, MU_VMIN] =
idx_bus;
[F_BUS, T_BUS, BR_R, BR_X, BR_B, RATE_A, RATE_B, RATE_C, ...
TAP, SHIFT, BR_STATUS, PF, QF, PT, QT, MU_SF, MU_ST, ...
ANGMIN, ANGMAX, MU_ANGMIN, MU_ANGMAX] = idx_brch;
[GEN_BUS, PG, QG, QMAX, QMIN, VG, MBASE, GEN_STATUS, PMAX, PMIN, ...
MU_PMAX, MU_PMIN, MU_QMAX, MU_QMIN, PC1, PC2, QC1MIN, QC1MAX, ...
QC2MIN, QC2MAX, RAMP_AGC, RAMP_10, RAMP_30, RAMP_Q, APF] =
idx_gen;

[baseMVA, bus, gen, branch, areas, gencost]=case57; %Input data of
IEEE 30 bus test system

for i=1:SearchAgents_no % no of particles % number of wolf

    global bus gen branch v1 v2 v3 v6 v8 v9 v12
    %GEN CONTROLE SET DEĞERLERİ
    v1=Positions(i,1);
    v2=Positions(i,2);
    v3=Positions(i,3);
    v6=Positions(i,4);
    v8=Positions(i,5);
    v9=Positions(i,6);
    v12=Positions(i,7);
    %BARAYA SET DEĞERLERİ
    bus(1,VM)=Positions(i,1);
    bus(2,VM)=Positions(i,2);
    bus(3,VM)=Positions(i,3);
    bus(6,VM)=Positions(i,4);
    bus(8,VM)=Positions(i,5);
    bus(9,VM)=Positions(i,6);
    bus(12,VM)=Positions(i,7);

    %GENE SET DEĞERLERİ
    gen(1,VG)=Positions(i,1);
    gen(2,VG)=Positions(i,2);
    gen(3,VG)=Positions(i,3);
    gen(4,VG)=Positions(i,4);
    gen(5,VG)=Positions(i,5);
    gen(6,VG)=Positions(i,6);
    gen(7,VG)=Positions(i,7);
```

```

%TRAFONUN TAP DEĞERLERİ
branch(19,TAP)=Positions(i,8);
branch(20,TAP)=Positions(i,9);
branch(31,TAP)=Positions(i,10);
branch(35,TAP)=Positions(i,11);
branch(36,TAP)=Positions(i,12);
branch(37,TAP)=Positions(i,13);
branch(41,TAP)=Positions(i,14);
branch(46,TAP)=Positions(i,15);
branch(54,TAP)=Positions(i,16);
branch(58,TAP)=Positions(i,17);
branch(59,TAP)=Positions(i,18);
branch(65,TAP)=Positions(i,19);
branch(66,TAP)=Positions(i,20);
branch(71,TAP)=Positions(i,21);
branch(73,TAP)=Positions(i,22);
branch(76,TAP)=Positions(i,23);
branch(80,TAP)=Positions(i,24);

bus(18,BS)=Positions(i,25);
bus(25,BS)=Positions(i,26);
bus(53,BS)=Positions(i,27);

global bus gen branch Yf Yt Ybus
[Ybus, Yf, Yt] = makeYbus(baseMVA, bus, branch); % construct
Ybus

[MVAbase, bus, gen, branch, success, et]=runpf; % run NR load flow
global V
global Ybus
bbb=branch(:, [PF, QF]).^2; % ans. is P(from)^2, Q(from)^2
ccc=bbb';
ddd=(sum(ccc))';
eee=sqrt(ddd); %actual values of apparent powers "From bus
injection" % HAT ĖZERĖNDEN 1--> 2 YE GĖDEN S YĖ HESAPLADI.

fff=branch(:, [PT, QT]).^2;
ggg=fff';
hhh=(sum(ggg))';
iii=sqrt(hhh); %actual values of apparent powers "To bus
injection" % HAT ĖZERĖNDEN 2--> 1 E GĖDEN S YĖ HESAPLADI.
jjj=[];
for count_1=1:41 % jjj will contain actual max. apparent
power. ("from" bus power is compared with "to" bus power)
    if eee(count_1)>=iii(count_1)
        jjj(count_1)=eee(count_1);
    else
        jjj(count_1)=iii(count_1);
    end
end

%penalty value calculation for line flow violations
for count_2=1:41 % max power is compared with thermal limit
    if jjj(count_2)>branch(count_2, RATE_A)
        kkk(count_2)=10000*((jjj(count_2)-branch((count_2),
RATE_A))^2); % if limit violates, penalty is imposed
    else
        kkk(count_2)=0; %if no violation, penalty is zero
    end
end

```

```

    end
    penalty_line=sum(kkk); % summation of all penalty of line flow
    violations

    %penalty value calculation for bus voltage violation
    lll=bus(:,VM); % voltage mag. of each bus
    for count_3=1:57
        if lll(count_3)>bus(count_3,VMAX)
            penalty_volt(count_3)=10000*(lll(count_3)-
bus(count_3,VMAX))^2;
        elseif lll(count_3)<bus(count_3,VMIN)
            penalty_volt(count_3)=10000*(bus(count_3,VMIN)-
lll(count_3))^2;
        else
            penalty_volt(count_3)=0;
        end
    end
    penalty_volt=sum(penalty_volt); %summation of penalty for bus
    voltage violation

    %penalty value calculation for reactive power violation of all
    %generators(PV buses and slack bus)
    mmm=gen(:,QG); % reactive power output of all generators
    for count_4=1:7
        if mmm(count_4)>gen(count_4,QMAX)
            penalty_reactive(count_4)=10000*((mmm(count_4)-
gen(count_4,QMAX))^2);
        elseif mmm(count_4)<gen(count_4,QMIN)
            penalty_reactive(count_4)=10000*((gen(count_4,QMIN)-
mmm(count_4))^2);
        else
            penalty_reactive(count_4)=0;
        end
    end
    penalty_reactive=sum(penalty_reactive); %summation of penalty for Q
    limit violation

    %penalty value calculation for P violation of slack generator
    nnn=gen(:,PG);
    if nnn(1,1)>gen(1,PMAX)
        penalty_slack=1000*((nnn(1,1)-gen(1,PMAX))^2);
    elseif nnn(1,1)<gen(1,PMIN)
        penalty_slack=1000*((gen(1,PMIN)-nnn(1,1))^2);
    else
        penalty_slack=0;
    end

    %sum of all penalties, penalty function is used to handle inequality
    %constraints
    global penalty_function
    penalty_function=(penalty_slack)+
(penalty_reactive)+(penalty_volt)+(penalty_line);
    %sum of real power losses of all branches
    global loss
    sum_P_loss=(sum(real(loss)));
    global penalty_function
    fun_Swarm=(sum_P_loss)+(penalty_function);
    % Objective function= sum of active power losses of the transmission
    lines

```

```
fSwarm(i,:)=sum_P_loss;  
end  
  
end
```



4.4. EK D

```
%function [Swarm,fSwarm] = GWO_ORPDHesapla()
warning('off')

clear all
clc
global Ybus Yf Yt;
SearchAgents_no=10;
lb=[0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.9 0.9 0.9 0.9
0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0 0 0];
ub=[1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1
1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 20 20 20];
dim=27;
Positions=initialization(SearchAgents_no,dim,ub,lb);
Max_iteration=200 ; % Maximum numbef of iterations

[Swarm,fSwarm]=penalty_hesapla([unifrnd(0.95,1.1,SearchAgents_no,7),un
ifrnd(0.9,1.1,SearchAgents_no,17),unifrnd(0,20,SearchAgents_no,3)
],Positions,SearchAgents_no);

PBest = Swarm;
fPBest = fSwarm;

% Finding best particle in initial population
[Best, fBest,g]=best_bul(fSwarm)
lastbpf = fBest;
[Best_score,Best_pos,GWO_cg_curve,veri]=GWO2(SearchAgents_no,Max_itera
tion,lb,ub,dim);
mpc= loadcase('bucase57.m');
[plosaaa] = metin(mpc,Max_iteration,veri);
loss1=GWO_cg_curve;
dev1=plosaaa;

% Agent-20 grafiği
subplot(3,1,1);
plot(loss1, 'LineWidth', 2, 'Color', 'blue');
set(gca, 'FontSize', 12);
title('Objective space - Agent-10');
xlabel('Iteration');
ylabel('Power Loss (MW)');
xlim([0 200]);
ylim([20 35]);
grid on;
box on;
legend('Agent-10');
```

```
SearchAgents_no=50;
lb=[0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.9 0.9 0.9 0.9
0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0 0 0];
```

```

ub=[1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1
1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 20 20 20 ];
dim=27;
Positions=initialization(SearchAgents_no,dim,ub,lb);
Max_iteration=200 ; % Maximum numbef of iterations

[Swarm,fSwarm]=penalty_hesapla([unifrnd(0.95,1.1,SearchAgents_no,7),un
ifrnd(0.9,1.1,SearchAgents_no,17),unifrnd(0,20,SearchAgents_no,3)
],Positions,SearchAgents_no);

PBest = Swarm;
fPBest = fSwarm;

% Finding best particle in initial population
[Best, fBest,g]=best_bul(fSwarm)
lastbpf = fBest;
[Best_score,Best_pos,GWO_cg_curve,veri]=GWO2(SearchAgents_no,Max_itera
tion,lb,ub,dim);
mpc= loadcase('bucase57.m');
[plosaaa] = metin(mpc,Max_iteration,veri);

loss2=GWO_cg_curve;
dev2=plosaaa;

subplot(3,1,2);
plot(loss2, 'LineWidth', 2, 'Color', 'red');
set(gca, 'FontSize', 12);
title('Objective space - Agent-50');
xlabel('Iteration');
ylabel('Power Loss (MW)');
xlim([0 200]);
ylim([20 35]);
grid on;
box on;
legend('Agent-50');

SearchAgents_no=100;
lb=[0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.95 0.9 0.9 0.9 0.9
0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0 0 0];
ub=[1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1
1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 20 20 20 ];
dim=27;
Positions=initialization(SearchAgents_no,dim,ub,lb);
Max_iteration=200 ; % Maximum numbef of iterations

[Swarm,fSwarm]=penalty_hesapla([unifrnd(0.95,1.1,SearchAgents_no,7),un
ifrnd(0.9,1.1,SearchAgents_no,17),unifrnd(0,20,SearchAgents_no,3)
],Positions,SearchAgents_no);

PBest = Swarm;
fPBest = fSwarm;

% Finding best particle in initial population
[Best, fBest,g]=best_bul(fSwarm)
lastbpf = fBest;
[Best_score,Best_pos,GWO_cg_curve,veri]=GWO2(SearchAgents_no,Max_itera
tion,lb,ub,dim);
mpc= loadcase('bucase57.m');

```

```

[plosaaa] = metin(mpc,Max_iteration,veri);

loss3=GWO_cg_curve;
dev3=plosaaa;

subplot(3,1,3);
plot(loss3, 'LineWidth', 2, 'Color', 'green');
set(gca, 'FontSize', 12);
title('Objective space - Agent-100');
xlabel('Iteration');
ylabel('Power Loss (MW)');
xlim([0 200]);
ylim([20 35]);
grid on;
box on;
legend('Agent-100');

% sgtitle('GWO Results'); % Grafik başlığı

% En iyi çözümlerin ve objektif fonksiyon değerlerinin yazdırılması

display(['The best solution obtained by GWO is : ',
num2str(Best_pos)]);
display(['The best optimal value of the objective funciton found by
GWO is : ', num2str(Best_score)]);
%
% %end
%
```