

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEBİLİR KAYNAK İÇEREN GÜÇ SİSTEMLERİ İÇİN  
OPTİMUM REAKTİF GÜÇ DAĞITIMINI SAĞLAYACAK JAVA  
TABANLI BİR GÜÇ AKIŞI ANALİZÖRÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sajia Haidary**

**Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM  
MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Metin VARAN**

**Mayıs 2018**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR KAYNAK İÇEREN GÜÇ SİSTEMLERİ İÇİN  
OPTİMUM REAKTİF GÜÇ DAĞITIMINI SAĞLAYACAK JAVA  
TABANLI BİR GÜÇ AKIŞI ANALİZÖRÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sajia Haidary

Enstitü Anabilim Dalı : BİLGİSAYAR VE BİLİŞİM  
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 09.05.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi.

Metin VARAN

Jüri Başkanı

Prof. Dr.

Abdullah  
FERİKOĞLU

Üye

Doç. Dr.

Ziyodulla YUSUPOV

Üye

## 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.

Sajia Haidary

09.05.2018

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, bu tezin oluşmasında bana yol gösteren ve değerli bilgilerinden yararlandığım, değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Metin VARAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürler.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ .....	viii
ÖZET .....	ix
SUMMARY .....	x

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Katkıları .....	3
1.2. Tez Organizasyonu .....	4

## BÖLÜM 2.

ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE GÜÇ AKIŞI .....	5
2.1. Elektrik Güç Sistemleri .....	5
2.1.1. Üretim sistemi .....	5
2.1.2. İletim sistemi .....	5
2.1.3. Dağıtım sistemi .....	6
2.2. Güç Akışı .....	6
2.2.1. Güç akışı hesaplamaları .....	7
2.2.2. Güç akışı yöntemleri .....	10
2.2.2.1. Nümerik yöntemlerle güç akışı problemin çözülmesi ...	10
2.2.2.2. Newton-Rahpson yöntemi .....	13

### BÖLÜM 3.

OPTİMUM GÜÇ AKIŞI PROBLEMİ .....	15
3.1. Optimal Güç Akışı Probleminin Çözümü .....	15
3.2. Optimal Güç Akışı Probleminin Matematiksel Denklemleri .....	16
3.3. Amaç Fonksiyonu .....	17
3.3.1. Reaktif güç optimizasyonu .....	17
3.4. Kısıtlamalar .....	18
3.4.1. Eşitlik sınır denklemleri .....	19
3.4.2. Eşitsizlik sınır denklemleri .....	19

### BÖLÜM 4.

YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ .....	21
4.1. Geleneksel Yöntemleri .....	21
4.2. Yapay Zeka Yöntemleri .....	22
4.2.1. Genetik algoritması (GA) .....	23
4.2.1.1. GA prosedürü .....	24
4.2.2. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) .....	26
4.2.2.1. PSO algoritmanın formülasyonu .....	27
4.2.3. Yapay arı koloni algoritması (YAKA) .....	28
4.2.3.1. YAKA prosedür .....	29
4.2.4. Hibrit parçacık sürü optimizasyon mutasyon (HPSOM) .....	31

### BÖLÜM 5.

OPTİMUM REAKTİF GÜÇ DAĞITIMINI SAĞLAYACAK JAVA TABANLI GÜÇ AKIŞI ANALİZÖRÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ .....	33
5.1. Java Tabanlı Optimum Güç Akışı .....	33
5.1.1. LoadCase fonksiyonu .....	34
5.1.2. Runpf fonksiyonu .....	34
5.1.3. Generatör bilgilerin standart formu .....	35
5.1.4. İletim hattı bilgilerin standart formu .....	35
5.1.5. Bara bilgilerin standart formu .....	37
5.2. IEEE 14 bara sistemi .....	38

5.3. Reaktif güç dağıtımın optimizasyonu .....	40
5.3.1. GA ile ORGD uygulama .....	41
5.3.1.1. GA ile ORGD prosedürü .....	43
5.3.2. PSO ile ORGD uygulama .....	46
5.3.2.1. PSO ile ORGD prosedürü .....	48
5.3.3. YAKA ile 14 ORGD uygulama .....	52
5.3.3.1. YAKA ile ORGD prosedürü .....	53
5.3.4. HSPOM ile ORGD uygulama .....	58
5.4. Dağıtık Üretimi .....	62
5.4.1. Dağıtık üretimli güç şebekeleri için reaktif güç dağıtımın optimizasyonu .....	62
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME .....	73
KAYNAKLAR .....	74
ÖZGEÇMİŞ .....	77

## **SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ**

DG	: Dağıtık Üretimi
GA	: Genetik Algoritması
HSPOM	: Hibrit Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Mutasyon
OGA	: Optimal Güç Akışı
ORGD	: Optimum Reaktif Güç Dağıtımı
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
YAKA	: Yapay Arı Koloni Algoritması



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Elektrik Güç Sistemleri [12] .....	6
Şekil 2.2. p Barasının Sadece q Barasına Bağlı Olduğu Durum .....	9
Şekil 2.3. Newton-Rahpson Güç Akışı diagramı .....	14
Şekil 4.1. OGA Metotları .....	21
Şekil 4.2. Genetik Algoritması .....	26
Şekil 4.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu .....	28
Şekil 4.4. Yapay Arı Koloni Algoritması .....	31
Şekil 4.5. Hybid Parçacık Sürü Optimizasyonu Mutasyon .....	32
Şekil 5.1. JPOWER paket ilişkileri .....	34
Şekil 5.2. IEEE 14 baranın generatör verileri .....	35
Şekil 5.3. IEEE 14 baranın iletim hattı verileri .....	36
Şekil 5.4. IEEE 14 baranın bara verileri .....	38
Şekil 5.5. IEEE 14 bara sistemi .....	38
Şekil 5.6. GA UML modeli .....	42
Şekil 5.7. GA ile ORGD Akış Diagramı .....	43
Şekil 5.8. GA ile ORGD Gerilim profili .....	46
Şekil 5.9. PSO UML modeli .....	47
Şekil 5.10. PSO ile ORGD Akış Diagramı .....	48
Şekil 5.11. PSO ile ORGD Gerilim Profili .....	51
Şekil 5.12. PSO ile ORGD Minimum Güç Kaybı .....	51
Şekil 5.13. YAKA UML modeli .....	53
Şekil 5.14. YAKA ile ORGD Akış Diagramı .....	54
Şekil 5.15. YAKA ile ORGD Gerilim Profili .....	57
Şekil 5.16. YAKA ile ORGD Minimum Güç Kaybı .....	57
Şekil 5.17. HPSOM ile ORGD Akış Diagramı .....	58
Şekil 5.18. HPSOM ile ORGD Gerilim Profili .....	61

Şekil 5.19. HPSOM ile ORGD Minimum Güç Kaybı .....	61
Şekil 5.20. generatör değerleri değiştirmeden önce .....	63
Şekil 5.21. generatör değerleri değiştirdikten sonra .....	63
Şekil 5.22. DG'yi 4. Barada taktığında generatör değerleri değiştirmeden önce ...	64
Şekil 5.23. DG'yi 4. Barada taktığında generatör değerleri değiştirdikten sonra ...	64
Şekil 5.24. DG'yi 4. Barada taktığında Bara değerleri değiştirdikten sonra .....	65
Şekil 5.25. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin PSO sonuçları .....	70
Şekil 5.26. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin GA sonuçları .....	70
Şekil 5.27. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin YAKA sonuçları .....	71
Şekil 5.28. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin HPSOM sonuçları .....	71
Şekil 5.29. Farklı baralarda DG yerleşimin farklı algoritmalarla ORGD sonuçlar..	72

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1. IEEE 14 baranın generatör parametreleri .....	35
Tablo 5.2. IEEE 14 baranın iletim hattı parametreleri .....	36
Tablo 5.3. IEEE 14 baranın bara parametreleri .....	37
Tablo 5.4. IEEE 14 baranın yük parametreleri .....	39
Tablo 5.5. IEEE 14 baranın generatör parametreleri .....	39
Tablo 5.6. IEEE 14 baranın iletim hattı parametreleri .....	40
Tablo 5.7. ORGD kontrol değişmeleri .....	41
Tablo 5.8. 14 Bara sistemin ORGD kontrol değişmeleri .....	41
Tablo 5.9. GA değişkenleri .....	44
Tablo 5.10. 14 bara değişkenlerinin üst ve alt limitleri .....	44
Tablo 5.11. GA ile ORGD sonuçları .....	45
Tablo 5.12. 14 bara PSO değişkenleri .....	49
Tablo 5.13. 14 bara değişkenlerinin üst ve alt limitleri .....	49
Tablo 5.14. PSO ile ORGD sonuçları .....	50
Tablo 5.15. 14 bara YAKA değişkenleri .....	55
Tablo 5.16. 14 bara değişkenlerinin üst ve alt limitleri .....	55
Tablo 5.17. YAKA ile ORGD sonuçları .....	56
Tablo 5.18. 14 bara PSO değişkenleri .....	59
Tablo 5.19. 14 bara değişkenlerinin üst ve alt limitleri .....	59
Tablo 5.20. HPSOM ile ORGD sonuçları .....	60
Tablo 5.21. Rüzgr Türbinin güç değerleri .....	63
Tablo 5.22. 14 bara sisteminde ORGD kontrol değişkenleri .....	65
Tablo 5.23. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin PSO sonuçları .....	66
Tablo 5.24. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin GA sonuçları .....	67
Tablo 5.25. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin YAKA sonuçları .....	68
Tablo 5.26. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin HPSOM sonuçları .....	69

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Aktif Güç Kaybı, Aktif Güç Kaybının Minimizasyonu, DG, ORGD, Yapay Zekâ Yöntemleri

Reaktif güç dağıtımının, güç şebekelerinin çalışmasında kritik ve önemli yeri vardır ve güç şebekelerinde güvenli ve ekonomik bir çalışma imkânını sağlamak için temel bir rolü oynamaktadır. Reaktif gücün amaçsız dağılımı, güç şebekelerinin güç kalitesini ciddi bir şekilde etkiler ve iletim kaybını arttırır. Etkin bir güç akışı mekanizmanın oluşturması, sadece güç kaybını azaltmakla kalmaz aynı zamanda güç kalitesini de arttırır. Optimal Reaktif Güç Dağıtımı (ORGD) çalışmaları, güç sisteminin en güvenilir çalışma koşulunu sağlayacak en uygun sistem yapılandırmalarını oluşturmaktadır. ORGD, jeneratörü olan baraların gerilimlerini, trafo kademe pozisyonlarını ve değiştirilebilir şönt kapasitörlerinin boyutunu kontrol ederek aktif güç kaybının azaltmasını sağlar.

Bu tezde, baraya yeni kurulan bir DG sisteminin en uygun şekilde yerleştirilmesi için yapay zekâ yöntemleri uygulanmıştır. Tezin temel amacı, kontrol değişkenlerini limitleri aralarında optimize ederek aktif güç kaybını en aza indirmek ve incelenen sistemde yeni bir DG'nin optimum yerleşimini bulmaktır. Sistem performansını değerlendirmek için IEEE 14 bara sistemi kullanılmıştır ve önerilen tekniğin sonuçları PSO, YAKA, GA, HPSOM optimizasyon teknikleriyle karşılaştırılmıştır. Test sonuçları, önerilen konfigürasyonun geleneksel güç sistemlerinde yenilenebilir entegrasyon oranını arttırmaya katkıda bulunacağını göstermektedir. Sonuçlar ayrıca, önerilen ORGD tekniğinin optimum bir çözüme yaklaşabileceğini ve kritik bir durumda ve makul bir süre içinde tatmin edici bir çözüm elde edebileceğini göstermektedir. En uygun sistem yapılandırmanın araştırılması için kullanışlı güç akışı analizi prosedürlerinin geniş bir koleksiyonu, açık kaynaklı JPOWER algoritmaları ile ele alınmıştır. JPOWER güç akışı problemlerini çözmeye odaklanır ve bunun avantajı, kodun kolaylıkla kullanılabilmesi ve değiştirilebilmesidir. Test sonuçları, önerilen yöntemin etkinliğini göstermektedir.

# **DEVELOPING A JAVA BASED POWER FLOW ANALYZER TO PROVIDE OPTIMUM REACTIVE POWER DISPATCH FOR POWER SYSTEMS WITH RENEWABLE RESOURCES**

## **SUMMARY**

Keywords: Reactive Power Dispatch, Active Power Loss Minimization, DG, ORPD, Artificial Intelligence Methods

Reactive power dispatch is critical to the operation of power networks and plays the main role in order to provide facility of secure and economic operation in power networks. Unreasonable distribution of the reactive power would severely affect the power quality of the power networks and increases the transmission loss. Establishing an efficient power flow mechanism contributes not only to decreasing power loss, but also to increase the quality of power. Therefore, Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD) studies target to establish the most convenient system configurations that will enable the most reliable operating condition of power system. ORPD is defined as the minimization of active power loss by controlling generator bus voltages, transformer tap positions and the size of switchable shunt capacitors.

In this thesis, artificial intelligence methods are implemented for optimal placement of a newly installed DG system at transmission line. The main objective of this thesis is to minimize the active power loss by optimizing the control variables within their limits and to find the optimal placement of a new DG in the studied system. IEEE 14 bus system is used to evaluate the performance of implemented technique. The results of the proposed technique are compared with that of PSO, ABC, GA, HPSOM optimization techniques. Test results show that proposed configuration will contribute to increasing the rate of renewable integration in conventional power systems. The results also show that the proposed ORPD technique can converge to a near solution and obtain a competitive solution in a critical situation and within a reasonable amount of time. A wide collection of useful power flow analysis procedures for the exploration of the most convenient system configuration have been handled through the open source JPOWER algorithms. JPOWER focuses on solving the power flow problems and its benefit is that its code can be easily used and modified. Test results show the effectiveness of the proposed method.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektrik güç sistemleri büyüdükçe Optimal Güç Akışı (OGA) problemleri, 1962'de Carpentier tarafından tanıtılmasından şimdiye kadar artan bir önem kazanmıştır. OGA, mevcut elektrik sistemlerinin iyileştirilmesi, verimliliğinin artırılması için, ve gelecekte kurulacak sistemlerin doğru planlanması için önemlidir. OGA çok büyük, doğrusal olmayan matematiksel bir programlama problemidir ve çözümü için geliştirilmiş etkili algoritmalar on yıllar almıştır. Çözümü için birçok farklı matematiksel teknik kullanılmıştır [1].

OGA yük bara gerilimleri, jeneratörlerin reaktif güç çıkışları, şebeke güç akışları ve güç sistemindeki diğer tüm durum değişkenlerinin operasyonel ve güvenli sınırlarını koruyarak yakıt maliyetini ve şebeke aktif güç kaybını en aza indirmek için jeneratör aktif güç çıkışlarını ve voltajlarını, şönt kapasitörleri/reaktörlerini, trafo kademe ayarlarını ve diğer kontrol edilebilir değişkenlerini düzenlemek için uygulanmıştır [2].

OGA'nın ana hedeflerinden biri kontrol değişkenlerin limitleri aralarında aktif güç kaybını en aza indirmektir ve bu hedefe ulaşmak için Optimal Reaktif Güç Dağıtımı (ORGD) yöntemi kullanılmaktadır. Optimal güç akışı probleminin özel bir örneği olan ORGD, güç sistemlerinin güvenli ve ekonomik çalışması açısından çok önemli bir araçtır ve güç sistemlerinin güvenli ve ekonomik çalışması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. ORGD'de, sistemin aktif güç kaybı en aza indirilir ve belirli bir işletim ve fiziksel sınırlamalarını yerine getirirerek gerilim profili geliştirilir [3].

ORGD ve OGA çözümleri için farklı sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Sezgisel algoritmalar arasında GA algoritmayı önerilen kaynaklarında; Mohamed EL-Shimy ve AR, Abuel-wafa kaynak [4]'te optimal güç akışını ikili kodlanmış GA'yı kullanarak çözümler ve çözümleri MATPOWER'da sunulan klasik optimizasyon teknikleriyle

karşılaştırarak göstermişler. Kaynak [5]'te Durairaj, Kannan ve Devaraj, güç sisteminde gerilim kararlılığı sınırını da içeren ORGD'yi çözmek için GA tabanlı bir yaklaşım önermişler. Optimizasyon problemini, turnuva seçimi, iki nokta çaprazlama ve bit-dayalı mutasyonla ikili kodlanmış GA'yı kullanarak çözmüşler. Kaynak [6]'da ise Dawood Talebi Khanmiri arkadaşarıyla ORGD çözümü için geliştirilmiş bir GA'yı sunmuşlar. Önerilen yöntem GA'nın arama sürecini iyileştirmek için kullanılmaktadır, bu yöntem hem gerçek hem de ikili taban genlerle çalışabilen uygun çaprazlama ve mutasyon süreçleri tanımlanır.

PSO algoritmayı önerilen kaynaklar arasında; kaynak [1]'de Belgin Emre Turkey ve Rengin Idil Cabadag, termik generatörün saatlik yakıt giderlerin azaltılması objektif fonksiyonu olarak değerlendirildiği OGA tabanlı bir PSO metodu önermişlerdir. Sonuç olarak, daha azaltmış objektif fonksiyonu ve azaltmış sistem kayıp değerleri, hibrit PSO algoritmayı kullanılarak kısa bir yakınsama zamanında elde edilmişler. Kaynak [7]'de Kumar ve arkadaşları, optimal güç akışını, PSO algoritmayı kullanarak çözmüşler ve farklı objektif fonksiyonlarla oluşturulan PSO probleminin uygulanabilirliğini doğrulanmışlar. Khine Zin Oo ve arkadaşları [8] çalışmalarında, Dağıtık Üretim (DG) tesisi ile dağıtım sistemlerde ORGD problemini çözmek için parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) algoritmasını MATPOWER'de uygulamışlar.

YAKA algoritmayı önerilen kaynaklar; [9] çalışmada Luong Le Dinh ve arkadaşları optimum güç akışı (OGA) problemini çözmek için yapay arı koloni (YAKA) algoritmasını önermişler. OGA'da, termik generatörün saatlik yakıt giderleri azaltılması objektif fonksiyonu olarak kullanmışlar. [3], [10] ve [11] çalışmalarda ise ORGD problemi YAKA algoritmayı kullanılarak çözülmüştür. Simülasyon sonuçlarına göre, bu yöntemin ORGD'yi çözmek için oldukça etkili olduğu ve küresel optimuma yakınsadığı görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, sistem kayıplarının azaltılması ve enerjinin daha kaliteli ve daha ekonomik olarak sunulması için baraya yeni kurulan bir DG sisteminin en uygun şekilde yerleştirilmesi için yapay zekâ yöntemleri uygulanmıştır. Tezin temel amacı, kontrol değişkenlerini limitleri aralarında optimize ederek aktif güç kaybını en aza

indirmek ve incelenen sistemde yeni bir DG'nin optimum yerleşimini bulmaktır. Sistem performansını değerlendirmek için IEEE 14 bus sistemi kullanılmıştır ve önerilen tekniğin sonuçları PSO, YAKA, GA, HPSOM optimizasyon teknikleriyle karşılaştırılmıştır. Test sonuçları, önerilen konfigürasyonun geleneksel güç sistemlerinde yenilenebilir entegrasyon oranını arttırmaya katkıda bulunacağını göstermektedir. Sonuçlar ayrıca, önerilen ORGD tekniğinin optimum bir çözüme yaklaşabileceğini ve kritik bir durumda ve makul bir süre içinde tatmin edici bir çözüm elde edebileceğini göstermektedir. En uygun sistem yapılandırmanın araştırılması için kullanışlı güç akışı analiz prosedürlerinin geniş bir koleksiyonu açık kaynaklı JPOWER algoritmaları ile ele alınmıştır. JPOWER güç akışı problemlerini çözmeye odaklanır ve bunun avantajı, kodun kolaylıkla kullanılabilmesi ve değiştirilebilmesidir. Test sonuçları, önerilen yöntemin etkinliğini göstermektedir.

### **1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Katkıları**

Reaktif güç dağıtımını hem kesintisiz hem de kesikli kontrol değişkenlerini içeren doğrusal olmayan bir optimizasyon problemidir. ORGD karmaşık özelliklere sahiptir ve geleneksel yöntemler ORGD problemlerinin çözümünde eksiklikler göstermiştir, bu nedenle sezgisel optimizasyon yöntemleri ORGD problemi için etkili bir çözüm haline gelmiştir.

Bu tezde, reaktif güç dağıtımını problemini çözmek ve mevcut sistemde yeni kurulan DG'nin optimum yerleşimini belirlemek için yapay zekalı algoritmaların JPOWER ile birleşik tekniği uygulanmaktadır. Bu çalışmada, önerilen tekniğin performansını test etmek için IEEE 14 bara sistemini kullanılmaktadır ve güç sisteminde DG yerleştirmeden ve yerleştirdikten sonra PSO, YAKA, GA, HPSOM optimizasyon teknikleriyle optimize ederek sonuçları karşılaştırmaktadır.

Sonuçlarda DG ile dağıtım sistemi için reaktif güç dağıtım yönteminin, aktif güç kaybını DG'siz bir dağıtım sisteminden daha da azaltabileceği gözlemlenebilir. Elde edilen düşük aktif güç kaybının yararı, güç sisteminde daha iyi bir ekonomik güç



akışı ve güvenli çalışma sağlayacaktır. Ayrıca, optimizasyon teknikleri arasında hibrit optimizasyon metodunun daha iyi performans gösterebileceği ve en uygun çözümü temin ettiği gözlemlenmiştir.

## 1.2. Tez Organizasyonu

Çalışmanın ikinci bölümünde kaynak araştırması yapılarak elektrik güç sistemlerini ve bu sistemlerde güç akışı ve güç akışı analizleri ve yöntemlerine ilişkin spesifik bilgilere yer verilmiştir. Üçüncü bölümünde Optimal Güç Akışı (OGA), OGA formulasyonu, amaç fonksiyonları ve kısıtlmaları kaynak araştırması yapılarak anlatılmıştır. Dördüncü bölümünde OGA'nin çözümü için kullanılmakta olan yöntemler ve bu çalışmada kullanılmış yapay zekâ yöntemleri ve neden bu yöntemlerin tercih edildiği ve uygulanacak adımlar ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Beşinci bölümünde Java tabanlı optimum güç akışı ve IEEE 14 bara sistemi anlatılarak, Optimum reaktif güç dağıtımını yapay zeka yöntemlerle IEEE 14 bara sistemine uygulanarak sonuçları ayrıntılı olarak verilmiştir. Beşinci bölümün dördüncü kısmında Dağıtık Üretim sistemleri anlatılmıştır ve DG alternatifi olarak rüzgâr türbini seçilmiştir. IEEE 14 bara sisteminin her barasına yeni DG ekleyerek ORGD yine yapay zekâ yöntemlerle çözülmüştür ve sonuçları karşılaştırmıştır. Son bölümü olan değerlendirme bölümünde ise çalışmanın sonuçları ve katkısı ile ilgili olarak genel bir değerlendirme yapılmıştır.

## **BÖLÜM 2. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE GÜÇ AKIŞI**

### **2.1. Elektrik Güç Sistemleri**

Elektrik güç sistemleri karmaşık ve doğrusal olmayan yapılara sahiptir. Elektrik güç sistemleri; sistem yük değerleri, generatör çıkış değerleri ve sistem parametrelerinin bütünsel bir değişkenlik karakteristiğini göstermektedir. Elektrik enerji sistemleri, elektrik enerji üretmek, iletmek ve dağıtmak için kullanılan çeşitli bileşenlerin ağlarıdır. Bu ağlar üç bölümden oluşur; üretim sistemleri, iletim sistemleri ve dağıtım sistemleri [12].

#### **2.1.1. Üretim sistemi**

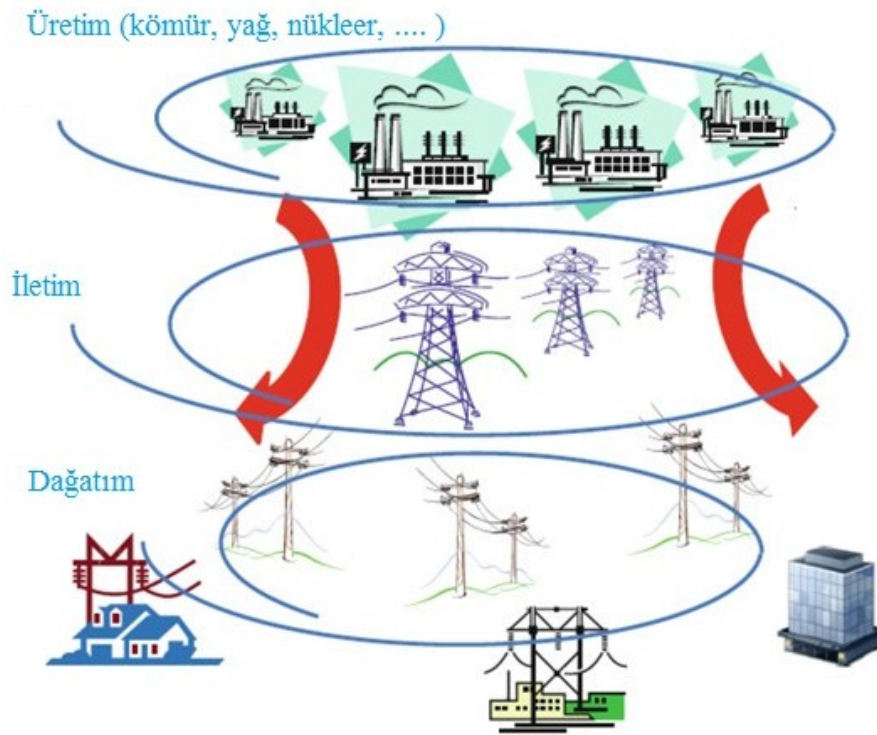
Elektrik enerjinin üretimi, üretim tesislerinde kurulan çeşitli güç ve bağlantı biçimlerinde senkron veya asenkron generatörler tarafından yapılır [13]. Üretim tesislerinde kullanılan generatör sarımları yıldız bağlantılıdır ve nötr (yıldız) nokta direkt olarak toprağa bağlanır veya bir empedansla topraklanmış veya boşta rölantide bulunur ve bu durumda generatör nötr izolasyon ile çalıştırılır.

#### **2.1.2. İletim sistemi**

Enerji iletim hatları, doğal enerji kaynaklarının bulunduğu nehir ve / veya rüzgâr tünelleri gibi yerlerde üretilen enerjinin tüketici kaynaklara taşınması için gereklidir. Enerji kaynağının kaynaktan mesafesi ve güç miktarı iletim gerilim türünü, iletim tesisi karakteristiklerini ( direk, izalatör, kesit v.b.) etkiler. Gerekli durumlarda ihtiyaç halinde trafo merkezleri şebekeye eklenir ve iletim tesisi kurulur [14].

### 2.1.3. Dağıtım sistemi

İletim tesislerinin sonuna kurulan ve yüksek gerilim ile taşınan enerjinin uygun gerilim seviyesine indirmek için kesici ölçü kabinlerinde, ve direk tipi trafo gibi enerji dönüşüm noktalarında güç transformatörleri kullanılır [12]. Elektrikli makineler olarak da bilinen bu güç transformatörleri üç faza sahiptir ve çeşitli güç ve bağlantı türlerinde üretilmektedir.



Şekil 2.1. Elektrik Güç Sistemleri [12]

### 2.2. Güç Akışı

Güç sisteminde, yük akışı analizi / güç akışı analizi, güç sistem ağını çözmek için uygulanan sayısal analizi içeren çok kullanışlı bir araçtır [15]. Güç akışı analizi, geçici kararlılık, optimal güç akışı ve olasılık çalışmaları gibi birçok analiz için gereklidir. Güç akışı analizinin temel bilgileri, her bir baradaki gerilimin büyüklüğü ve faz açısını ve her iletim hatlarında reel ve reaktif gücünü bulmaktır [16].

Güç akışı kontrolü, güç üretim sistemlerinin tüm tüketim baralarındaki taleblerini karşılamak amacıyla üretim santrallerinde üretilen enerjinin, iletim-dağıtım hatlarında ve transformatörlerdeki değişimin analizlerle hesaplanması için önemlidir. Güç akışı kontrolü iletim-dağıtım hatlarının ve güç transformatörlerinin enterkonnekte güç sistemlerinde aşırı veya dengesiz yüklenmesi tüm baraların gerilimlerinin uygun sınırlarda kalmasını ve generatörlerin reaktif üretiminin kabul edilebilir sınırlar içinde kalmasını gerektirir [17].

Güç sistemlerini modellemek ve güç akışını kontrol etmek, enterkonnekte sistemin güvenilir ve korumalı çalışması için önemlidir. Ayrıca, yeni üretim tesislerinin veya tüketicilerin sisteme bağlanması veya devreye girmeden önce eklenen iletim hattının bilinmesi önemlidir [18]. Elektrik tesisatlarının yük akış analizi ile güç faktörünün belirlenmesi, baradaki gerilimleri arttırmak için sisteme kurulacak kapasitörlerin en uygun yer ve kapasitelerini belirlemek için gereklidir [15].

Bir güç sisteminde yük akışı analizinin amacı, hat gerilimleri, trafo, kablo, güç akışları, empedanslar, yükler ve üretim kapasitelerini hesaplamaktır. İdeal olarak, bir güç sisteminin çalışması için hesaplanan voltajlar kabul edilebilir sınırlar içinde olmalıdır.

### 2.2.1. Güç akışı hesaplamaları

Bir baraya giren net kompleks gücü  $S_k = S_{gk} - S_{dk}$  olarak tanımlayabiliriz. Burada şebeke gerilimi, admitansı gibi tüm büyüklük değerleri per-unit cinsinden olup tüm hesaplamalarda tek faz güç ilişkisi kuruludur [17]. Bilinen ilişkileri kompleks güç için yazacak olursak  $S_k$  ifadesi:

$$S_k = V_k I_k \quad (2.1)$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{n1} & Y_{n2} & Y_{n3} & Y_{n4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

N baralı bir sistemi ifade eden (2.2) nolu matriste herhangi bir baraya giren akımın ifadesi

$$I_k = \sum_{j=1}^N Y_{kj} V_j \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilir burada  $Y_{kj}$  terimi admitans matrisinin elemanlarını temsil etmekte olup (2.3) denklemi (2.1) de yerine yazılırsa:

$$S_k = V_k \left( \sum_{j=1}^N Y_{kj} V_j \right)^* = V_k \sum_{j=1}^N Y_{kj}^* V_j^* \quad (2.4)$$

$V_k$  'nın genlik ve açı değerine sahip bir büyüklük olduğunu hatırlayarak  $V_k = |V_k| \angle \theta_k$ . Ayrıca  $Y_{kj}$ , bir admitans fonksiyonu olup kompleks bir değerdedir.  $G_{kj}$  ve  $B_{kj}$  elemanları bu admitans fonksiyonunun reel ve kompleks kısımları  $Y_{kj} = G_{kj} + jB_{kj}$  şeklinde yazılabilir. Dolayısıyla (2.4) olan denklem tekrar düzenlenerek

$$\begin{aligned} S_k &= V_k \sum_{j=1}^N Y_{kj}^* V_j^* = |V_k| \angle \theta_k \sum_{j=1}^N (G_{kj} + jB_{kj})^* (|V_j| \angle \theta_j)^* = |V_k| \angle \theta_k \sum_{j=1}^N (G_{kj} - jB_{kj}) (|V_j| \angle -\theta_j) \\ &= \sum_{j=1}^N |V_k| \angle \theta_k (|V_j| \angle -\theta_j) (G_{kj} - jB_{kj}) = \sum_{j=1}^N (|V_k| \|V_j| \angle (\theta_k - \theta_j)) (G_{kj} - jB_{kj}) \end{aligned} \quad (2.5)$$

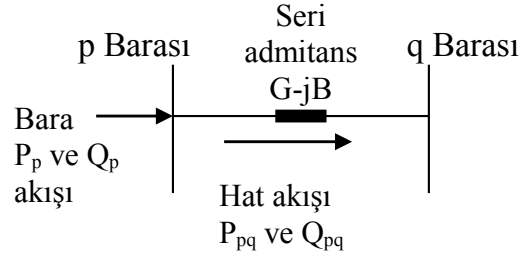
Euler formu hatırlanacak olursa bir fazör büyüklük  $V = |V| \angle \theta = |V| \{ \cos \theta + j \sin \theta \}$  gibi sinusoidlerin kompleks fonksiyonu olarak tanımlanmakta ve (2.5) denklemi şu şekilde yazılabilir

$$S_k = \sum_{j=1}^N (|V_k| \|V_j| \angle (\theta_k - \theta_j)) (G_{kj} - jB_{kj}) = \sum_{j=1}^N |V_k| \|V_j| \left( \begin{array}{c} \cos(\theta_k - \theta_j) \\ + j \sin(\theta_k - \theta_j) \end{array} \right) (G_{kj} - jB_{kj}) \quad (2.6)$$

Bu denklemde parantez içindeki iki terimin cebirsel çarpımı yapılarak reel ve imajiner kısımlar ve  $S_k = P_k + jQ_k$ , ifadesi hatırlanırsa (2.6) denklemini aşağıdaki gibi  $P_k$  ve  $Q_k$  olarak ifade edebiliriz;

$$\begin{aligned}
P_k &= \sum_{j=1}^N |V_k| |V_j| (G_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j) + B_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j)) \\
Q_k &= \sum_{j=1}^N |V_k| |V_j| (G_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j) - B_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j))
\end{aligned}
\tag{2.7}$$

(2.7) deki iki denklem güç akışı denklemleri olarak bilinmekte ve güç akışı probleminin çözümünde en temel fonksiyona sahip gövde yapısındadır.(2.7) denkleminde k barası p barası olarak isimlendirilirse ve bu baranın sadece bir q barasına bağlı olduğu düşünülürse, p barası güç akışı pq hattı boyunca yapılan akış gibi olup bu durum Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. p Barasının Sadece q Barasına Bağlı Olduğu Durum

Şekil 2.2.'de gösterilen durum dolayısıyla (2.7) denklemini şu şekilde yazılabilir:

$$P_p = |V_p|^2 G_{pp} + |V_p| |V_q| G_{pq} \cos(\theta_p - \theta_q) + |V_p| |V_q| B_{pq} \sin(\theta_p - \theta_q)
\tag{2.8}$$

$$Q_p = -|V_p|^2 B_{pp} + |V_p| |V_q| G_{pq} \sin(\theta_p - \theta_q) - |V_p| |V_q| B_{pq} \cos(\theta_p - \theta_q)$$

Eğer hattın pq admitans değeri Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi  $y=G-jB$  olursa bu durumda  $G_{pq}=-G$  ve  $B_{pq}=B$  yazılabilir. Burada p barasına hattı şarj eden şönt bir reaktans olmadığından  $G_{pp}=G$  ve  $B_{pp}=B$  yazılabilir. Bu şartlar (2.8) denklemini şu şekilde yazılabilir:

$$P_p = |V_p|^2 G - |V_p||V_q|G \cos(\theta_p - \theta_q) + |V_p||V_q|B \sin(\theta_p - \theta_q) \quad (2.9)$$

$$Q_p = |V_p|^2 B - |V_p||V_q|G \sin(\theta_p - \theta_q) - |V_p||V_q|B \cos(\theta_p - \theta_q)$$

(2.9) denkleminde reaktif ifade tekrar yazılırsa

$$P_p = |V_p|^2 G - |V_p||V_q|G \cos(\theta_p - \theta_q) + |V_p||V_q|B \sin(\theta_p - \theta_q) \quad (2.10)$$

$$Q_p = |V_p|^2 B - |V_p||V_q|B \cos(\theta_p - \theta_q) - |V_p||V_q|G \sin(\theta_p - \theta_q)$$

ifadesi yazılabilir.

### 2.2.2. Güç akışı yöntemleri

Genel olarak, güç akışı analizi yöntemleri deterministik ve olasılıkçı yöntemlere bölünebilir. Newton-Raphson yöntemi, Gauss-Seidel yöntem, hızlı ayrıştırma yük akışı yöntemi ve doğru akım yük akışı yöntemi gibi deterministik yöntemler, sistem durumlarını ve güç akışlarını hesaplamak için seçilen bir ağ konfigürasyonunun güç akışının ve yük taleplerinin spesifik değerlerini kullanır [20].

Genel olarak yöntemler, doğru akım yöntemlerine ve alternatif akım yöntemlerine bölünebilir. Doğru akım yöntemleri yalnızca aktif güç ile ilgilenir ve alternatif akım yöntemleri aktif ve reaktif güç ile ilgilidir. Alternatif akım yöntemleri nümerik yöntemleridir [16].

#### 2.2.2.1. Nümerik yöntemlerle güç akışı probleminin çözülmesi

N baralı bir şebekenin olduğu baz alınarak,  $N_G$  üretim barası sayısını ifade etmekte olup sistemde bir adet salınım barası da seçilmek üzere  $N_G-1$  adet PV barası (üretim) ve  $N-N_G$  adet PQ barası (tüketim) vardır. Salınım barasının 1 nolu bara olduğu kabul edilerek PV baraları 2, 3, şeklinde  $N_G$  ye kadar PQ baralarının da  $N_G+1$  den başlamak üzere N e kadar olduğu sistem aşağıdaki adımlar gözetilerek tanımlanır:

1. Tüm seri ve şönt elemanların admitans değerleri Y-bara matrisi olmak üzere
2. Tüm üretim barası gerilim büyüklüklerinin  $V_k, k=1, \dots, N_G$ , olmak üzere
3. Salınım barası dışındaki tüm baralara olan aktif güç akışı  $P_k, k=2, \dots, N$  olmak üzere
4. Tüm PQ baraları için reaktif güç akışı  $Q_k, k=N_G+1, \dots, N$  olmak üzere

3 ve 4 adımları doğrudan (2.7) nolu güç akışı denklemlerinin sol tarafındaki güç değerlerini temsil etmektedir. Denklem sayısı denklemde yer alan bilinmeyen sayısından bir tane az olduğu sol tarafın varlığı oldukça önemlidir. Bu denklemlerin sol tarafına eşitlenecek olan denklemlerin sayısı adım 3 de yer alan aktif güç akışının olduğu baralara adım 4 de yer alan reaktif güç akışının olduğu baraların eklenmesiyle  $(N-1) + (N-N_G) = 2N-N_G-1$  şeklinde elde edilir. Güç akışı denklemlerini burada uygun rakamları sağdan vererek tekrar oluşturursak.

$$P_k = \sum_{j=1}^N |V_k| |V_j| \left( \begin{array}{c} G_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j) \\ + B_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j) \end{array} \right), k = 2, \dots, N \quad (2.11)$$

$$Q_k = \sum_{j=1}^N |V_k| |V_j| \left( \begin{array}{c} G_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j) \\ - B_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j) \end{array} \right), k = N_G + 1, \dots, N$$

Şebeke ile ilgili şu bilgileri bulmaya çalışırsak;

Salınım barası hariç tüm baralardaki gerilim fazör açıları (salınım barası açısı  $0^\circ$ )  $\theta_k, k=2, \dots, N$  o.ü.

Tüm PQ baraları için gerilim fazörlerinin genlik değerleri  $|V_k|, k=N_G+1, \dots, N$  o.ü.

Burada a ve b durumları  $N-1$  adet bilinmeyen açı değeri ve  $N-N_G$  kadar bilinmeyen gerilim büyüklüğü değeri olmak üzere toplamda  $(N-1) + (N-N_G) = 2N-N_G-1$  adetlik bir bilinmeyeni temsil eder.



Dolayısıyla sol taraftaki  $2N-N_G-1$  adet bilinen denklem sayısı, bilinmeyen  $2N-N_G-1$  adet gerilim ve açılı sayısı ile eşit olup denklem çözülebilir durumdadır. Ancak (2.11) nolu denklemden de görüleceği üzere çarpan halde bulunan bilinmeyen elemanların varlığından dolayı bu denklemler lineer değildir. Bu lineer olmama durumundan dolayı bu denklemleri “ $Ax=b$ ” formunda matris formunda yazamayıp denklemleri diğer çözüm yöntemlerinin formuna uygun hale getirmek gerekmektedir.

Bilinmeyen değerler vektörü iki adımda tanımlanır. Bilinmeyen açılar vektörü  $\underline{\theta}$  (alt çizgi değişkenin bir vektör veya matris olduğunun temsil eder) ve bilinmeyen gerilim genlikleri  $|\underline{V}|$  olmak üzere,

$$\underline{\theta} = \begin{bmatrix} \theta_2 \\ \theta_3 \\ \vdots \\ \theta_N \end{bmatrix}, \quad |\underline{V}| = \begin{bmatrix} |V_{N_G+1}| \\ |V_{N_G+2}| \\ \vdots \\ |V_N| \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

İkinci olarak bilinmeyen açılı ve gerilim genlikleri vektörleri birleştirilerek

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \underline{\theta} \\ |\underline{V}| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_2 \\ \theta_3 \\ \vdots \\ \theta_N \\ |V_{N_G+1}| \\ |V_{N_G+2}| \\ \vdots \\ |V_N| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{N-1} \\ x_N \\ x_{N+1} \\ \vdots \\ x_{2N-N_G-1} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Şeklinde yazılabilir. (2.11) denklemini tekrar düzenlenirse

$$\begin{aligned} P_k &= P_k(\underline{x}), & k &= 2, \dots, N \\ Q_k &= Q_k(\underline{x}), & k &= N_G + 1, \dots, N \end{aligned} \quad (2.14)$$

Burada  $P_k$  ve  $Q_k$  incelenen akışlar olup (bilinen sabitler), sağ taraf elemanlar bilinmeyen  $\underline{x}$  vektörünün içindeki fonksiyonlardır. Sol taraf sağ tarafa atılırsa

$$\begin{aligned} P_k(\underline{x}) - P_k &= 0, & k &= 2, \dots, N \\ Q_k(\underline{x}) - Q_k &= 0, & k &= N_G + 1, \dots, N \end{aligned} \quad (2.15)$$

Nihai olarak  $\underline{f}(\underline{x})$  değer fonksiyonu vektörü aşağıdaki gibi tanımlanmış olur:

$$\underline{f}(\underline{x}) = \begin{bmatrix} f_1(\underline{x}) \\ \vdots \\ f_{N-1}(\underline{x}) \\ \hline f_N(\underline{x}) \\ \vdots \\ f_{2N-N_G-1}(\underline{x}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_2(\underline{x}) - P_2 \\ \vdots \\ P_N(\underline{x}) - P_N \\ \hline Q_{N_G+1}(\underline{x}) - Q_{N_G+1} \\ \vdots \\ Q_N(\underline{x}) - Q_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_N \\ \hline \Delta Q_{N_G+1} \\ \vdots \\ \Delta Q_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \hline 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} = \underline{0} \quad (2.16)$$

(2.16) nolu denklem  $\underline{f}(\underline{x}) = \underline{0}$  formunda olup, burada  $\underline{f}(\underline{x})$  is a değer fonksiyon vektörü ve  $\underline{0}$  sıfırlar vektörüdür. Her iki vektörün de boyutu  $(2N - N_G - 1) \times 1$  bilinmeyenler  $\underline{x}$  vektörü boyutuna eşittir.  $\Delta P_k$  ve  $\Delta Q_k$  vektörleri denklemde uyumsuzluk vektörü olarak tanımlanmıştır. Bu vektörler çözüm algoritması boyunca tüm iterasyonlar için en uygun çözümün elde edilmesinde kullanılacaktır.

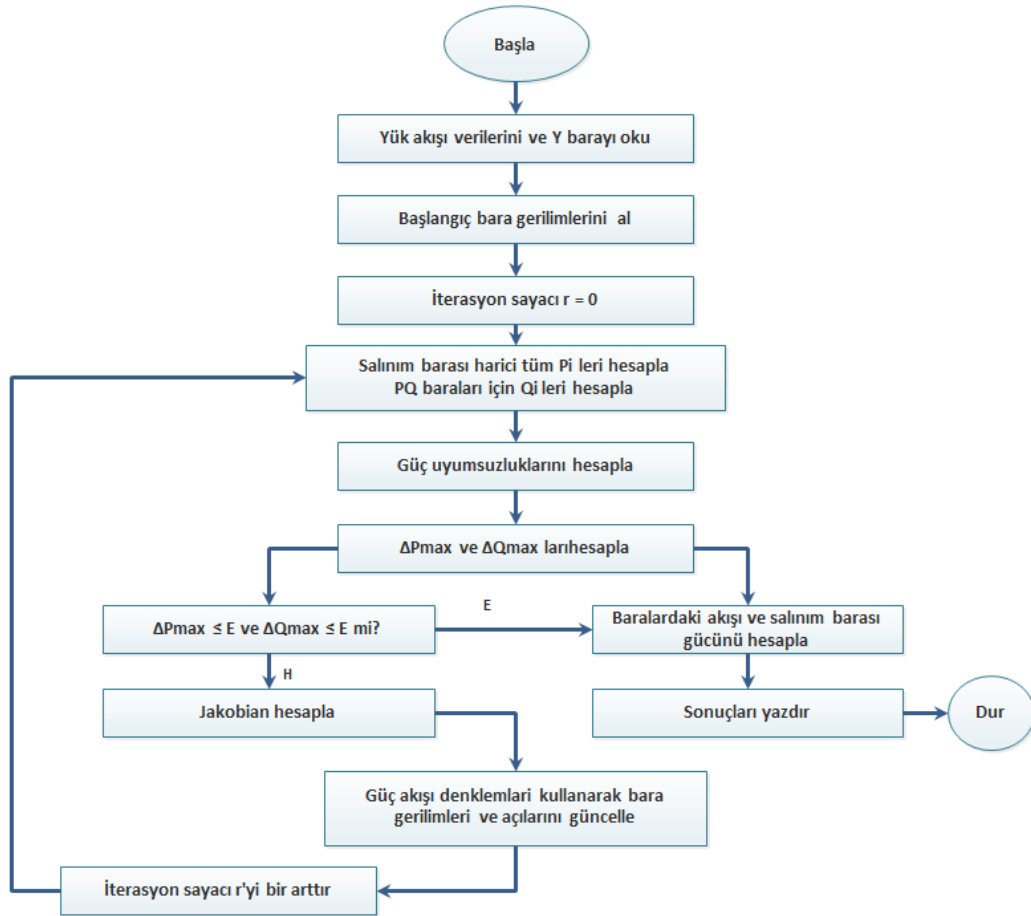
#### 2.2.2.2. Newton-Rahpson yöntemi

Güç akışın hesaplaması için Newton-Raphson yönteminin ana karakteristiği, bu yöntemin verimliliğinin bilinmeyen değişkenlerin başlangıç değerlerine bağlı olması gerçeğidir. Newton-Rahpson yönteminde ilk değerler gerçek değerlerin yakınında seçilirse, yöntem daha verimli olur ve bir düz başlangıçlı başlangıç değerleri hesaplaması tamamen tatmin edicidir [18].

Güç akışı probleminin aranan çözümüne Newton-Raphson yöntemini kullanılarak ulaşılan yinelemelerin sayısı Gauss-Seidel yönteminden daha çok düşüktür [18].

Gauss-Seidel yönteminde olduğu gibi, Newton-Rahpson'da yinelemelerin sayısı bara sayısına ve ağ topolojisine bağlı değildir.

Güç akışı analizi yöntemlerinin ana hedefleri, yöntemlerin büyük ve karmaşık gerçek güç sistemlerine uygulanabilirliği ve iterasyonların yakınsamasıdır [19]. Yakınsama hızının yüksekliği, iterasyon sayısının sistem boyutundan bağımsız olması özelliği, yakınsamanın salınım barasının seçimine bağlı olmaması ve hesaplama zamanının kısalığı gibi üstün özelliklerden dolayı güç akışı nümerik yöntemi olarak Newton-Raphson seçilmiştir.



Şekil 2.3. Newton-Rahpson Güç Akışı diagramı

## **BÖLÜM 3. OPTİMUM GÜÇ AKIŞI PROBLEMİ**

Optimal güç akışı (OGA) ilk kez 1962'de Carpentier tarafından tanıtıldı [20]. Optimal güç akışı, üretim masrafları veya kayıplar gibi tanımlanmış bir amacın optimal değerini elde etmek için bir güç şebekesindeki güç akışlarını ayarlamak için bir optimizasyon aracıdır. Sistem güvenlik limitleri içerisinde çalışırken toplam üretim maliyetlerini veya kayıplarını en aza indirmek amacıyla, güç sisteminde generatör parametreleri, bara gerilimi, trafo kademe ve şönt elemanlarının optimal ayarlarını belirler [7]. OGA'nın temel amacı, çeşitli eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarını aynı anda yerine getirirken, güç sisteminin optimal çalışma durumunu ve ekonomik işletme için kontrol değişkenlerinin ayarlarını belirlemektir [21].

### **3.1. Optimal Güç Akışı Probleminin Çözümü**

Enerji sistemleri büyüdükçe ve karmaşık bağlantılara sahip olduklarından, optimum güç akışı çalışmaları giderek önem kazanmıştır. OGA çalışmaları, sayısal optimizasyon tekniklerindeki ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak hızlı bir gelişme göstermiştir. Optimal güç akışı çalışmalarında normal güç akışı çalışmasından farklı olarak, kontrol değerleri belirli bir amaç fonksiyonunu maksimum veya minimum yapacak şekilde belirlenir [21].

Enerji sistemlerinde OGA'nın birçok uygulama alanı vardır. Bunlar, yakıt masraflarının en aza indirilmesi, optimal reaktif güç planlaması, enerji iletim kayıplarının en aza indirilmesi vb konularını kapsar.

OGA probleminin çözümü için geçmişte Quadratic Programlama, Gradient Yöntemi, Lineer Programlama (LP), Newton Yöntemi ve İç Nokta Algoritması gibi geleneksel teknikler kullanılmaktaydı [22]. OGA problemi doğrusal olmayan çok boyutlu bir

problem olduğu için, bu tekniklerle bulunan çözümler her zaman global çözüm olmayabilmektedir. Son yıllarda global optimum değeri bulabilmek için çoğunlukla Evrimsel Programlama (EP), Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Arı Kolonisi (AK) ve Karınca Kolonisi (KK) gibi sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır [23].

Normal güç akışı yapılırken, kontrol değişkenleri önceden belirlenmesi önemlidir. OGA'da ise kontrol değişkenleri, öngörülen amaç fonksiyonunu minimum veya maksimum yapacak şekilde belirlenir. Ayrıca OGA yapılırken enerji iletim sisteminin kısıtlamaları da göz önüne alınmalıdır.

### 3.2. Optimal Güç Akışı Problemin Matematiksel Denklemleri

OGA'da Belirli bir  $F(x,y)$  amaç fonksiyonunu, aşağıdaki eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarını sağlamak koşuluyla, minimum veya maksimum yapma işlemi olarak tanımlanır.

$$g(x, y) = 0 \text{ lineer olmayan, eşitlik sınırlamaları} \quad (3.1)$$

$$h(x, y) \leq 0 \text{ lineer olmayan, eşitsizlik sınırlamaları} \quad (3.2)$$

Eşitliklerdeki değişkenler ise:

$\underline{u}$ : kontrol değişkenleri

$$\underline{u} = \left[ Q_c^T \quad TC^T \quad V_G^T \quad P_G^T \right] \quad (3.3)$$

QC = tüm şönt reaktörleri tarafından sağlanan reaktif güç

TC = transformator yük kademe değiştiricisi büyüklükleri

VG = PV baraların gerilim genlikleri

PG = PV baraların üretilen aktif güç

Ve  $\underline{x}$ : durum değişkenleri

$$\underline{x} = [V_L^T \mathcal{G}^T P_{SG} Q_G^T] \quad (3.4)$$

$V_L$  = PQ baraların gerilim genlikleri; yük baraları

$\mathcal{G}$  = salınım bara haricindeki tüm baraların voltaj açıları

$P_{SG}$  = salınım baranın aktif üretme gücü

$Q_G$  = tüm generatörlerin reaktif gücü

olarak adlandırılır.

### 3.3. Amaç Fonksiyonu

OGA'nın amacı, güç akışı denklemlerini, sistem güvenliğini ve ekipman çalışma limitlerini tatmin ederek belirli bir amaç fonksiyonunu optimize eden belirli bir güç sistemi ağının optimum ayarlarını bulmaktır [24]. OGA çeşitli amaçlar doğrultusunda yapılabilir. Bu amaçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Termik generatörün saatlik yakıt giderlerin azaltılması,
2. Sistemdeki enerji iletim kayıplarının azaltılması,
3. Optimal reaktif güç dağılımının bulunması,
4. Sitemin güvenlik derecesinin artırılması,
5. Optimal gerilim dağılımının bulunması,
6. Acil durumlarda yük atmanın azaltılması,

Bu çalışmada sistemdeki enerji iletim kayıplarının azaltılması , amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

#### 3.3.1. Reaktif güç optimizasyonu

Üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinde güç optimize edilerek sistemin verimliliği arttırılabilir. Güç sistemlerinde reaktif güç; sistem kayıplarını arttırır, hat gerilim düşüşlerine yol açar, sistem kararlılığını bozar, hatların, transformatörlerin ve

generatörlerin aşırı yüklenmesine neden olur. Bu nedenlerden dolayı reaktif gücün belli bir değere ayarlanması sistem için son derece önemlidir ve reaktif güç optimizasyonu yapılarak sistem kaybı azaltılabilir.

Reaktif güç optimizasyonu, güç sistemlerinde çalışma koşullarını, güç sistemlerinde kararlılığı, güç kalitesini, güç sistemlerinin güvenilirliğini ve ekonomik işletme koşullarını belirleme yöntemlerinden biridir [8]. Sistemin reaktif gücünün sınır değerler arasında olması koşuluyla uygun bir değer seçilmesi, sistem kayıpları açısından bir azalma sağlayabilir.

Güç sistemin iletim kayıpları [21] aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$P_L = \sum P_i = \sum P_{gi} - \sum P_{di} \quad i = 1, \dots, N_b \quad (3.5)$$

Burada  $N_b$  bara sayısını gösterir.

Bu çalışmada amaç; denklem (3.5)'i minimize etmektir.

Fitness fonksiyonu ise:

$$Min.F = P_L + K_v \sum_{i=1}^{N_{PQ}} (V_i - V_i^{lim})^2 + K_q \sum_{i=1}^{N_g} (Q_{gi} - Q_{gi}^{lim})^2 + K_f \sum_{l=1}^{N_l} (s_l - s_l^{lim})^2 \quad (3.6)$$

Burada,  $K_v$ ,  $K_q$  ve  $K_f$ , bara voltaj sınır ihlali, generatör reaktif güç sınırı ihlali, hat akış ihlali için penalti faktörleridir.

### 3.4. Kısıtlamalar

OGA için kontrol değişkenleri şunları içerir: tüm generatörlerin aktif güçleri, generatör bara gerilimleri, trafo kademe pozisyonları ve değiştirilebilir şönt reaktörleri [21]. OGA kısıtlamaları eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarına ayrılmıştır. Eşitlik kısıtlamaları güç / reaktif güç eşitlikleri, eşitsizlik kısıtlamaları arasında bara

gerilim kısıtlamaları, generatör reaktif güç kısıtlamaları, reaktif kaynak reaktif güç kapasitesi kısıtlamaları, trafo kademe kısıtlamaları ve benzeri sayılabilir. Dolayısıyla, yukarıdaki amaç fonksiyonu aşağıdaki sınırlamalara tabidir.

#### 3.4.1. Eşitlik sınır denklemleri

OGA'nın eşitlik kısıtlamaları, güç sisteminin fiziğini yansıtmaktadır. Güç sisteminin fiziği, her bir baranın gerçek ve reaktif gücün net enjeksiyonunun sıfır olmasını gerektiren güç akışı denklemleri ile yerine getirilir.

$$P_{GK} - P_{DK} = \sum_{j=1}^N |V_k| |V_j| (G_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j) + B_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j)) \quad (3.7)$$

$$Q_{GK} - Q_{DK} = \sum_{j=1}^N |V_k| |V_j| (G_{kj} \sin(\theta_k - \theta_j) - B_{kj} \cos(\theta_k - \theta_j)) \quad (3.8)$$

#### 3.4.2. Eşitsizlik sınır denklemleri

OGA'nın eşitsizlik kısıtlamaları, sistemin güvenliğini sağlamak için oluşturulan sınırların yanı sıra güç sistemindeki fiziksel aygıtlar üzerindeki sınırları da yansıtmaktadır.

1. Bara gerilim genliği kısıtlamaları: Yük hem de üretim voltaj baraları alt ve üst limitlerle sınırlandırılmıştır.

$$V_{i-\min} \leq V_i \leq V_{i-\max} \quad (3.9)$$

2. Tüm birimler için aktif güç üretimin kısıtlamaları: Kararlı güç akışı için aktif güç üretimin kısıtlamaları veya üretim kapasite kısıtlamaları dâhil edilmiştir. Bu, her bir generatörün aktif güç çıkışının aşağıdaki gibi alt ve üst sınırlarla sınırlandırıldığı anlamına gelir.



$$P_{gi-\min} \leq P_{gi} \leq P_{gi-\max} \quad i=1:N_G \quad (3.10)$$

burada,

$P_{gi} = i^{\text{th}}$  generatör tarafından üretilen MW birimi

$P_{gi-\max} = i^{\text{th}}$  generatör tarafından belirlenen maksimum MW üretimi

$P_{gi-\min} = i^{\text{th}}$  generatör tarafından belirtilen minimum MW üretimi

3. Tüm Birimlerin Reaktif Güç Üretim Kısıtlamaları: Bir elektrik sistemindeki her bir generatör tarafından üretilen reaktif güç sınırlandırılmıştır. Alt ve üst sınırlar ile aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi.

$$Q_{Gi-\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi-\max} \quad i=1:N_G \quad (3.11)$$

4. Transformatör kademe pozisyonun kısıtlamaları: Yük kademe değiştirme transformatörleri, ayarlanabilen akan denkleme gösterilen maksimum ve minimum kademe oranına sahiptir. Yük kademe değiştiricisinin büyüklüğü, ayrı bir değişkendir çünkü kademe belirli bir artışla değişmektedir. Bu artış, belirtilen transformatörün boyutuna bağlıdır.

$$T_{i-\min} \leq T_i \leq T_{i-\max}$$

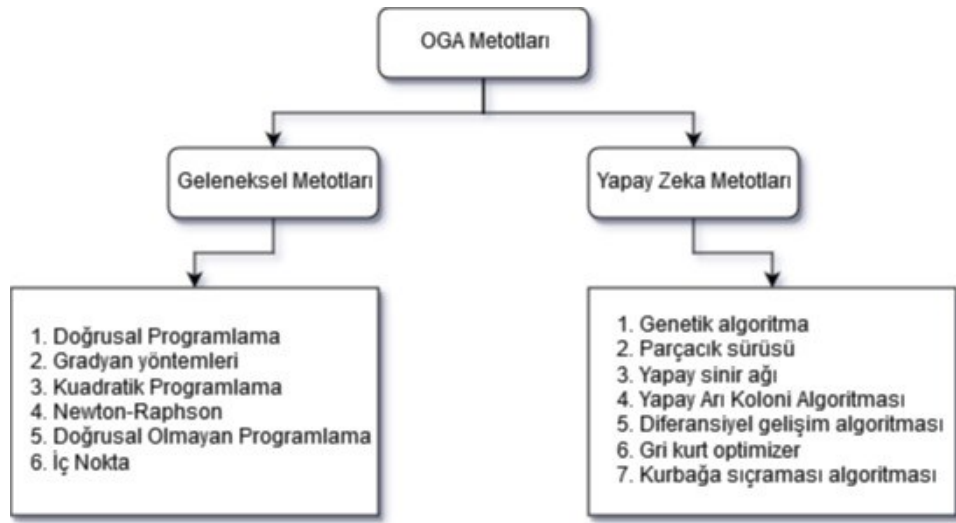
$$i \in N_T$$

$$T_i = T_{i-\min} + N_{Ti} * \Delta T_i$$

(3.12)

## BÖLÜM 4. YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ

Optimum güç akışın çözüm yöntemleri, iki kategoriye ayrılır: Geleneksel yöntemleri ve Yapay Zekâ tabanlı yöntemleri [23].



Şekil 4.1. OGA Metotları

### 4.1. Geleneksel Yöntemleri

Geleneksel yöntemlere deterministik optimizasyon yöntemleri denir. Bu yöntemlerin uygulanması son zamanlarda aktif bir araştırma alanı olmuştur. Geleneksel yöntemler, matematiksel programlama yaklaşımlarına dayanır ve farklı boyutlarda OGA problemlerini çözmek için kullanılır [25]. Farklı amaç fonksiyonlarının gerekliliklerini, uygulama türlerini ve kısıtlamaların doğasını karşılamak için, geleneksel yöntemleri aşağıdaki bölümlere ayrılmıştır:

1. Doğrusal Programlama
2. Gradyan yöntemleri
3. Kuadratik Programlama

4. Newton-Raphson
5. Doğrusal Olmayan Programlama
6. İç Nokta

Geleneksel yöntemlerde mükemmel ilerlemeler yapılmış olsa da, aşağıdaki dezavantajlardan muzdariptirler:

1. Gerekli doğrusallaştırma
2. Gerekli türevlenebilirlik
3. Yerel optimumda sıkışması
4. Zayıf yakınsama
5. Nitel kısıtlamaları ele almada zayıf
6. Değişkenlerin sayısı büyük olduğunda çok yavaş çalışması
7. Tek bir simülasyon çalışmasında yalnızca tek bir optimize edilmiş çözüm bulunabilmesi

#### 4.2. Yapay Zekâ Yöntemleri

Yapay zekâ algoritmalar, herhangi bir amacı gerçekleştirmek veya hedefe varmak için doğal fenomenlerden esinlenen algoritmalar. Bu algoritmaların, çözüm uzayında optimum çözüme yakınsaması ispat edilememektedir. Yani yapay zekâ algoritmalar yakınsama özelliğine sahip olmaktadır, ama kesin çözümü garanti edememektedir ve bu kesin çözümün yakınlarında bir çözüm garanti edebilmektedir [23].

Anlaşılabilirlik yönünden sezgisel algoritmaların karar verici açısından çok daha basit olabilmesinden, optimizasyon problemlerinin kesin çözümü bulma işleminin tanımlanamadığı bir yapıya sahip olmasından ve öğrenme amaçlı ve kesin çözümü bulma işleminin bir parçası olarak kullanılabilirliğinden sezgisel algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır [26].

Akıllı arama, küresel veya küresel optimal çözüm bulmada çok önemli bir teknik haline geldi. Ayrıca, bu yöntemlere deterministik olmayan veya stokastik yöntemi denir. Yapay zekâ yöntemlerin başlıca avantajları şunlardır:

1. Çeşitli nitel kısıtlamaları üstesinden alabilme
2. Tek simülasyon çalışmasında birden çok optimal çözümü bulabilme
3. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünde uygun olma
4. Küresel optimum çözüm bulabilme

Birçok geleneksel deterministik optimizasyon algoritmasının zayıf küresel arama yeteneklerini aşmak için, deterministik olmayan optimizasyon yöntemlerinin sayısı geliştirilmiştir ve küresel optimizasyon problemlerine uygulanmıştır. Bu tekniklerden birçoğu OGA problemlerine de uygulanmıştır, örneğin:

1. Genetik algoritma
2. Parçacık sürüsü
3. Yapay sinir ağı
4. Yapay Arı Koloni Algoritması
5. Diferansiyel gelişim algoritması
6. Gri kurt optimizer
7. Kurbağa sıçraması algoritması

Bu tezde kullanılan algoritmalar sırayla ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

#### **4.2.1. Genetik algoritması (GA)**

Doğal evrim sürecinin taklit edilerek evrimsel algoritmalar geliştirilmiştir. Bu yöntemler gerçek hayatta karşılaşılan problemlere uygulandığında iyi sonuçlar vermekteler. Genetik algoritması, evrimsel programlama ve evrimsel stratejiler grubuna girer. Genetik Algoritması en yaygın kullanılan yöntemidir [27]. Genetik Algoritması Michigan Üniversitesi'nde J.Holland, asistanları ve öğrencileri

tarafından geliştirilmiş bir algoritmadır. Holland ve öğrencisi olan D.Goldberg GA'ya ait ilk çalışmaları yapmışlardır [28].

Genel olarak GA uygun bir çözüm kümesindeki rasgele çözümlerin oluşturduğu ilk başlangıç toplumu ile arama yapmaya başlar. Başlangıç toplumu içerisindeki her çözüm, optimizasyon problemi için de bir çözüm olasılığı oluşturmuş olur ve birey adını alır. Genetik Algoritması doğal seçim mekaniğine ve doğal genetiğe bağlı araştırma algoritmasıdır. Araştırma işlemi, canlıların biyolojik gelişimine benzemektedir. Canlılar doğarlar ve üreyerek yeni nesiller yetiştirirler. Doğal seçim mekaniğine bağlı olarak canlı grubu arasında yapısı bakımından en uygun olan birey hayatta kalmaktadır. Her yeni nesil rasgele bilgi değişimi ile oluşturulan diziler içinden hayatta kalanların birleştirilmesi ile elde edilmektedir [26].

#### **4.2.1.1. GA prosedürü**

GA yöntemi ile optimizasyonun ana aşamaları aşağıda özetlenmiştir [4].

Adım 1: Başlangıç: Popülasyondaki tüm N kromozomların her bir değişkeni rastgele olarak ayarlanır. Bu işlem, sonuç olarak kromozomları rastgele sorunlu alanlara yayar.

Adım 2: Değerlendirme: Her kromozom, verilen amaç fonksiyona (veya bir uygunluk fonksiyonuna) göre dekode edilir ve değerlendirilir. Fitness değeri bir kromozomun kendi çevresi içinde başarabildiği başarı derecesini yansıtır.

Adım 3: Seçim: Kromozomlar, kendi kondisyon değerlerine dayanarak, sonraki generasyonun popülasyonu oluşturmak için stokastik olarak seçilir. Sonuç olarak, yeni popülasyonda daha iyi kromozomların daha fazla kopyası olacaktır.

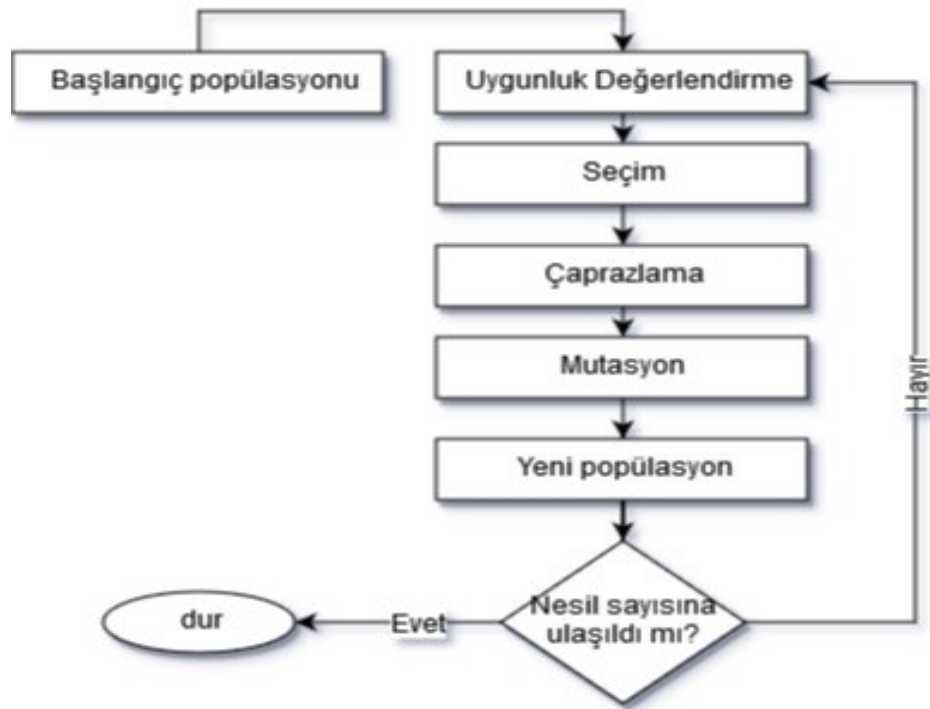
Adım 4: Çaprazlama: Yeni üretilen popülasyondaki kromozom çiftleri çaprazlama işlemine tabidir. Çapraz operatörü, rastgele seçilen alanlar

arasında kromozom çiftinin genetik materyalini değiştirerek yeni kromozomlar üretir. Doğal yetiştirme sürecine benzer şekilde, yeni üretilen kromozomlar ebeveynlerinden daha iyi veya daha kötü olabilir. Sonraki seçim sürecinde test edilecekler ve yalnızca gelişme gösteren olanlar başarılı olacak.

Adım 5: Mutasyon: Çapraz işleminden sonra, tüm kromozomların her bir değişkeni mutasyona tabi olur. Mutasyon, değişken değerlerini çevirir ve gen havuzuna yeni genetik materyal getirir. Bu işlem, tüm popülasyonun bir kromozomun tek bir örneğine yaklaşmasını önlemek için önemlidir, çünkü çaprazlama işlemi böyle durumlarda etkisiz kalır.

Adım 6: Sonlandırma: Genetik algoritmalar, önceden tanımlanmış nesiller veya belirli bir nesil için kalite iyileştirmesi başarısız olduğunda belirli bir sonlandırma kriterine ulaşılana kadar Adım 2'den Adım 5'e tekrar eder. Sonlandırıldığında, algoritma bulduğu en iyi kromozomu (veya çözümlü) verir.

GA işleyeşi Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Genetik Algoritması

#### 4.2.2. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO)

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), J. Kennedy ve R.C Eberhart tarafından 1995 yılında tasarlanan sezgisel bir yöntemdir; kuşların davranışlarından esinlenen sürü tabanlı ve doğrusal olmayan problemleri çözmek için kullanılır [29]. PSO'nun, genetik algoritması gibi evrimsel hesaplama teknikleriyle birçok benzerliği vardır. Sistem, rastgele çözümleri içeren bir popülasyonla başlatılır ve en optimum çözümü bulmak için nesilleri güncelleyerek araştırır. Kuşların uzayda, yerini bilmedikleri yiyeceği aramaları, bir probleme çözüm aramaya benzetilir. Kuşlar yiyecek ararlarken, yiyeceklere en yakın kuşu izlerler. Parçacık olarak adlandırılan her tekil çözüm, arama uzayındaki bir kuştur. Parçacık hareket ettiğinde, koordinatlarını bir işleve gönderir, böylece parçacığın uygunluk değeri ölçülür. Her bir parçacık, koordinatlarını, hızını (çözüm alanının her boyutunda ne kadar hızlı ilerlediğini), şimdiye kadar elde ettiği en iyi fitness değerini ve elde ettiği koordinatları hatırlamalıdır. Çözüm alanının her boyutunda, her seferinde değişen çözüm hızı ve yönü, komşularının en iyi koordinatlarının ve kendi en iyi kişisel koordinatlarının birleşimi olacaktır [27].

#### 4.2.2.1. PSO algoritmanın formülasyonu

Adım 1: Başlangıç: Her parçacığın başlangıç popülasyonu ve hızı genellikle üst ve alt limit sınırları içinde rasgele oluşturulur. Mevcut popülasyon her parçacık için  $pbest$  olarak ayarlanır. Fitness fonksiyonundan elde edilen en iyi  $pbest$  değerini  $gbest$  olarak ayarlar ve en iyi değeri olan parçacık numarasını depolar.

Adım 2: Parçacık Değiştirme: Her Parçacığın güncel konumu aşağıdaki denklemi kullanılarak değiştirilir.

$$V_i^{k+1} = wV_i^k + c_1rand_1 * (pbest_i - s_i^k) + c_2rand_2 * (gbest - s_i^k) \quad (4.1)$$

Burada  $V_i$ , cari iterasyonun hızıdır,  $C1$  ve  $C2$  hızlanma katsayılarıdır,  $rand_1$  ve  $rand_2$ ,  $[0,1]$  aralığında ayrı ayrı üretilen rastgele iki sayıdır,  $w$  aşağıdaki yaklaşım olarak tanımlanan ağırlık parametresidir.

$$w = w_{\max} - \left( \frac{w_{\max} - w_{\min}}{iter_{\max}} \right) * iter \quad (4.2)$$

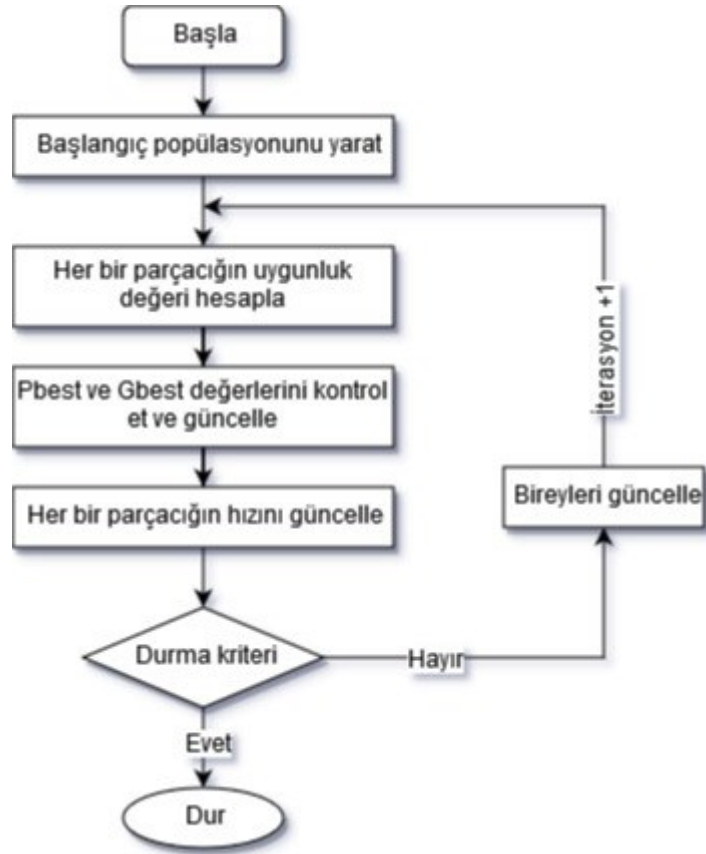
Ve popülasyon aşağıdaki denklemi kullanılarak güncellenmektedir.

$$S_i^{k+1} = S_i^k + V_i^{k+1} \quad (4.3)$$

Adım 3: Değerlendirme: Her bir parçacık için uygunluk fonksiyonu değeri hesaplanır. Değer parçacığın mevcut  $pbest$ 'inden daha iyi ise,  $pbest$  değeri güncel değer ile değiştirilir.  $Pbest$ 'in en iyi değeri şimdiki  $gbest$ 'den daha iyiyse,  $gbest$  en iyi değerle değiştirilir ve en iyi değeri olan parçacık numarası saklanır.

Adım 4: Sonlandırma: Döngü belirlenmiş maksimum sayısına ulaşırsa, işlem sonlandırır. Aksi takdirde, 2. adıma geçer.





Şekil 4.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu

#### 4.2.3. Yapay arı koloni algoritması (YAKA)

Yapay arı koloni algoritması (YAKA), D. Karaboga tarafından 2005 yılında geliştirildi. O zamandan beri, Karaboga ve Basturk sistematik olarak, sınırlanmamış optimizasyon problemleri ve kısıtlanmamış optimizasyona ilişkin YAKA algoritmasının performansını inceledi. YAKA algoritmasında, bir kolonideki arılar üç gruba ayrılır: çalışan arıları, gözcü arıları ve keşif arılar [27].

Her bir gıda kaynağı için yalnızca bir çalışan arı vardır. Yani, çalışan arıların sayısı gıda kaynakları sayısına eşittir. Eş zamanlı olarak gözcü arılar da başka kaynaklara gönderilerek nektar miktarları hesaplanır. Daha sonra rasgele yeni kaynaklar bulmaları için keşif arılar gönderilir. Çalışan arılar, gözcü arılarıyla arıların kovanında bilgi paylaşarak, çalışan arıların yemlenmesi için bir gıda kaynağı seçebilmelerini sağlar.

#### 4.2.3.1. YAKA prosedür

Aşağıdaki adımlar, YAKA algoritmasında durma kriteri sağlanıncaya kadar uygulanmaktadır [3].

Adım 1: Başlangıç: İlk popülasyon sezgisel yöntemlerde çok önemlidir ve farklı yollarla üretilebilir. Bunlardan biri rasgele üretilmektedir ve bu çalışmada kullanılmıştır. Algoritmanın ilk popülasyonu, aşağıdaki denkleme göre sınırları dahilinde üretilir:

$$u_{ij} = u_{\min i,j} + rand \times (u_{\max,j} - u_{\min,j}) \quad (4.4)$$

burada  $u_{\min,j}$  ve  $u_{\max,j}$  değişkeninin minimum ve maksimum değerini temsil eder.  $Rand$  değeri 0 ile 1 arasında bir rasgele sayıdır.

Adım 2: Çalışan Arıları: Çalışan arıları aşağıdaki denkleme göre ve popülasyondaki arıların bilgisini kullanılarak üretilir. Çalışan arılarının özelliği, daha önce keşfedilen kaynaklardan yararlanarak üretilmesidir.

$$v_{ij} = u_{ij} + \varphi_{ij} (u_{ij} - u_{kj}) \quad i \neq k \quad (4.5)$$

Burada  $k$  ve  $j$  rastgele seçilmiş indislerdir ve  $\varphi$ ,  $[-1, 1]$  arasındaki rastgele bir sayıdır. Güncelleme işlemi bittikten sonra yeni çözüm  $v_{ij}$ ,  $u_{ij}$  ile karşılaştırılır. Yeni çözümün  $v_{ij}$ ,  $u_{ij}$  ile eşit veya daha iyi bir kaliteye sahip olması durumunda referans kaynağı yeni çözüm ile değiştirilir. Aksi takdirde, referans çözümü korunur. Buna aç gözlü seçim süreci denir.

Adım 3: Gözcü Arıları: Gözcü arıları, çalışan arıları arasından rulet seçim yöntemiyle belirlenen arılar çevresinde belirli aralıklarla yerel arama yaparak üretilir. Üretilen bakıcı arıların bulunduğu kaynak, çalışan arılarının tespit ettiği arıdan daha iyiye, gözcü arısı çalışan arısı olarak atanır. Sonra taban değeri

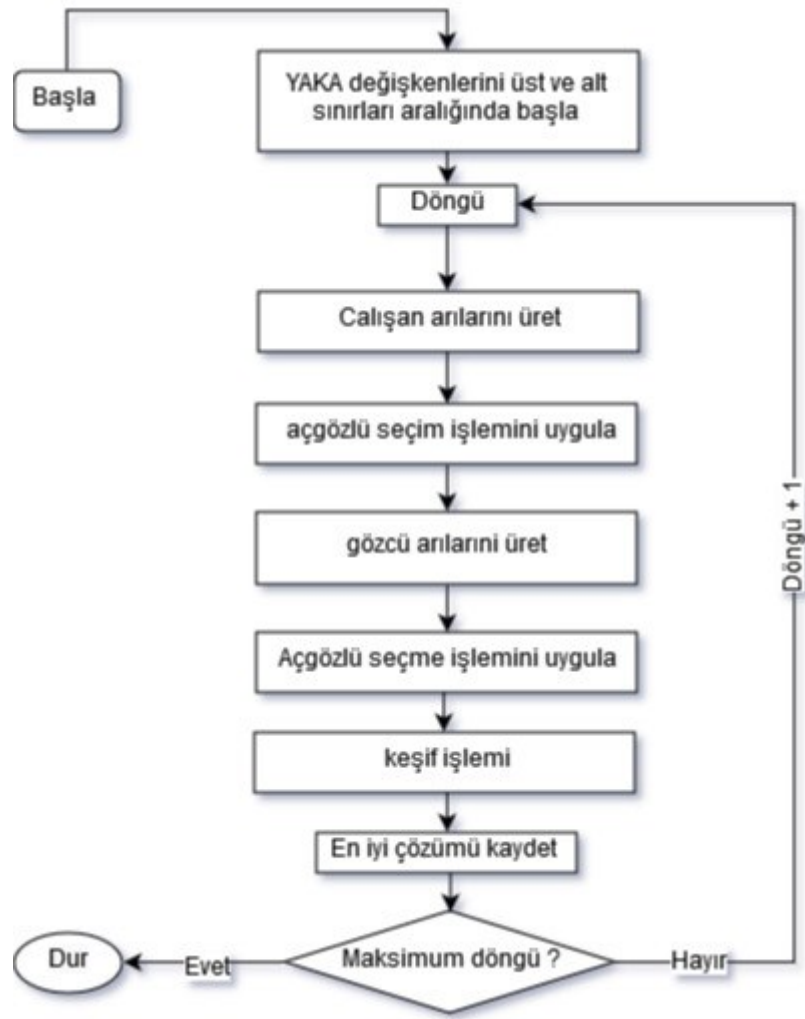
bir arttırılır. Bir arının popülasyondaki verimliliği aşağıdaki eşitlik ile belirlenir. Rulet yönteminde, yüksek verimliliği olan arının, seçilme olasılığı yüksektir.

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{k=1}^{SN} fit_k} \quad (4.6)$$

burada,  $SN$  artırılmış arı sayısına eşit olan gıda kaynakları sayısıdır,  $fit_i$ ,  $i$  pozisyonundaki gıda kaynağının nektar miktarıyla orantılı olan  $i$ . çözümün değiştirilmiş uygunluk değeri olup aşağıdaki şekilde verilir;

$$fit_i = \begin{cases} \frac{1}{1 + F_i} & \text{if } F_i \geq 0 \\ 1 + |F_i| & \text{if } F_i < 0 \end{cases} \quad (4.7)$$

Adım 4: Keşif Arıları: Keşif aşamasında, eğer gözcülerin ve çalışan arılarının önceden belirlenmiş sayıda döngü sırasında gıda kaynağının konumunu iyileştirmesi mümkün değilse, o zaman bu gıda kaynağının terk edilmiş olduğu ve karşılık gelen çalışan arılar keşif arısı haline geldiği varsayılır. Bu keşif arısı rastgele, başlatma denklemini kullanarak terk edilmiş olanları değiştirmek için yeni bir gıda kaynağı bulmaya çalışıyor. "Sınır", çözümlenecek problemin boyutuna ve koloni boyutun yarısına dayandırılarak, önceden belirlenmiş sayıda döngüden oluşan bir değerdir.



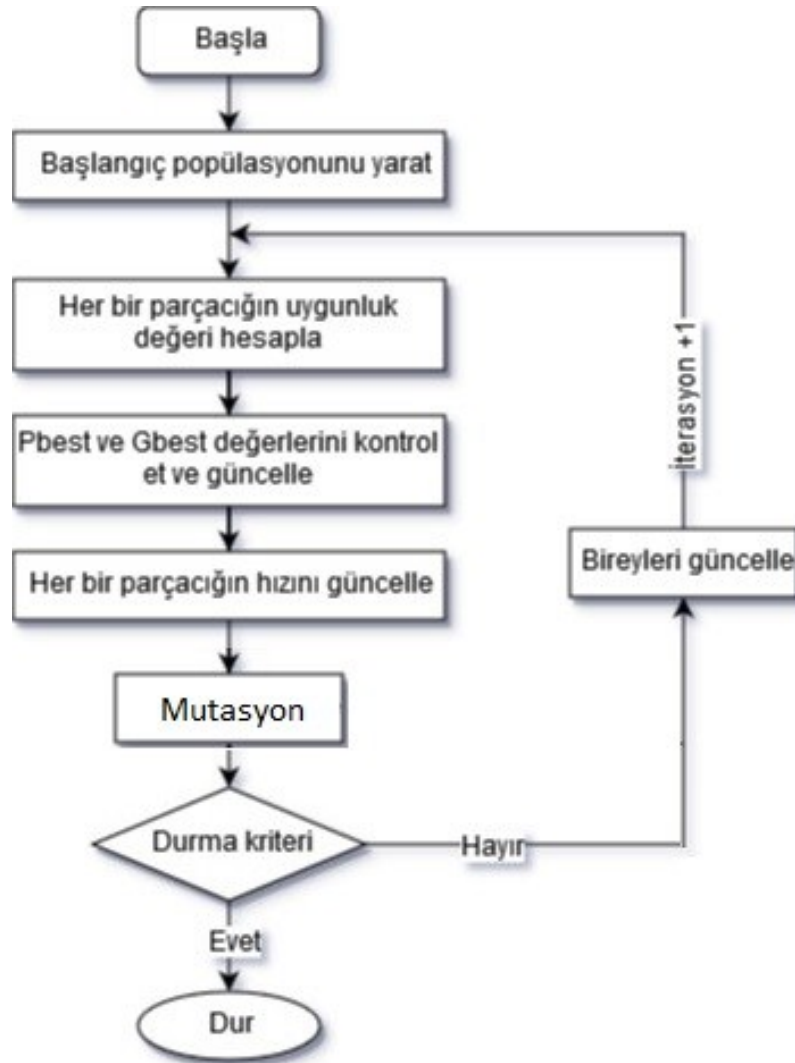
Şekil 4.4. Yapay Arı Koloni Algoritması

#### 4.2.4. Hibrit parçacık sürü optimizasyon mutasyon (HPSOM)

PSO algoritmasının ana amacı kuşların gıda arama davranışlarına dayanır. PSO'da kuşlar, yönlerini belirlemek için küresel düzeyde bilgi düşünüyorlar. Bu nedenle, her yinelemede yerel ve global en iyi konumlar hesaplanır. Konum bulduktan sonra onu kuşlar takip eder ve böylece yeni arama yönleri bulurlar.

HPSOM PSO'da daha sağlam hale getiren bazı değişiklikler getirdi. Bu değişikliklerde Genetik Algoritma'nın mutasyon süreci noval PSO algoritması ile birleştirilir. Bu süreç, aramayı yerel optima'dan kaçmasına ve arama alanının farklı bölgelerinde arama yapmasına izin verir [30].

HPSOM'de prosedür aynı PSO gibi olur, tek farkı değerlendirme aşamının sonrasında GA'nın mutasyon süreci eklenir. Aşağıdaki akış diagramında gösterildiği gibi.



Şekil 4.5. Hybrid Parçacık Sürü Optimizasyonu Mutasyon

## BÖLÜM 5. OPTİMUM REAKTİF GÜÇ DAĞITIMINI SAĞLAYACAK JAVA TABANLI GÜÇ AKIŞI ANALİZÖRÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ

### 5.1. Java Tabanlı Optimum Güç Akışı

JPOWER, elektrik güç akışını ve optimum güç akışı problemlerini çözmek için bir MATPOWER portu olan java yazılımının bir paketidir ve bu tezde güç akışının eşitlik kısıtlamalarını yerine getirmek için kullanılmaktadır. MATPOWER, PowerWeb projelerinin hesaplama gereksinimlerini karşılamak için Ray D.Zimmerman, Carlos E. Murillo-Sánchez ve Deqiang Gan tarafından geliştirilen MATLAB M-dosyalarının paketidir [31]. MATPOWER açık kaynaklı bir Matlab tabanlı güç sistemi simülasyon paketidir. AC ve DC güç akışı ve optimal güç akışı (OGA) simülasyonları için araştırma ve eğitim alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Güç akışı problemi, Newton Raphson, Gauss seidel ve hızlı ayrıştırma yöntemleri ile farklı IEEE modellerine uygulamaktadır.

JPOWER'de standart güç akışı veya yük akışı problemi, belirli bir yük ve üretim kalıbına karşılık gelen ağdaki gerilim ve akış setini çözmeyi içerir. JPOWER hem AC hem de DC güç akışı problemleri için çözümler içerir, her ikisi de bilinmeyen gerilim miktarlarının fonksiyonları olarak nodal güç denge denklemlerinin bir alt kümesini ifade ederek oluşturulan

$$g(x) = 0 \tag{5.1}$$

formundaki denklem setini çözmeyi içerir .

Optimizasyonda kullanılan bazı JPOWER fonksiyonları aşağıda sunulmuştur:

### 5.1.1. LoadCase fonksiyonu

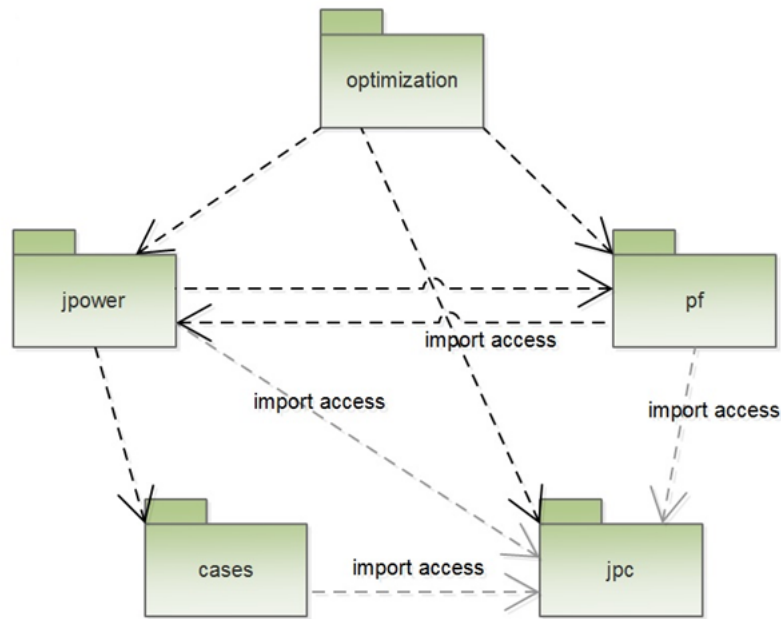
LoadCase() fonksiyonu, yapı (struct) bilgilerinden model bilgilerini yükleyebilir. Aktarılan bilgiler üzerinde güç akışı yayılır. Kullanıcılar, gerektiğinde yapı bilgilerini değiştirerek ağ yapısını değiştirebilir. Loadcase'in standart kullanımı:

$$jpc = loadcase(casefile) \quad (5.2)$$

### 5.1.2. Runpf fonksiyonu

Runpf() fonksiyonu elektrik sistemin güç akışını hesaplamak için kullanılır. Varsayılan olarak, runpf AC güç akışı modunda çalışır ve güç akışını hesaplamak için Newton-Raphson yöntemini kullanır. Runpf'nin standart kullanımı:

$$results = runpf(casedata) \quad (5.3)$$



Şekil 5.1. JPOWER paket ilişkileri

### 5.1.3. Generatör bilgilerin standart formu

JPOWER’de generatörün standart formu ve kullanılan parameterler [gen\_bus, Pg, Qg, Qmax, Qmin, Vg, Mbase, status, Pmax, Pmin, pc1, pc2, qc1min, qc1max, qc2min, qc2max, ramp\_agc, ramp\_10, ramp\_30, ramp\_q, apf] dir. Bazı önemli parametrelerin anlamları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.1. IEEE 14 baranın generatör parametreleri

Parametre	Anlam
gen_bus	bara numara
Pg	reel güç(MW)
Qg	reaktif güç (MVAr)
Qmax	maksimum reaktif güç (MVAr)
Qmin	minimum reaktif güç (MVAr)
Vg	gerilim genlikleri ayar noktası
Mbase	toplam MVA
Status	durum
Pmax	maksimum gerçek güç (MW)
Pmin	minimum gerçek güç (MW)

JPOWER’de IEEE 14 baranın generatör verileri aşağıdaki yapıda göstermiştir.

```

/* generator data */
// bus Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin Pc1 Pc2 Qc1min Qc1max Qc2min Qc2max ramp_ag
jpc.gen = Gen.fromMatrix( DoubleFactory2D.dense.make(new double[][] {
    {1, 232.4, -16.9, 10, 0, 1.06, 100, 1, 332.4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {2, 40, 42.4, 50, -40, 1.045, 100, 1, 140, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {3, 0, 23.4, 40, 0, 1.01, 100, 1, 100, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {6, 0, 12.2, 24, -6, 1.07, 100, 1, 100, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
    {8, 0, 17.4, 24, -6, 1.09, 100, 1, 100, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
}));

```

Şekil 5.2. IEEE 14 baranın generatör verileri

### 5.1.4. İletim hattı bilgilerin standart formu

JPOWER’de iletim hattın standart formu ve kullanılan parametreler [f\_bus, t\_bus, br\_r, br\_x, br\_b, rate\_a, rate\_b, rate\_c, ratio, angle, angmin, angmax]dir. Bazı önemli parametrelerin anlamları aşağıdaki tabloda verilmiştir.



Tablo 5.2. IEEE 14 baranın iletim hattı parametreleri

Parameter	Anlam
f_bus	baradan
t_bus	baraya
br_r	direnç (p.u.)
br_x	reaktans (p.u.)
br_b	toplam hat şarjı hassasiyeti (p.u.)
rate_a	MVA derecelendirmesi A (uzun vadeli derecelendirmesi)
rate_b	MVA derecelendirme B (kısa vadeli derecelendirmesi)
rate_c	MVA derece C (acil durum derecelendirmesi)
ratio	trafo dönüş oranı (hatlar için = 0)
angle	trafo faz kayma açısı (derece)
angmin	minimum açı farkı
angmax	maksimum açı farkı

JPOWER'de IEEE 14 baranın iletim hattı verileri aşağıdaki yapıda göstermiştir.

```

/* branch data */
// fbus  tbus  r  x  b  rateA  rateB  rateC  ratio  angle  status  angmin  angmax
jpc.branch = Branch.fromMatrix( DoubleFactory2D.dense.make(new double[][] {
{1, 2, 0.01938, 0.05917, 0.0528, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{1, 5, 0.05403, 0.22304, 0.0492, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{2, 3, 0.04699, 0.19797, 0.0438, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{2, 4, 0.05811, 0.17632, 0.034, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{2, 5, 0.05695, 0.17388, 0.0346, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{3, 4, 0.06701, 0.17103, 0.0128, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{4, 5, 0.01335, 0.04211, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{4, 7, 0, 0.20912, 0, 0, 0, 0, 0.978, 0, 1, -360, 360},
{4, 9, 0, 0.55618, 0, 0, 0, 0, 0.969, 0, 1, -360, 360},
{5, 6, 0, 0.25202, 0, 0, 0, 0, 0.932, 0, 1, -360, 360},
{6, 11, 0.09498, 0.1989, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{6, 12, 0.12291, 0.25581, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{6, 13, 0.06615, 0.13027, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{7, 8, 0, 0.17615, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{7, 9, 0, 0.11001, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{9, 10, 0.03181, 0.0845, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{9, 14, 0.12711, 0.27038, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{10,11, 0.08205, 0.19207, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{12,13, 0.22092, 0.19988, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
{13,14, 0.17093, 0.34802, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, -360, 360},
}));

```

Şekil 5.3. IEEE 14 baranın iletim hattı verileri

### 5.1.5. Bara bilgilerin standart formu

JPOWER’de bara standart formu ve kullanılan parametreler [bus\_i, bus\_type, Pd, Qd, gs, bs, area, Vm, Va, base\_kv, zone, Vmax, Vmin] dir. Bazı önemli parametrelerin anlamları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.3. IEEE 14 baranın bara parametreleri

Parameter	Anlam
bus_i	bara numara
bus_type	bara tipi
Pd	reel güç talebi
Qd	reaktif güç talebi
gs	şönt iletkenlik
bs	şönt sızdırmazlığı
area	alan numarası
Vm	gerilim büyüklüğü (p.u.)
Va	voltaj açısı (derece)
base_kv	taban voltajı (kV)
zone	bölge
Vmax	maksimum gerilim genlikleri (p.u.)
Vmin	minimum gerilim genlikleri (p.u.)

JPOWER’de IEEE 14 baranın bara verileri aşağıdaki yapıda göstermiştir.

```

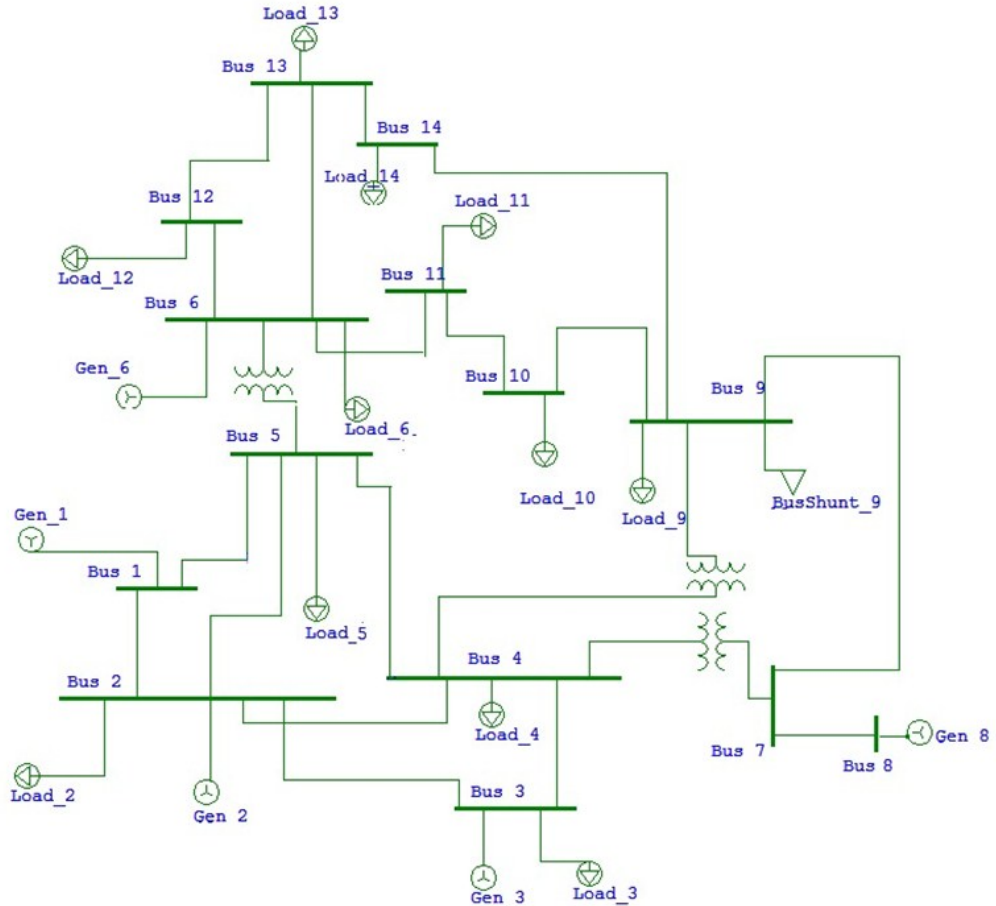
/* bus data */
// bus_i  type  Pd  Qd  Gs  Bs  area  Vm  Va  baseKV  zone  Vmax  Vmin
jpc.bus = Bus.fromMatrix( DoubleFactory2D.dense.make(new double[][] {
{1, 3, 0, 0, 0, 0, 1, 1.06, 0, 0, 1, 1.06, 0.94},
{2, 2, 21.7, 12.7, 0, 0, 1, 1.045, -4.98, 0, 1, 1.06, 0.94},
{3, 2, 94.2, 19, 0, 0, 1, 1.01, -12.72, 0, 1, 1.06, 0.94},
{4, 1, 47.8, -3.9, 0, 0, 1, 1.019, -10.33, 0, 1, 1.06, 0.94},
{5, 1, 7.6, 1.6, 0, 0, 1, 1.02, -8.78, 0, 1, 1.06, 0.94},
{6, 2, 11.2, 7.5, 0, 0, 1, 1.07, -14.22, 0, 1, 1.06, 0.94},
{7, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1.062, -13.37, 0, 1, 1.06, 0.94},
{8, 2, 0, 0, 0, 0, 1, 1.09, -13.36, 0, 1, 1.06, 0.94},
{9, 1, 29.5, 16.6, 0, 19, 1, 1.056, -14.94, 0, 1, 1.06, 0.94},
{10,1, 9, 5.8, 0, 0, 1, 1.051, -15.1, 0, 1, 1.06, 0.94},
{11,1, 3.5, 1.8, 0, 0, 1, 1.057, -14.79, 0, 1, 1.06, 0.94},
{12,1, 6.1, 1.6, 0, 0, 1, 1.055, -15.07, 0, 1, 1.06, 0.94},
{13,1, 13.5, 5.8, 0, 0, 1, 1.05, -15.16, 0, 1, 1.06, 0.94},
{14,1, 14.9, 5, 0, 0, 1, 1.036, -16.04, 0, 1, 1.06, 0.94},
}) );

```

Şekil 5.4. IEEE 14 baranın bara verileri

## 5.2. IEEE 14 Bara Sistemi

IEEE 14 Bara Sistemi, 14 bara, 5 generatör ve 11 yükten oluşur,



Şekil 5.5. IEEE 14 bara sistemi

- Yük parametreleri:

Tablo 5.4. IEEE 14 baranın yük parametreleri

Bara_Num	P(MW)	Q(MVAr)
2	21.7	12.7
3	94.2	19
4	47.8	-3.9
5	7.6	1.6
6	11.2	7.5
9	29.5	16.6
10	9	5.8
11	3.5	1.8
12	6.1	1.6
13	13.5	5.8
14	14.9	5

- Generatör parametreleri:

Tablo 5.5. IEEE 14 baranın generatör parametreleri

Generator	Bus_Num	P(MW)	Q(MVAr)	Qmax	Qmin	Voltage (p.u)
1	1	232.4	-16.9	10	0	1.06
2	2	40	42.4	50	-40	1.045
3	3	0	23.4	40	0	1.01
4	6	0	12.2	24	-6	1.07
5	8	0	17.4	24	-6	1.09

- İletim hattı parametreleri

Tablo 5.6. IEEE 14 baranın iletim hattı parametreleri

From Bus	To Bus	R	X	B	Tap Position
1	2	0.01938	0.05917	0.0528	0
1	5	0.05403	0.22304	0.0492	0
2	3	0.04699	0.19797	0.0438	0
2	4	0.05811	0.17632	0.034	0
2	5	0.05695	0.17388	0.0346	0
3	4	0.06701	0.17103	0.0128	0
4	5	0.01335	0.04211	0	0
4	7	0	0.20912	0	0.978
4	9	0	0.55618	0	0.969
5	6	0	0.25202	0	0.932
6	11	0.09498	0.1989	0	0
6	12	0.12291	0.25581	0	0
6	13	0.06615	0.13027	0	0
7	8	0	0.17615	0	0
7	9	0	0.11001	0	0
9	10	0.03181	0.0845	0	0
9	14	0.12711	0.27038	0	0
10	11	0.08205	0.19207	0	0
12	13	0.22092	0.19988	0	0
13	14	0.17093	0.34802	0	0

### 5.3. Reaktif Güç Dağıtımın Optimizasyonu

3.3.1 bölümünde açıklanmış gibi ORGD problemin amacı, voltaj profili iyileştirmesi için veya voltaj kararlılığın artırması için sistemin toplam güç kaybını, yük baralarında voltaj sapmasını ve voltaj kararlık indeksini hesaplamaktır. ORGD,

generatör gerilim genliği, değiştirilebilir VAR kompensatörleri ve transformatör kademe ayarı gibi kontrol değişkenlerini belirleyerek, ünitenin ve sistem kısıtlamalarını karşılarken problemin amaç fonksiyonunun en aza indirgenmesini sağlar [11].

Güç sistemi çalışmasında ORGD'nin başlıca rolü, tüketicilere yüksek kaliteli hizmet sunmak için yük baraların gerilimlerini sınırları dâhilinde tutmaktır. ORGD'nin ayrıntıları ve kısıtlamaları bölüm 3'te açıklanmıştır. ORGD detaylarını dikkate alınarak kontrol değişkenleri aşağıdaki gibi olacaktır:

Tablo 5.7. ORGD kontrol değişkenleri

$V_1 \dots N_g$	$T_1 \dots N_t$	$S_1 \dots N_s$
-----------------	-----------------	-----------------

Buna göre 14 bara sistemin ORGD kontrol değişkenleri aşağıdaki tabloya göre olacaktır.

Tablo 5.8. 14 Bara sistemin ORGD kontrol değişkenleri

V1	V2	V3	V6	V8	Tap1	Tap2	Tap3	Shunt1
----	----	----	----	----	------	------	------	--------

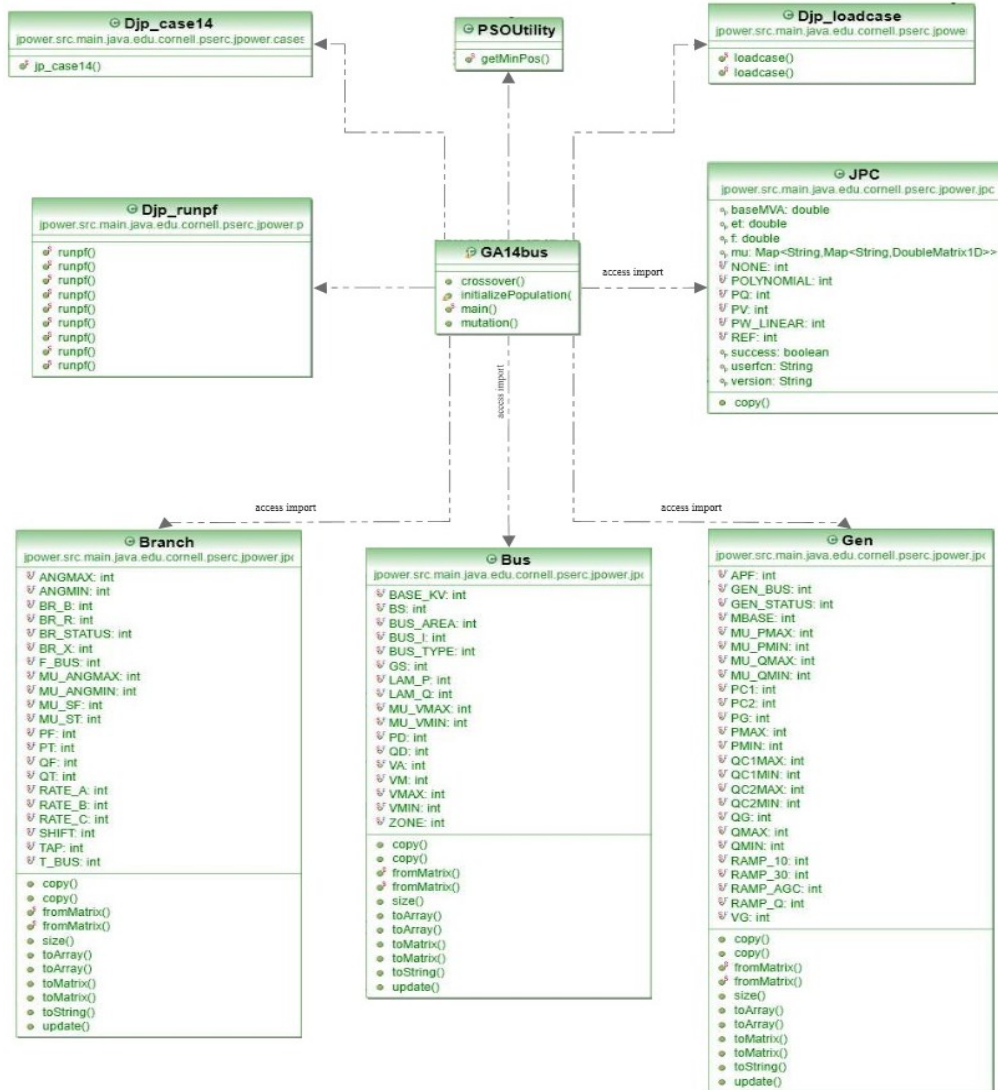
Bu tezde ORGD problemi, GA, PSO, YAKA ve HPSOM gibi yapay zekaya dayalı yöntemlerle çözülmüştür.

### 5.3.1. GA ile ORGD uygulama

GA tabanlı yaklaşımı kullanmanın önemli bir avantajı, GA'nın parametrelerden ziyade kodlanmış dizgilerle birlikte çalışmasıdır. Dolayısıyla, gerçek, ikili ve tamsayı değişkenlerle çalışabilir. Farklı çalışmalarda GA, gerçek değişkenlere uygulamıştır, çoğu çalışmalarda ise ikili değişkenleri çözmek için kullanılmıştır ve bazı çalışmalarda hem gerçek hem de ikili değişkenlerin kombinasyonu üzerinde kullanılmıştır. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar GA algoritmasının optimal güç akışındaki etkinliğini göstermektedir.

Bu çalışmada gerçek (real-coded) değişkenlerle GA algoritması, rulet seçimi, çaprazlama ve mutasyon süreçleri kullanılarak çözülmüştür. JPOWER’de yazılan GA optimizasyon programının UML modeli Şekil 5.6.’da verilmiştir.

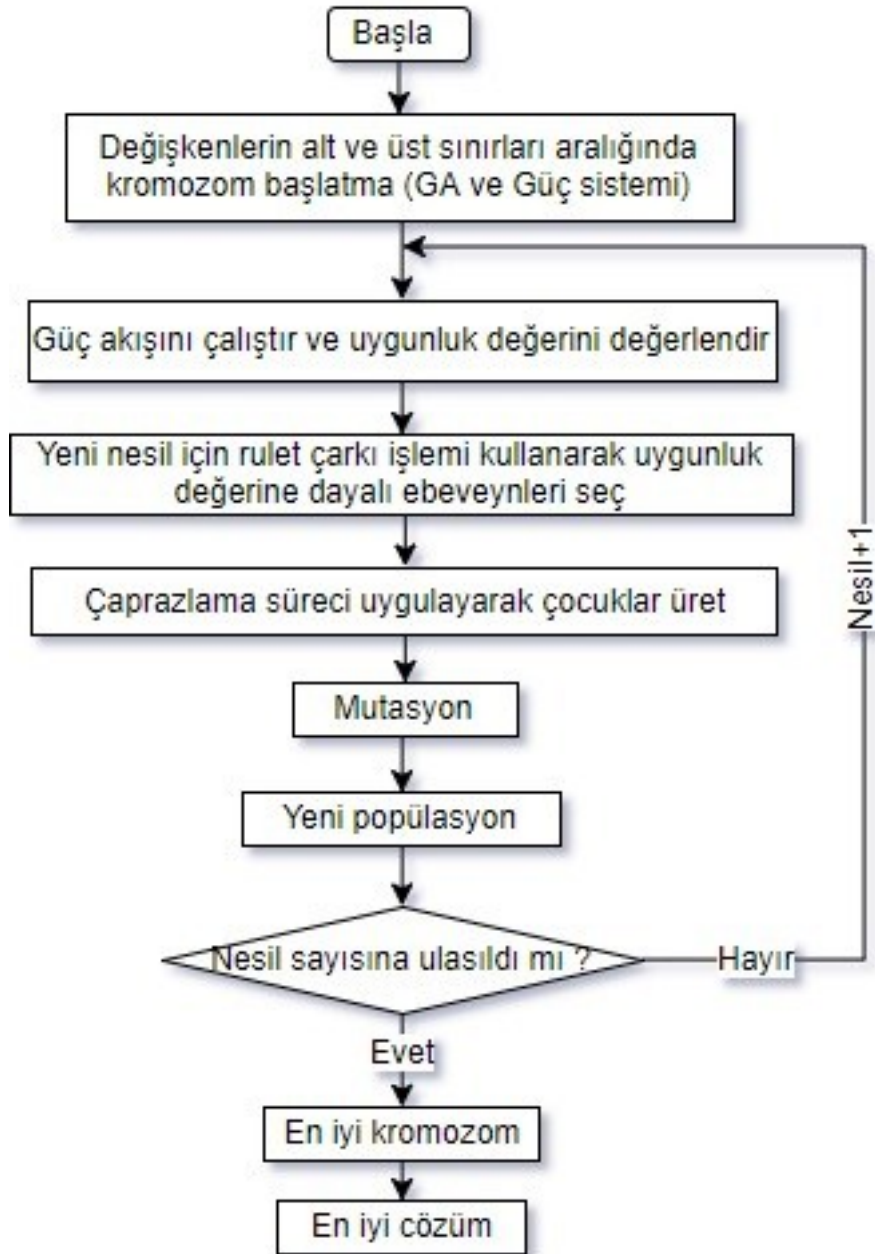
GA14bus olarak adlandırılan optimizasyon sınıfında öncelikle loadcase() fonksiyonu ile Djpc\_case14 sınıfından case14 (14 bara sistemin verileri) programda yüklenir, sonra yüklenen veri JPOWER sıralama/düzenleme sınıfı JPC ile (Gen, Bus, Branch) yapıların sıralamaya göre düzenlenir, daha sonra güç akışı Djpc\_runpf sınıfının runpf() fonksiyonunu kullanılarak hesaplanır. GA14bus’ın yapı ve kullanılan metotlar ayrıntılı olarak 5.3.1.1 kısmında anlatılmıştır.



Şekil 5.6. GA UML modeli

### 5.3.1.1. GA ile ORGD prosedürü

Şekil 5.7.'de gösterildiği gibi Genetik Algoritmasını kullanarak 14 Bus Sistemine ORGD uygulamak için aşağıdaki prosedür takip edilmektedir.



Şekil 5.7. GA ile ORGD Akış Diagramı



Adım 1: Başlangıç: Başlangıçta belirlenen GA değişkenleri, çapraz ve mutasyon olasılık oranları ve kromozom sayısıdır.

Tablo 5.9. GA değişkenleri

Kromozom sayısı	Çapraz olasılık oranı	Mutasyon olasılık oranı	Nesil Sayısı	Problem boyutu
70	0.6	0.01	100	Karar değişkenleri

GA'daki kromozomlar, ORGD ve 14 bara sisteminin problem boyutuna veya karar değişkenlerine dayalı olarak başlatılır. Tablo 5.8.'de gösterildiği gibi. Böylece problem boyutu 9 olur ve 70X9'luk bir kromozom seti karar değişkenlerinin üst ve alt limitlerine dayanılarak başlatılır. 14 bara sisteminde değişkenlerinin üst ve alt limitleri aşağıdaki gibi olur:

Tablo 5.10. 14 bara değişkenlerinin üst ve alt limitleri

Vol_min	Vol_max	Tap_min	Tap_max	Shunt_min	Shunt_max
0.95	1.1	0.975	1.025	0	20

Adım 2: Değerlendirme: Güç akışı çalıştırarak her kromozomun uygunluğunu değerlendirir. Güç akışı JPOWER'ın runpf() fonksiyonu temel alınarak hesaplanır ve ardından pelanti faktörleri dikkate alınarak ORGD'nin fitness fonksiyonu (3.6) denkleme göre hesaplanır ardından değerlendirilen değerler her kromozom için kaydedilir.

Adım 3: Seçim: Uygunluk değerlerine dayalı olarak her kromozomun birikimli olasılığını hesaplayan rulet çarkı işlemine dayalı ebeveynleri seçilecektir. Yüksek olasılıklı olan kromozom, gelecek nesil için ebeveyn olarak seçilecektir. Kromozomlar, kendi kondisyon değerlerine dayanarak, sonraki generasyonun popülasyonu oluşturmak için stokastik olarak seçilir. Sonuç olarak, yeni popülasyonda daha iyi kromozomların daha fazla kopyası olacaktır.

Adım 4: Çaprazlama: Ebeveynleri seçtikten sonra, ebeveynlere çapraz oranına dayalı olarak çaprazlama uygulanacak ve çocuklar üretilcek.

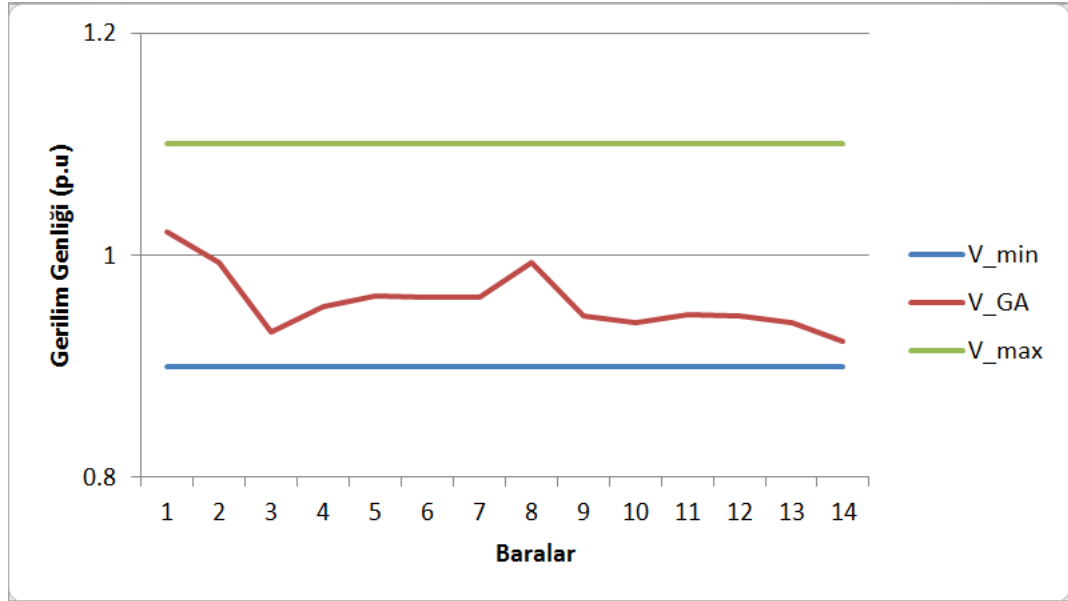
Adım 5: Mutasyon: Bu aşamada, mutasyon oranına dayalı olarak çocuklar üzerinde mutasyon uygulanır.

Adım 6: Sonlandırma: Durma kriterleri karşılanırsa süreci durdurulur ve en iyi kromozomu ve çözümü yazdırır, aksi takdirde yeni oluşturulan kromozomlar üzerinde işlem uygulanacaktır.

GA ile ORGD uygulamanın sonuçları aşağıdaki tablo ve grafiklerde gösterilmiştir.

Tablo 5.11. GA ile ORGD sonuçları

Kontrol Değişkenleri		Min	Max	Base Case	GA
Generatör Gerilim Genliği	V1	0.95	1.1	1.06	0.9911
	V2	0.95	1.1	1.045	1.0124
	V3	0.95	1.1	1.01	1.0771
	V6	0.95	1.1	1.07	0.9688
	V8	0.95	1.1	1.09	0.9684
Trafo Kademe Ayarları	Tap1 (4to7)	0.975	1.025	0.978	0.9967
	Tap2 (4to9)	0.975	1.025	0.969	1.0245
	Tap3 (5to6)	0.975	1.025	0.932	0.9924
Şönt VAR	Shunt 9	0	20	19	18.2722
Aktif GüçKaybı	Loss MW	-	-	20	15.5449

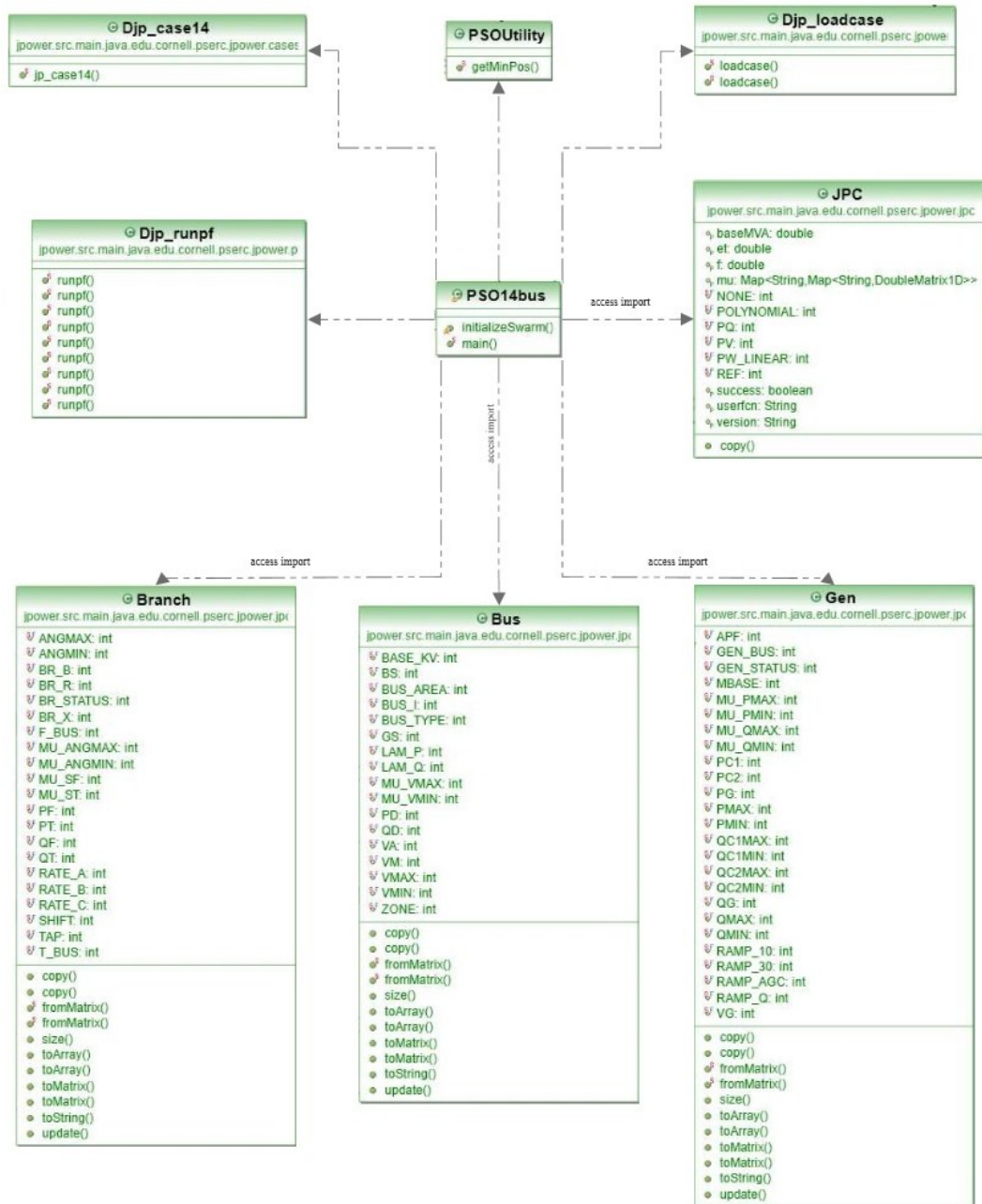


Şekil 5.8. GA ile ORGD Gerilim profili

### 5.3.2. PSO ile ORGD uygulama

Parçacık sürüsü Optimizasyon, güçlü bir optimizasyon algoritmasıdır, optimum güç akışının birçok problemde kullanılır ve tatmin edici sonuçlar elde edilir. PSO, ORGD problemini çözmek için noval formu veya hibrit olarak kullanılmaktadır.

JPOWER’de yazılan PSO optimizasyon programın UML modeli Şekil 5.9.’de verilmiştir. PSO14bus olarak adlandırılan optimizasyon sınıfında öncelikle loadcase() fonksiyonu ile Djp\_case14 sınıfından case14 (14 bara sistemin verileri) programda yüklenir, sonra yüklenen veri JPOWER sıralama/düzenleme sınıfı JPC ile (Gen, Bus, Branch) yapıların sıralamaya göre düzenlenir, daha sonra güç akışı Djp\_runpf sınıfın runpf() fonksiyonunu kullanılarak hesaplanır. PSO14bus’in yapı ve kullanılan metotlar ayrıntılı olarak 5.3.2.1 kısmında anlatılmıştır.



Şekil 5.9. PSO UML modeli

### 5.3.2.1. PSO ile ORGD prosedürü

Şekil 5.10.'da gösterildiği gibi Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmasını kullanarak 14 Bus Sistemine ORGD uygulamak için aşağıdaki prosedür takip edilmektedir.



Şekil 5.10. PSO ile ORGD Akış Diagramı

Adım 1: Başlangıç: Başlangıçta PSO değişkenleri ağırlık parametre, parçacık sayıları, hız ve popülazasyondur.

Tablo 5.12. 14 bara PSO değişkenleri

Parçacık sayısı	Max ağırlığı	Min ağırlığı	iterasyon	Problem boyutu
50	0.9	0.4	200	Karar değişkenleri

PSO'daki parçacıklar, ORGD ve 14 bara sisteminin problem boyutuna veya karar değişkenlerine dayalı olarak başlatılır, Tablo 5.8.'de gösterildiği gibi. Böylece problem boyutu 9 olur ve 50X9'luk bir popülazasyon karar değişkenlerinin üst ve alt limitlerine dayanılarak başlatılır . 14 bara sisteminde değişkenlerinin üst ve alt limitleri aşağıdaki gibi olur:

Tablo 5.13. 14 bara değişkenlerinin üst ve alt limitleri

Vol_min	Vol_max	Tap_min	Tap_max	Shunt_min	Shunt_max
0.95	1.1	0.975	1.025	0	20

Adım 2: Değerlendirme: Güç akışını çalıştırarak her parçacığın uygunluk değeri değerlendirir. Güç akışı, JPOWER'ın runpf() fonksiyonu temel alınarak hesaplanır ve ardından penalti faktörleri dikkate alınarak ORGD fitness fonksiyonu (3.6) denkleme göre hesaplanır ve değerlendirilen değerler her partikül için kaydedilir.

Adım 3: Personal\_best ve global\_best pozisyonlarının başlatılması: *Pbest* ve *Gbest* değerleri başlangıçtaki hesaplanan fitness fonksiyonuna dayanarak başlatılır.

Adım 4: Parçacık Diğıştirme: PSO hız fonksiyonuna (4.1) dayalı olarak her bir generasyondaki her bir parçacık için hızı güncellenir ve popülasyona hız ekleyerek her bir parçacığın konumu güncellenir.

Adım 5: Değerlendirme: Yeni güncellenen popülasyon üzerinde güç akışını JPOWER'ın runpf() fonksiyonu ile çalıştırarak her parçacık için uygunluk fonksiyonu hesaplanır, tıpkı adım 2 gibi.

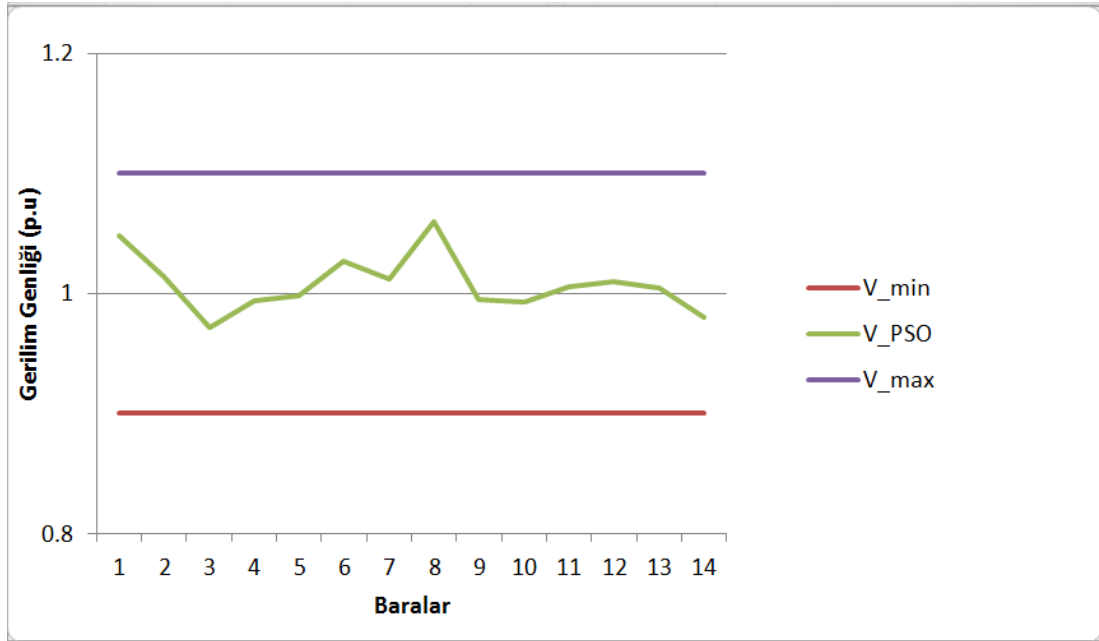
Adım 6: En iyi uygunluk değeri: Yeni üretilen parçacıkların uygunluk değerlerini şimdiye kadar elde edilen en iyi değerlerle karşılaştırarak; en iyisi kaydedilir.

Adım 7: Sonlandırma: Durma ölçütleri kontrol edilir, eğer ulaşırsa sonlandırır, aksi takdirde yinelemeyi güncellenir.

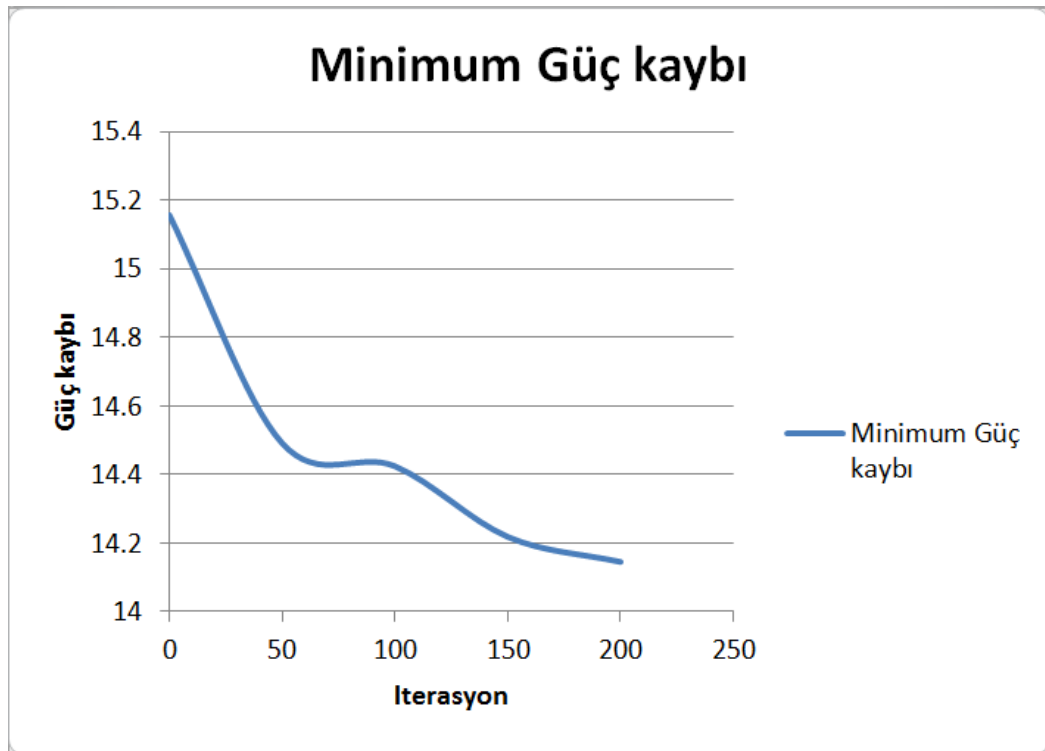
PSO ile ORGD uylamanın sonuçları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5.14. PSO ile ORGD sonuçları

Kontrol Değişkenleri		Min	Max	Base Case	PSO
Generatör Gerilim Genliği	V1	0.95	1.1	1.06	0.9542
	V2	0.95	1.1	1.045	0.9859
	V3	0.95	1.1	1.01	1.0235
	V6	0.95	1.1	1.07	0.9677
	V8	0.95	1.1	1.09	0.949
Trafo Kademe Ayarları	Tap1 (4to7)	0.975	1.025	0.978	1.006
	Tap2 (4to9)	0.975	1.025	0.969	1.035
	Tap3 (5to6)	0.975	1.025	0.932	0.9699
Şönt VAR	Shunt 9	0	20	19	12.687
Aktif GüçKaybı	Loss MW	-	-	20	14.1452



Şekil 5.11. PSO ile ORGD Gerilim Profili



Şekil 5.12. PSO ile ORGD Minimum Güç Kaybı



### 5.3.3. YAKA ile 14 ORGD uygulama

YAKA algoritması en güvenilir optimizasyon yöntemlerinden biridir. Güç akışı optimizasyon problemlerinde YAKA'nın kullanılması etkili, uygulanabilir ve güvenilir sonuçlar sağlar.

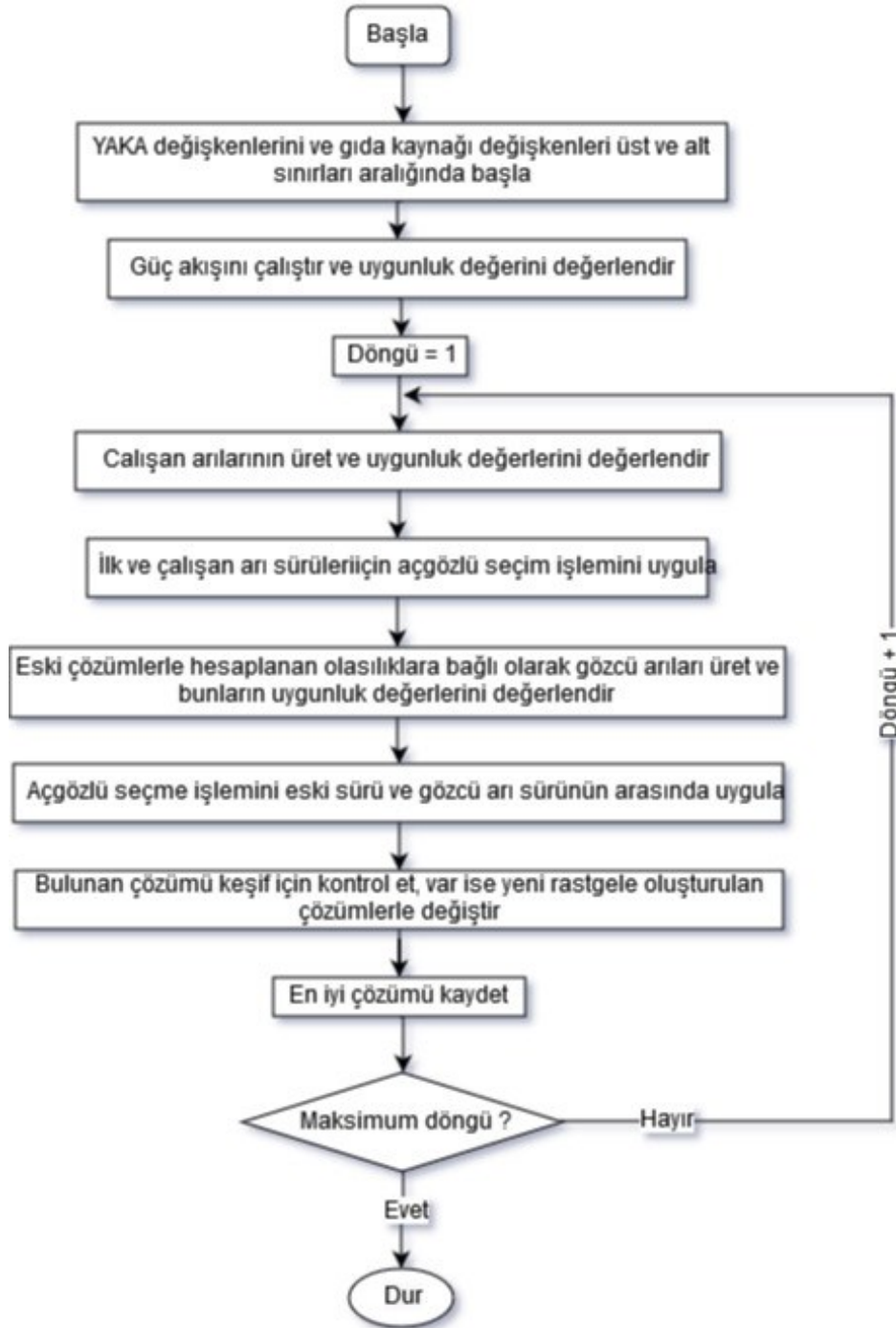
JPOWER'de yazılan YAKA optimizasyon programının UML modeli Şekil 5.13.'te verilmiştir. ABC14bus olarak adlandırılan optimizasyon sınıfında öncelikle loadcase() fonksiyonu ile Djp\_case14 sınıfından case14 (14 bara sistemin verileri) programda yüklenir, sonra yüklenen veri JPOWER sıralama/düzenleme sınıfı JPC ile (Gen, Bus, Branch) yapıların sıralamaya göre düzenlenir, daha sonra güç akışı Djp\_runpf sınıfın runpf() fonksiyonunu kullanılarak hesaplanır. ABC14bus'in yapı ve kullanılan metotlar ayrıntılı olarak 5.3.3.1 kısmında anlatılmıştır.



Şekil 5.13. YAKA UML modeli

### 5.3.3.1. YAKA ile ORGD prosedürü

Şekil 5.14.'te gösterdiği gibi Yapay Arı Koloni Algoritmasını kullanılarak 14 Bus Sistemine ORGD uygulamak için aşağıdaki prosedür takip edilmektedir.



Şekil 5.14. YAKA ile ORGD Akış Diagramı

Adım 1: Başlangıç: Başlatılacak YAKA değişkenleri gıda numarası, döngü ve limittir.

Tablo 5.15. 14 bara YAKA değişkenleri

Gıda Sayısı	Döngü	Limit
50	100	10

YAKA'daki gıda, ORGD ve 14 bara sisteminin problem boyutuna veya karar değişkenlerine dayalı olarak başlatılır, Tablo 5.8'de gösterildiği gibi. Böylece problem boyutu 9 olur ve 50X9'luk bir popülazasyon karar değişkenlerinin üst ve alt limitlerine dayanılarak (4.4) denkleme göre başlatılır . 14 bara sisteminde değişkenlerinin üst ve alt limitleri aşığıdaki gibi olur:

Tablo 5.16. 14 bara değişkenlerinin üst ve alt limitleri

Vol_min	Vol_max	Tap_min	Tap_max	Shunt_min	Shunt_max
0.95	1.1	0.975	1.025	0	20

Adım 2: Değerlendirme: Güç akışı, JPOWER'ın runpf() fonksiyonu temel alınarak hesaplanır ve ardından penalti faktörleri dikkate alınarak ORGD uygunluk fonksiyonu (3.6) denkleme göre hesaplanır ve her bir gıda kaynağı için değerlendirilen değerler kaydedilir.

Adım 3: Çalışan Arıları: İlk arı kovanına dayalı olarak (4.5) denkleme göre çalışan arıları oluşturulur ve bunların uygunluk değerleri değerlendirir.

Adım 4: Açęözlü Seçim: Açęözlü seçim sürecinde, eğer hesaplanan çözümler ilk çözümden daha iyi olursa, gıda sürüsü güncellenir aksi takdirde çözümlenmemiş çözümler korunur.

Adım 5: Gözcü Arıları: Bu aşamada şimdiye kadar elde edilen çözümlerin olasılığına bağlı olarak gözcü arıları üretilir, sonra her biri için uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Olasılık oranı rulet yöntemi ile (4.6) denkleme göre, ve uygunluk fonksiyonu (4.7) denkleme göre hesaplanır.

Adım 6: Açgözlü Seçim: Bu aşamada, yeni elde edilen çözümlere ve gözcü arıların çözümler arasında tekrar açgözlü seçim süreci uygulanır, eğer hesaplanan çözümler ilk çözümlerden daha iyi ise, gıda sürüsü güncellenir, aksi takdirde çözülmemiş çözümler korunur.

Adım 7: Keşif Arıları: Terk edilmiş veya korunmuş çözümler mevcutsa, yeni çözümler (4.4) denkleme göre üretilir.

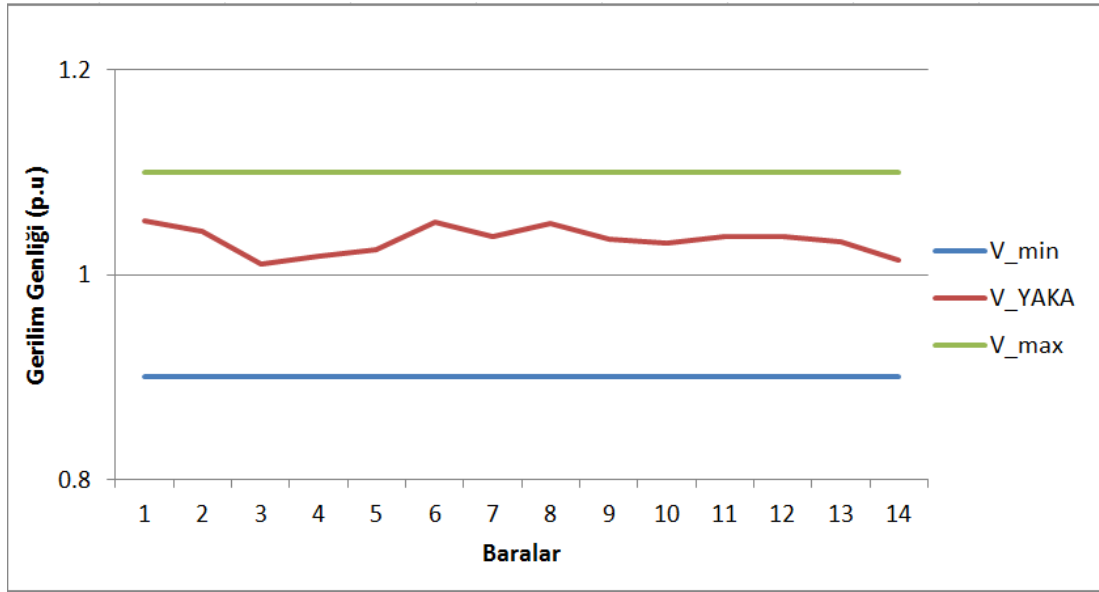
Adım 8: En iyi çözümler kaydedilir: Bu aşamada şimdiye kadar en iyi üretilmiş çözümler kaydedilir.

Adım 9: Sonlandırma: Durma ölçütleri karşılanırsa, çözümler yazdırılır. Aksi takdirde bir sonraki döngüye geçilir.

PSO ile ORGD uylamanın sonuçları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5.17. YAKA ile ORGD sonuçları

Kontrol Değişkenleri		Min	Max	Base Case	ABC
Generatör Gerilim Genliği	V1	0.95	1.1	1.06	1.0993
	V2	0.95	1.1	1.045	0.9939
	V3	0.95	1.1	1.01	0.9528
	V6	0.95	1.1	1.07	1.0617
	V8	0.95	1.1	1.09	1.0121
Trafo Kademe Ayarları	Tap1 (4to7)	0.975	1.025	0.978	0.9863
	Tap2 (4to9)	0.975	1.025	0.969	0.9816
	Tap3 (5to6)	0.975	1.025	0.932	0.9886
Şönt VAR	Shunt 9	0	20	19	15.0962
Aktif GüçKaybı	Loss MW	-	-	20	13.545



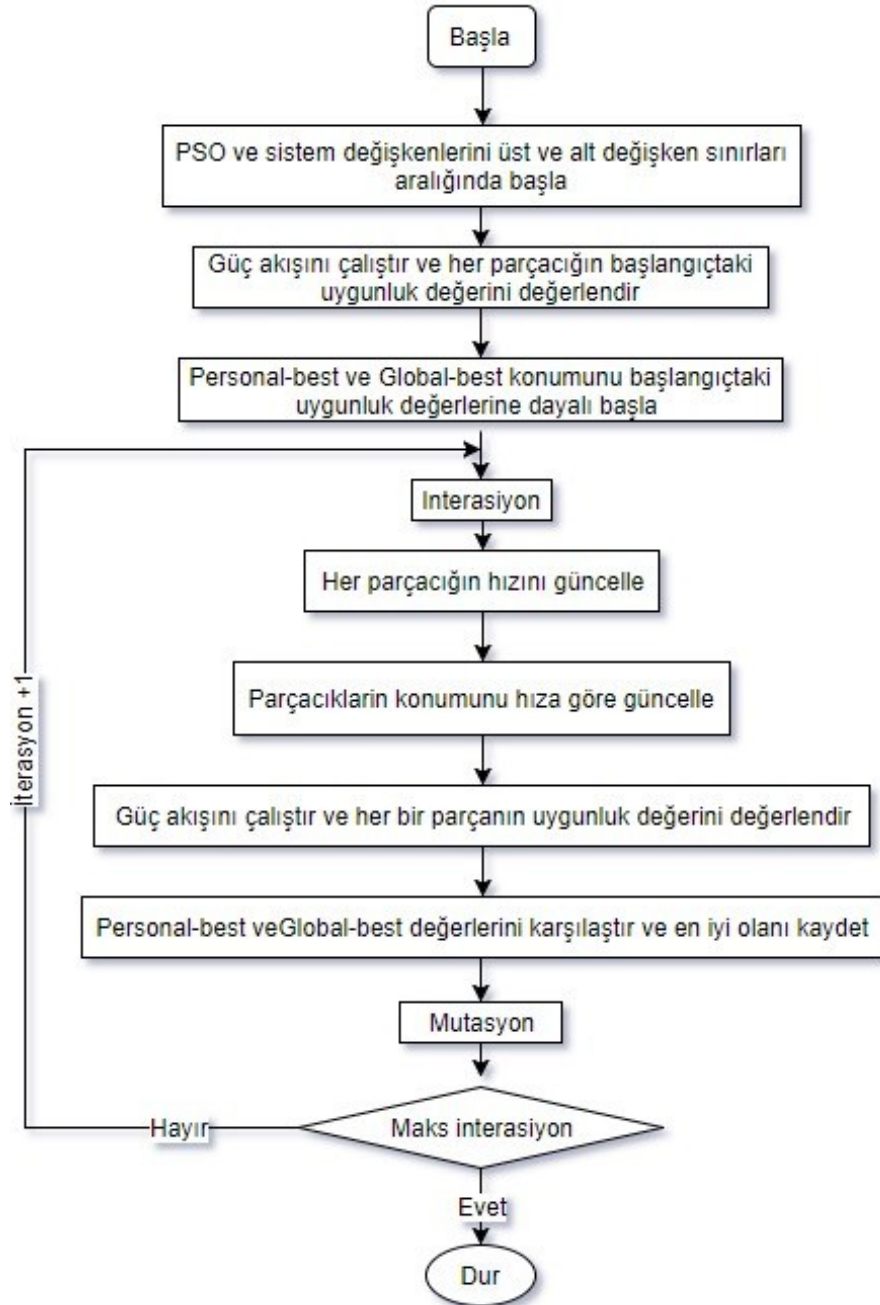
Şekil 5.15. YAKA ile ORGD Gerilim Profili



Şekil 5.16. YAKA ile ORGD Minimum Güç Kaybı

### 5.3.4. HSPOM ile ORGD uygulama

Şekil 5.17.'de gösterildiği gibi Hibrit Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritmasını kullanarak 14 Bus Sistemine ORGD uygulamak için aşağıdaki prosedür takip edilmektedir.



Şekil 5.17. HPSOM ile ORGD Akış Diagramı

Adım 1: Başlangıç: Başlangıçta HPSOM değişkenleri ağırlık parametre, parçacık sayıları, hız, mutasyon oranı ve popülazasyondur.

Tablo 5.18. 14 bara PSO değişkenleri

Parçacık sayısı	Max ağırlığı	Min ağırlığı	iterasyon	Mutasyon oranı	Problem boyutu
50	0.9	0.4	200	0.1	Karar değişkenleri

HPSOM'daki parçacıklar, ORGD ve 14 bara sisteminin problem boyutuna veya karar değişkenlerine dayalı olarak başlatılır, Tablo 5.8.'de gösterildiği gibi. Böylece problem boyutu 9 olur ve 50X9'luk bir popülazasyon karar değişkenlerinin üst ve alt limitlerine dayanılarak başlatılır. 14 bara sisteminde değişkenlerinin üst ve alt limitleri aşağıdaki gibi olur:

Tablo 5.19. 14 bara değişkenlerinin üst ve alt limitleri

Vol_min	Vol_max	Tap_min	Tap_max	Shunt_min	Shunt_max
0.95	1.1	0.975	1.025	0	20

Adım 2: Değerlendirme: Güç akışını çalıştırarak her parçacığın uygunluk değeri değerlendirir. Güç akışı, JPOWER'ın runpf() fonksiyonu temel alınarak hesaplanır ve ardından penalti faktörleri dikkate alınarak ORGD fitness fonksiyonu (3.6) denkleme göre hesaplanır ve değerlendirilen değerler her partikül için kaydedilir.

Adım 3: Personal\_best ve global\_best pozisyonlarının başlatılması: *Pbest* ve *Gbest* değerleri başlangıçtaki hesaplanan fitness fonksiyonuna dayanarak başlatılır.

Adım 4: Parçacık Değiştirme: PSO hız fonksiyonuna (4.1) dayalı olarak her bir generasyondaki her bir parçacık için hızı güncellenir ve popülasyona hız ekleyerek her bir parçacığın konumu güncellenir.



Adım 5: Değerlendirme: Yeni güncellenen popülasyon üzerinde güç akışını JPOWER'ın runpf() fonksiyonu ile çalıştırarak her parçacık için uygunluk fonksiyonu hesaplanır, tıpkı adım 2 gibi.

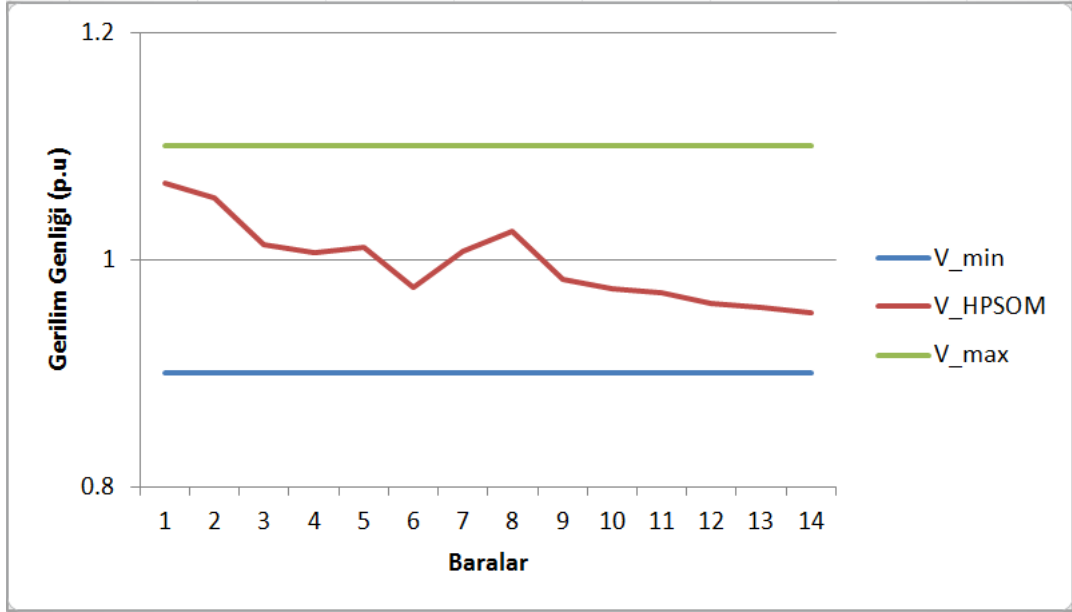
Adım 6: En iyi uygunluk değeri: Yeni üretilen parçacıkların uygunluk değerlerini şimdiye kadar elde edilen en iyi değerlerle karşılaştırarak; en iyisi kaydedilir.

Adım 7: Mutasyon: Bu aşamada, mutasyon oranına dayalı olarak popülasyon üzerinde mutasyon uygulanır.

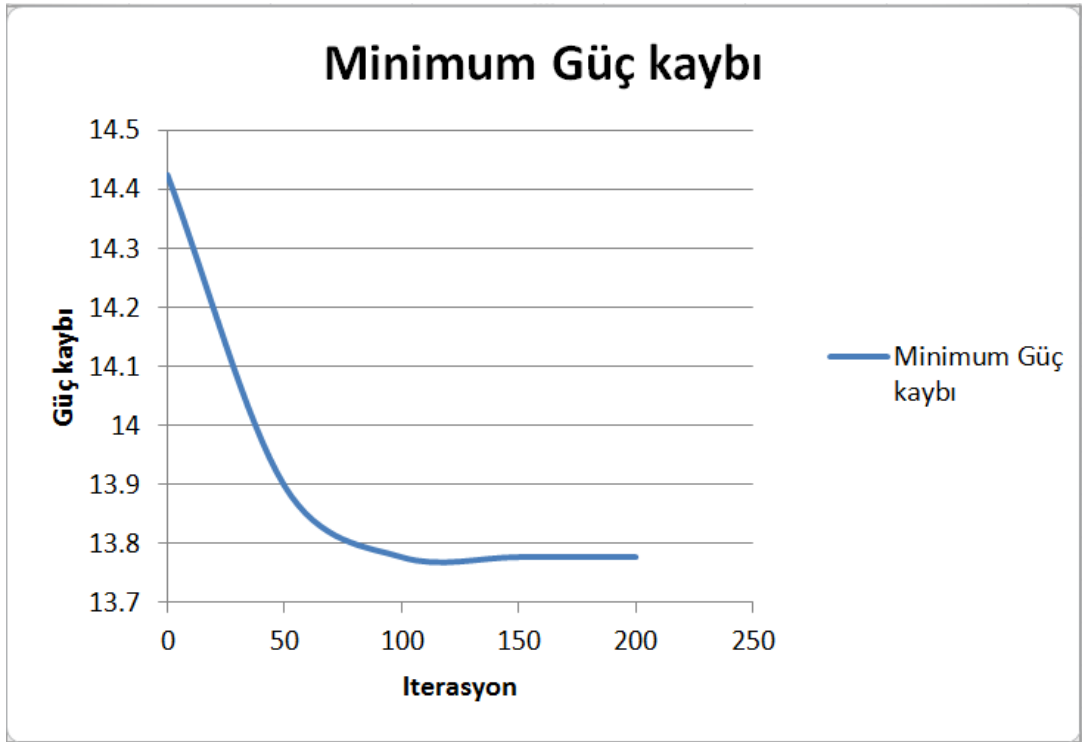
Adım 8: Sonlandırma: Durma ölçütlerini kontrol ederek, eğer ulaşırsa, aksi takdirde yinelemeyi güncellenir

Tablo 5.20. HPSOM ile ORGD sonuçları

Contol Variables		Min	Max	Base Case	HPSOM
Generatör Gerilim Genliği	V1	0.95	1.1	1.06	0.9371
	V2	0.95	1.1	1.045	0.9491
	V3	0.95	1.1	1.01	0.987
	V6	0.95	1.1	1.07	1.0241
	V8	0.95	1.1	1.09	0.9752
Trafo Kademe Ayarları	Tap1 (4to7)	0.975	1.025	0.978	0.9741
	Tap2 (4to9)	0.975	1.025	0.969	0.9999
	Tap3 (5to6)	0.975	1.025	0.932	0.9891
Şönt VAR	Shunt 9	0	20	19	7.2016
Aktif GüçKaybı	Loss MW	-	-	20	13.7772



Şekil 5.18. HPSOM ile ORGD Gerilim Profili



Şekil 5.19. HPSOM ile ORGD Minimum Güç Kaybı

#### 5.4. Dağıtık Üretimi

Dağıtık üretimi, bir güç sisteminin neredeyse her noktasında ara bağlantıya izin verecek şekilde merkezi üretim tesislerinden yeterince küçük olan tesisler yoluyla elektrik üretimi olarak tanımlanır. Dağıtılmış üretim, büyük bir merkezi güç sisteminin bir parçası olmayan ve yükün yakınında bulunan küçük bir elektrik enerjisi üretimi (bir kW'tan on MW'a kadar değişen) veya depolaması kaynağıdır [32].

Dağıtık üretim (DG)'in enerji üretim ve iletim sistemlerine sağladığı hizmetler son yıllarda yük talebindeki artışa bağlı olarak önemli bir gereklilik haline gelmiştir. Bu teknoloji, sistemi desteklemek için elektrik güç sistemlerine dahil edilmiştir. DG tasarım ve güç kapasitelerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır [33]:

1. Micro DG (1W < 5KW)
2. Small DG(5KW < 5MW)
3. Medium(5MW < 50MW)
4. Large DG(50MW < 300MW)

DG dağıtım şebekelerine birçok faydaları katmaktadır, örneğin iletim ve dağıtım kayıplarını azaltmak, gerilimi dengelemek ve (0.95 ila 1.05) pu arasındaki sınırlara getirmek, DG, ağ güvenilirliğini artırmak, merkezi üreten istasyonların kapasitesini artırmak zorunda kalmadan DG'yi en yoğun yüklerle çalıştırma imkanını sağlamak, vb dir [34].

##### 5.4.1. Dağıtık üretimli güç şebekeleri için reaktif güç dağıtımın optimizasyonu

Bu bölümde, IEEE 14 bara sistemi üzerinde farklı baralarda yeni dağıtılmış generatörleri kurarak ORGD'nin optimizasyonu test edilmiştir. 2000kW kapasiteli rüzgar generatörü, DG için alternatif olarak seçilmiştir ve nominal gücünde çalışır. Optimizasyonu uygulamak için, JPOWER'ın kontrol değişkenleri ve casefile dosyalarında bazı parametreleri değiştirmek gerekiyor. Getirilecek değişiklikler,

DG'lerin generatörü olan ve generatörü olmayan baralara kurup kurmadığını bağlı olarak farklıdır ve aşağıda gösterilmiştir.

- DG'lerin generatörü olan baralarda yerleşimi

1. Belirtilen generatöre rüzgar türbininin nominal gücünü ekleyerek, dosyanın gerçek güç üretimi (Pg), generatör baranın maksimum ve minimum reaktif güç üretim değerlerini değiştirme.

Tablo 5.21. Rüzgr Türbinin güç değerleri

Pg	Qmax	Qmin	Pmax
2.05	1.2	-1	2.05

Örneğin generaörü olan bara 2 de rüzgar türbini takılırsa, değerleri aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibi değiştirilecek.

```

/* generator data */
// bus Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
jpc.gen = Gen.fromMatrix( DoubleFactory2D.dense.make(new double[][]
{1, 232.4, -16.9, 10, 0, 1.06, 100, 1, 332.4,
{2, 40, 42.4, 50, -40, 1.045, 100, 1, 140,
{3, 0, 23.4, 40, 0, 1.01, 100, 1, 100,
{6, 0, 12.2, 24, -6, 1.07, 100, 1, 100,
{8, 0, 17.4, 24, -6, 1.09, 100, 1, 100,
})) );

```

Şekil 5.20. generatör değerleri değiştirmeden önce

```

/* generator data */
// bus Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
jpc.gen = Gen.fromMatrix( DoubleFactory2D.dense.make(new double[][]
{1, 232.4, -16.9, 10, 0, 1.06, 100, 1, 332.4,
{2, 42.05, 42.4, 51.2, -41, 1.045, 100, 1, 142.05,
{3, 0, 23.4, 40, 0, 1.01, 100, 1, 100,
{6, 0, 12.2, 24, -6, 1.07, 100, 1, 100,
{8, 0, 17.4, 24, -6, 1.09, 100, 1, 100,
})) );

```

Şekil 5.21. generatör değerleri değiştirdikten sonra

- DG'lerin generatörü olmayan baralarda yerleşimi

1. Belirtilen generatöre rüzgar türbininin nominal gücünü ekleyerek, dosyanın gerçek güç üretimi (Pg), generatör baranın maksimum ve minimum reaktif güç üretim değerlerini Tablo 5.21. gibi değiştirmesi. Örneğin generatörü olmayan bir bara (ör. Bara 4) te rüzgar türbini yerleşirse, casefile'de generatör ve bara değerleri aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibi değiştirilecek.

```

/* generator data */
// bus Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin
jpc.gen = Gen.fromMatrix( DoubleFactory2D.dense.make(new double[][]
    {1, 232.4, -16.9, 10, 0, 1.06, 100, 1, 332.4,
    {2, 40, 42.4, 50, -40, 1.045, 100, 1, 140,
    {3, 0, 23.4, 40, 0, 1.01, 100, 1, 100,
    {6, 0, 12.2, 24, -6, 1.07, 100, 1, 100,
    {8, 0, 17.4, 24, -6, 1.09, 100, 1, 100,
    )) );

```

Şekil 5.22. DG'yi 4. Barada taktığında generatör değerleri değiştirmeden önce

```

/* generator data */
// bus Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin Pc1 Pc2 Qc1min Qc1max Qc2
jpc.gen = Gen.fromMatrix( DoubleFactory2D.dense.make(new double[][] {
    {1, 232.4, -16.9, 10, 0, 1.06, 100, 1, 332.4, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},
    {2, 40, 42.4, 50, -40, 1.045, 100, 1, 140, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},
    {3, 0, 23.4, 40, 0, 1.01, 100, 1, 100, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},
    {6, 0, 12.2, 24, -6, 1.07, 100, 1, 100, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},
    {8, 0, 17.4, 24, -6, 1.09, 100, 1, 100, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},
    {4, 2.05, 0, 1.2, -1, 1.019, 100, 1, 2.05, 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},
    )) );

```

Şekil 5.23. DG'yi 4. Barada taktığında generatör değerleri değiştirdikten sonra

```

/* bus data */
// bus_i type Pd Qd Gs Bs area Vm Va baseKV zone Vmax Vmin
jpc.bus = Bus.fromMatrix( DoubleFactory2D.dense.make(new double[][] {
    {1, 3, 0, 0, 0, 0, 1, 1.06, 0, 0, 1, 1.06, 0.94},
    {2, 2, 21.7, 12.7, 0, 0, 1, 1.045, -4.98, 0, 1, 1.06, 0.94},
    {3, 2, 94.2, 19, 0, 0, 1, 1.01, -12.72, 0, 1, 1.06, 0.94},
    {4, 2, 47.8, -3.9, 0, 0, 1, 1.019, -10.33, 0, 1, 1.06, 0.94},
    {5, 1, 7.6, 1.6, 0, 0, 1, 1.02, -8.78, 0, 1, 1.06, 0.94},
    {6, 2, 11.2, 7.5, 0, 0, 1, 1.07, -14.22, 0, 1, 1.06, 0.94},
    {7, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1.062, -13.37, 0, 1, 1.06, 0.94},
    {8, 2, 0, 0, 0, 0, 1, 1.09, -13.36, 0, 1, 1.06, 0.94},
    {9, 1, 29.5, 16.6, 0, 19, 1, 1.056, -14.94, 0, 1, 1.06, 0.94},
    {10, 1, 9, 5.8, 0, 0, 1, 1.051, -15.1, 0, 1, 1.06, 0.94},
    {11, 1, 3.5, 1.8, 0, 0, 1, 1.057, -14.79, 0, 1, 1.06, 0.94},
    {12, 1, 6.1, 1.6, 0, 0, 1, 1.055, -15.07, 0, 1, 1.06, 0.94},
    {13, 1, 13.5, 5.8, 0, 0, 1, 1.05, -15.16, 0, 1, 1.06, 0.94},
    {14, 1, 14.9, 5, 0, 0, 1, 1.036, -16.04, 0, 1, 1.06, 0.94},
}));

```

Şekil 5.24. DG'yi 4. Barada taktığında Bara değerleri değiştirdikten sonra

Rüzgar türbini generatörü olmayan baraya yerleştiğinde, yerleşildiği baranın tipi de değiştirecek. Şekil 5.24.'te gösterildiği gibi (2) değeri baranın generatöre değiştirildiğini gösterir.

2. Optimizasyon dosyasının kontrol değişkenlerini değiştirme ve yeni DG değerini gerekli alanlara ekleme.

Tablo 5.22. 14 bara sisteminde ORGD kontrol değişkenleri

V1	V2	V3	V6	V8	Vi	Tap1	Tap2	Tap3	Shunt1
----	----	----	----	----	----	------	------	------	--------

Vi yeni eklenen DG'ü gösterir.

ORGD'nin kontrol değişkenleri optimizasyon algoritmalarında problem boyutu olarak tanımlanmıştır. Bunun için güç şebekesine yeni DG yerleşiminde, daha önce Tablo 5.8.'de tanımlanan ORGD'nin kontrol değişkenleri Tablo 5.22. gibi değişir.

Aşağıdaki tablolar ve grafiklerde farklı baralarda DG yerleşimin farklı kullanılmış sızgesel algoritmalarla ORGD sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 5.23. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin PSO sonuçları

Kontrol Değişkenleri	Min	Max	Temel durum	Bara 2'de DG	Bara 3'te DG	Bara 4'te DG	Bara 5'te DG	Bara 6'da DG	Bara 7'de DG	Bara 8'de DG	Bara 9'de DG	Bara 10'da DG	Bara 11'de DG	Bara 12'de DG	Bara 13'te DG	Bara 14'te DG	
Generatör Gerilim Genliği	V1	0.95	1.1	1.06	0.936	0.981	0.982	0.934	0.973	0.946	0.957	0.935	0.944	0.921	0.916	0.940	0.925
	V2	0.95	1.1	1.045	0.968	0.991	1.011	0.945	1.001	0.967	0.982	0.962	0.949	0.961	0.958	0.969	0.949
	V3	0.95	1.1	1.01	1.026	1.019	1.031	0.997	1.062	0.979	1.014	0.992	0.986	0.979	0.970	1.029	0.998
	V4	0.95	1.1				1.032										
	V5	0.95	1.1				0.967										
	V6	0.95	1.1	1.07	1.014	1.018	1.022	1.057	1.008	0.991	1.027	0.929	0.979	0.998	1.039	1.046	0.960
	V7	0.95	1.1							0.983							
	V8	0.95	1.1	1.09	1.003	0.969	0.987	1.031	0.988	1.036	1.040	1.000	0.935	1.052	0.957	1.029	0.906
	V9	0.95	1.1									0.970					
	V10	0.95	1.1									0.969					
	V11	0.95	1.1											1.011			
	V12	0.95	1.1												1.016		
	V13	0.95	1.1													1.046	
	V14	0.95	1.1														0.954
Trafo Kademe Ayarları	Tap1 (4to7)	0.975	1.025	0.978	0.994	1.011	1.011	1.019	1.004	0.986	1.000	1.004	0.940	1.055	1.028	0.988	0.968
	Tap2 (4to9)	0.975	1.025	0.969	1.035	0.980	0.971	1.008	1.018	1.002	1.018	0.948	1.008	0.993	1.030	0.992	0.996
	Tap3 (5to6)	0.975	1.025	0.932	0.959	1.007	1.004	0.983	0.957	1.033	1.002	0.998	1.029	0.984	1.033	0.016	0.944
Şönt VAR	Shunt 9	0	20	19	3.388	13.392	10.980	7.126	5.059	8.284	11.555	12.810	9.517	5.966	1.881	18.075	8.887
Aktif GüçKaybı	Loss MW	-	-	20.029	14.110	14.310	14.617	13.519	14.781	13.467	14.046	13.498	13.460	13.735	13.841	13.902	13.070

Tablo 5.24. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin GA sonuçları

Kontrol Değişkenleri	Min	Max	Temel durum	Bara 2'de DG	Bara 3'te DG	Bara 4'te DG	Bara 5'te DG	Bara 6'da DG	Bara 7'de DG	Bara 8'de DG	Bara 9'de DG	Bara 10'da DG	Bara 11'de DG	Bara 12'de DG	Bara 13'te DG	Bara 14'te DG	
Generatör Gerilim Genliği	V1	0.95	1.1	1.06	0.978	0.980	0.988	0.965	0.965	0.979	0.979	0.967	0.993	0.958	0.951	0.973	1.001
	V2	0.95	1.1	1.045	0.978	0.971	1.011	0.980	0.976	1.001	0.968	0.990	0.989	0.951	0.967	1.019	1.009
	V3	0.95	1.1	1.01	1.024	0.978	1.038	1.086	1.023	1.011	0.992	1.046	0.984	0.977	1.024	1.045	0.999
	V4	0.95	1.1				0.997										
	V5	0.95	1.1					0.998									
	V6	0.95	1.1	1.07	1.026	0.974	0.993	1.030	0.981	0.978	1.011	0.964	0.979	1.010	0.982	1.024	0.995
	V7	0.95	1.1							1.038							
	V8	0.95	1.1	1.09	1.070	0.999	0.983	1.024	0.976	0.957	1.095	0.953	0.983	1.039	1.065	1.056	0.979
	V9	0.95	1.1									1.010					
	V10	0.95	1.1										1.010				
	V11	0.95	1.1											1.029			
	V12	0.95	1.1												0.998		
	V13	0.95	1.1													1.026	
	V14	0.95	1.1														1.034
Trafo Kademe Ayarları	Tap1 (4to7)	0.975	1.025	0.978	1.001	0.995	1.019	1.005	0.976	1.016	0.981	0.980	1.005	0.990	1.005	1.001	1.017
	Tap2 (4to9)	0.975	1.025	0.969	1.004	0.976	0.977	0.988	0.986	0.996	1.004	0.993	1.008	1.000	0.996	1.017	1.004
	Tap3 (5to6)	0.975	1.025	0.932	0.991	0.978	0.985	1.002	1.020	0.976	1.011	0.998	0.978	1.014	1.019	1.016	1.011
Şönt VAR	Shunt 9	0	20	19	16.248	6.833	8.534	0.755	6.960	16.112	10.427	12.769	13.324	3.534	14.788	12.114	1.753
Aktif GüçKaybı	Loss MW	-	-	20.029	15.210	15.098	15.989	16.114	13.992	15.115	15.878	14.447	15.438	14.671	14.034	15.167	15.560

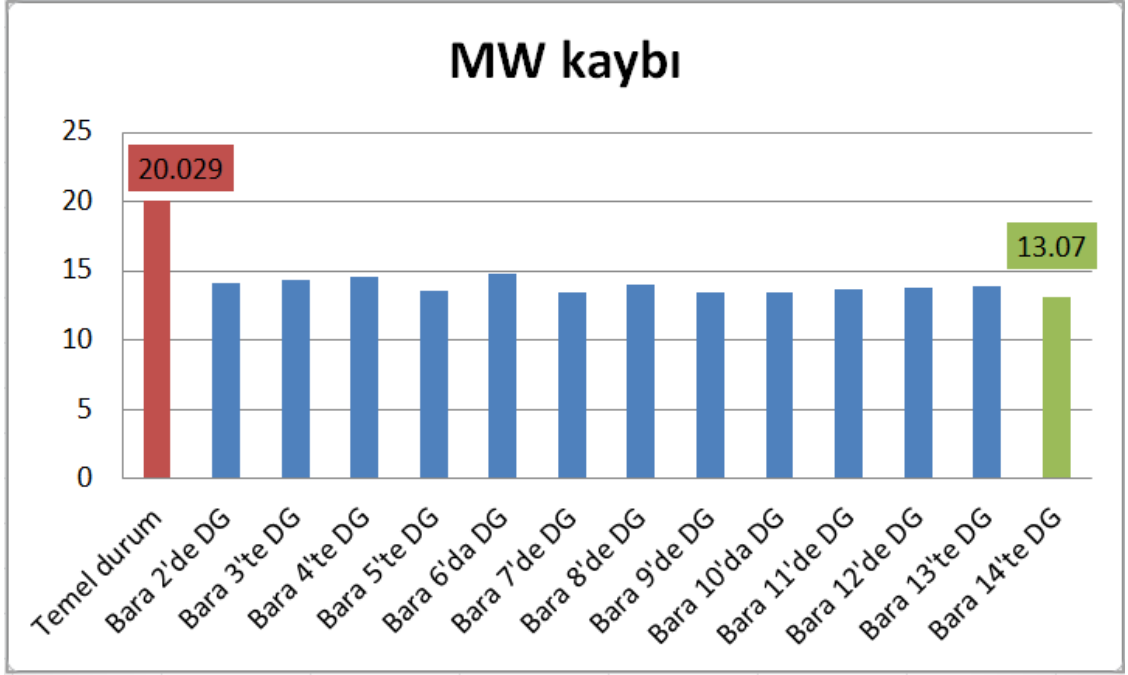


Tablo 5.25. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin YAKA sonuçları

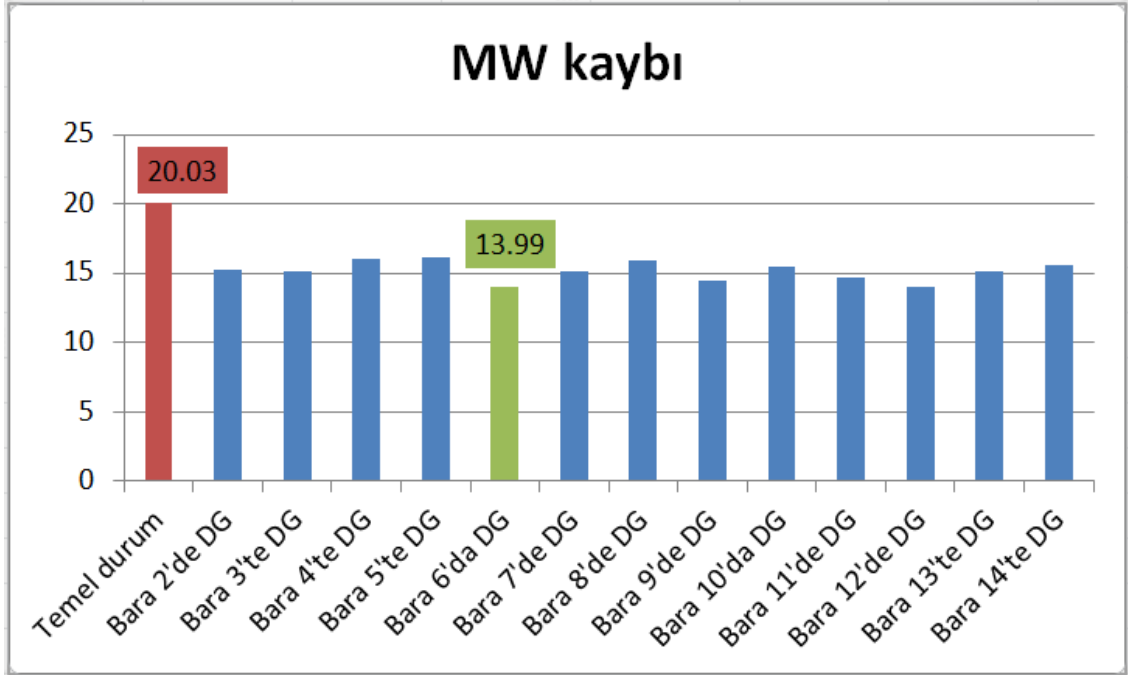
Kontrol Değişkenleri	Min	Max	Temel durum	Bara 2'de DG	Bara 3'te DG	Bara 4'te DG	Bara 5'te DG	Bara 6'da DG	Bara 7'de DG	Bara 8'de DG	Bara 9'de DG	Bara 10'da DG	Bara 11'de DG	Bara 12'de DG	Bara 13'te DG	Bara 14'te DG	
Generatör Gerilim Genliği	V1	0.95	1.1	1.06	1.071	1.000	1.019	1.021	0.950	1.039	1.013	0.954	1.027	1.014	1.038	1.041	1.094
	V2	0.95	1.1	1.045	0.985	1.092	0.975	1.013	0.960	1.046	1.084	0.953	1.049	1.008	0.983	1.036	0.993
	V3	0.95	1.1	1.01	1.029	0.953	1.083	1.001	0.987	1.064	1.001	0.976	1.068	1.013	0.996	1.055	1.055
	V4	0.95	1.1				1.050										
	V5	0.95	1.1				1.006										
	V6	0.95	1.1	1.07	1.011	1.086	1.071	1.016	0.957	0.967	1.050	0.964	1.056	1.075	1.019	0.957	0.984
	V7	0.95	1.1							1.031							
	V8	0.95	1.1	1.09	1.028	0.983	1.069	0.981	0.950	1.018	0.996	0.982	1.010	0.960	0.995	1.062	1.098
	V9	0.95	1.1									0.966					
	V10	0.95	1.1										1.093				
	V11	0.95	1.1											1.068			
	V12	0.95	1.1												1.021		
	V13	0.95	1.1													1.035	
	V14	0.95	1.1														0.990
Trafo Kademe Ayarları	Tap1 (4to7)	0.975	1.025	0.978	1.023	1.005	1.004	0.993	0.994	0.977	0.999	0.988	0.987	0.990	1.019	1.005	0.993
	Tap2 (4to9)	0.975	1.025	0.969	1.018	0.984	0.993	0.978	0.975	0.977	0.996	1.005	0.983	0.986	1.021	1.002	0.978
	Tap3 (5to6)	0.975	1.025	0.932	0.976	0.998	1.009	0.995	1.007	1.020	1.002	1.005	0.998	0.998	1.003	1.001	0.998
Şönt VAR	Shunt 9	0	20	19	18.234	10.564	6.895	14.095	20.000	16.633	12.573	16.419	10.906	18.286	10.566	9.037	12.052
Aktif GüçKaybı	Loss MW	-	-	20.029	13.432	13.245	13.568	13.939	13.346	13.640	13.317	13.671	13.695	13.793	14.020	14.453	14.430

Tablo 5.26. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin HPSOM sonuçları

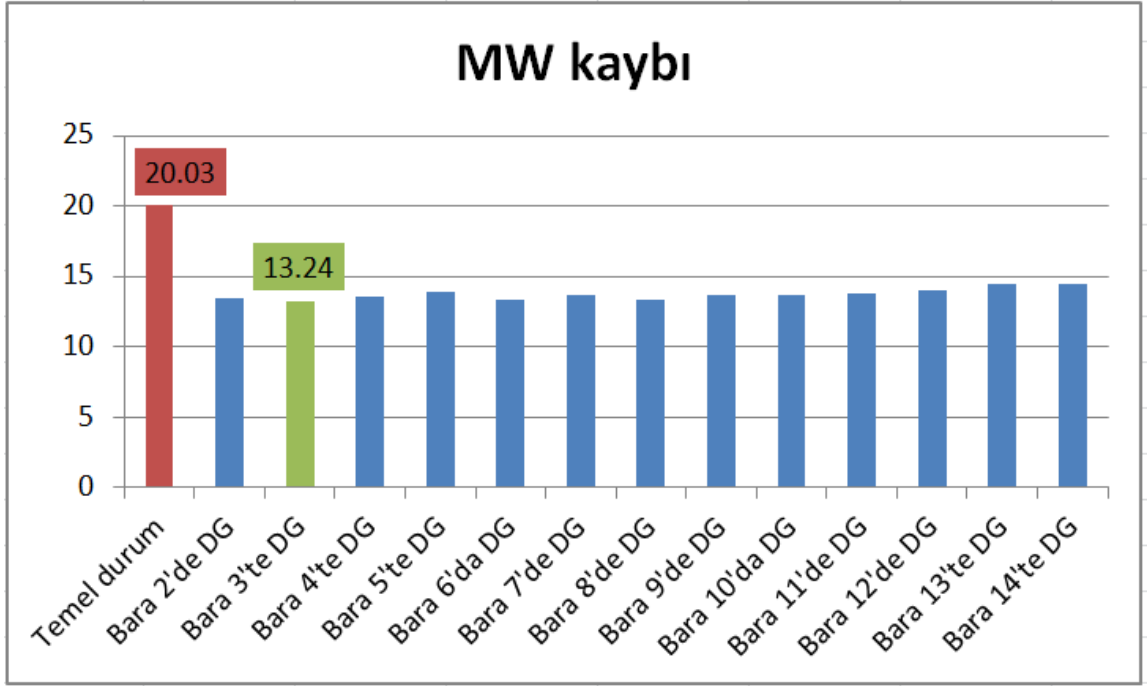
Kontrol Değişkenleri	Min	Max	Temel durum	Bara 2'de DG	Bara 3'te DG	Bara 4'te DG	Bara 5'te DG	Bara 6'da DG	Bara 7'de DG	Bara 8'de DG	Bara 9'de DG	Bara 10'da DG	Bara 11'de DG	Bara 12'de DG	Bara 13'te DG	Bara 14'te DG	
Generatör Gerilim Genliği	V1	0.95	1.1	1.06	0.940	0.952	0.935	0.942	0.945	0.945	0.940	0.920	0.936	0.931	0.951	0.946	0.964
	V2	0.95	1.1	1.045	0.958	0.960	0.954	0.967	0.973	0.956	0.961	0.937	0.963	0.966	0.974	0.960	0.980
	V3	0.95	1.1	1.01	0.986	0.977	0.981	1.011	0.998	1.008	0.992	1.002	0.979	0.990	1.030	1.021	1.057
	V4	0.95	1.1				0.985										
	V5	0.95	1.1				0.988										
	V6	0.95	1.1	1.07	1.003	0.989	1.028	0.994	0.999	0.974	0.994	0.982	0.999	1.045	1.001	0.965	0.993
	V7	0.95	1.1						1.007								
	V8	0.95	1.1	1.09	0.963	0.941	1.010	1.017	0.996	0.967	1.064	1.018	1.013	0.974	1.068	0.959	0.979
	V9	0.95	1.1									0.960					
	V10	0.95	1.1										1.018				
	V11	0.95	1.1											1.056			
	V12	0.95	1.1												1.007		
	V13	0.95	1.1													0.975	
	V14	0.95	1.1														1.018
Trafo Kademe Ayarları	Tap1 (4to7)	0.975	1.025	0.978	0.971	0.973	1.004	1.029	0.989	0.992	1.005	1.009	1.003	1.014	1.000	0.986	1.013
	Tap2 (4to9)	0.975	1.025	0.969	0.967	0.993	0.969	0.989	0.994	0.996	1.015	1.011	0.994	0.983	0.984	1.024	0.985
	Tap3 (5to6)	0.975	1.025	0.932	0.985	1.008	1.011	0.992	0.992	0.986	0.992	1.009	1.003	0.985	0.997	1.028	0.985
Şönt VAR	Shunt 9	0	20	19	16.388	3.115	15.168	5.867	14.065	5.104	9.574	4.301	12.291	17.498	11.967	14.526	6.748
Aktif GüçKaybı	Loss MW	-	-	20.029	13.540	13.545	13.266	13.580	13.605	13.784	13.695	13.460	13.344	13.824	14.091	13.500	14.366



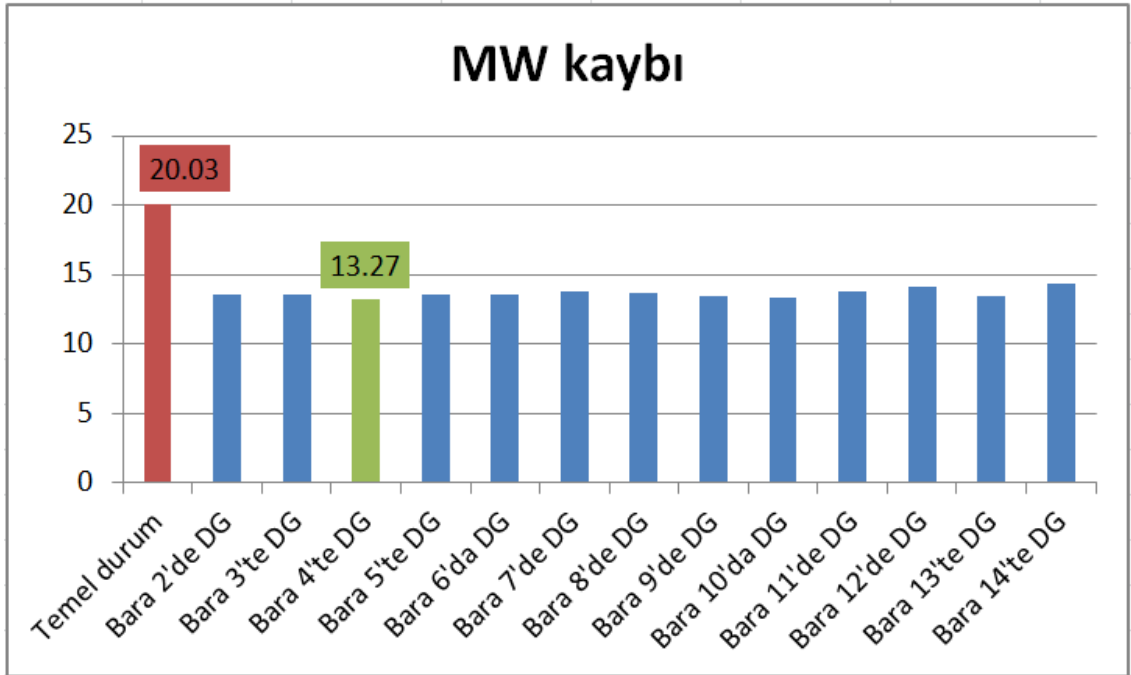
Şekil 5.25. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin PSO sonuçları



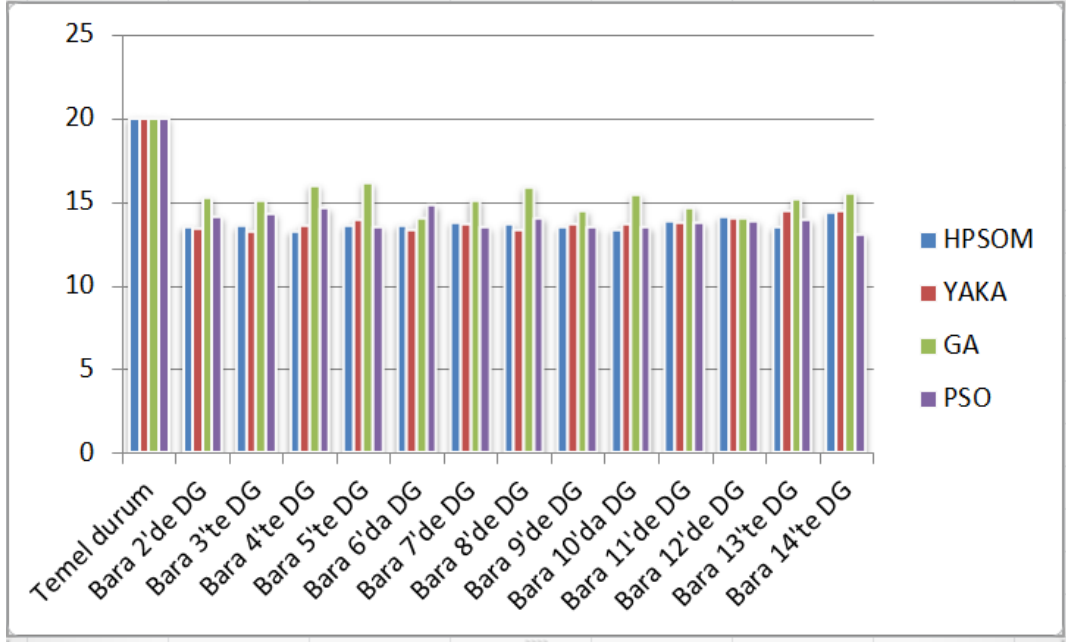
Şekil 5.26. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin GA sonuçları



Şekil 5.27. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin YAKA sonuçları



Şekil 5.28. Farklı baralarda DG yerleşimin ORGD'nin HPSOM sonuçları



Şekil 5.29. Farklı baralarda DG yerleşiminin farklı algoritmalarla ORGD sonuçları

## **BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME**

Reaktif güç dağıtımı hem kesintisiz hem de kesikli kontrol değişkenlerini içeren doğrusal olmayan bir optimizasyon problemidir. ORGD karmaşık özelliklere sahiptir ve geleneksel yöntemler ORGD problemlerinin çözümünde eksiklikler göstermiştir, bu nedenle sezgisel optimizasyon yöntemleri ORGD problemi için etkili bir çözüm haline gelmiştir.

Bu tezde, reaktif güç dağıtımı problemini çözmek ve mevcut sistemde yeni kurulan GG'nin optimum yerleşimini belirlemek için yapay zekalı algoritmaların JPOWER ile birleşik tekniği uygulanmaktadır. Bu çalışmada, önerilen tekniğin performansını test etmek için IEEE 14 bus sistemini kullanılmaktadır ve güç sisteminde DG yerleştirmeden ve yerleştirdikten sonra PSO, ABC, GA, HPSOM optimizasyon teknikleriyle optimize ederek sonuçları karşılaştırmaktadır.

Sonuçlarda DG ile dağıtım sistemi için reaktif güç dağıtım yönteminin, aktif güç kaybını DG'siz bir dağıtım sisteminden daha da azaltabileceği gözlemlenebilir. Elde edilen düşük aktif güç kaybının yararı, güç sisteminde daha iyi bir ekonomik güç akışı ve güvenli çalışma sağlayacaktır. Ayrıca, optimizasyon teknikleri arasında bir Hibrit optimizasyon metodunun daha iyi performans gösterebileceği ve en uygun çözümü temin ettiği gözlemlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] B. E. Turkay and R. I. Cabadag, "Optimal power flow solution using particle swarm optimization algorithm," *Eurocon, 2013 Ieee*, no. July, pp. 1–4, 2013.
- [2] H. Om and S. Shukla, "Optimal Power Flow Analysis of IEEE-30 bus System using Soft Computing Techniques," no. 8, pp. 38–42, 2015.
- [3] K. Ayan and U. Kılıç, "Artificial bee colony algorithm solution for optimal reactive power flow," *Appl. Soft Comput.*, vol. 12, no. 5, pp. 1477–1482, 2012.
- [4] A. EL-Shimy, Mohamed & AR, "Implementation and Analysis of Genetic Algorithms (GA) to the Optimal Power Flow (OPF) Problem," *Sci. Bull. - Fac. Eng. - Ain Shams Univ.*, vol. 41, no. 1, pp. 1–19, 2006.
- [5] S. Durairaj, P. S. Kannan, and D. Devaraj, "Application of Genetic Algorithm to Optimal Reactive Power Dispatch including Voltage Stability Constraint," *J. Energy Environ.* 4, vol. 4, pp. 63–73, 2005.
- [6] T. A. Dawood Talebi Khanmiri, Nasibeh Nasiri, "Optimal reactive power dispatch using an adaptive genetic algorithm," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 20, no. 8, pp. 563–569, 1998.
- [7] C. Kumar and C. P. Raju, "Constrained Optimal Power Flow using Particle Swarm Optimization," vol. 2, no. 2, 2012.
- [8] X. Kou, "Particle Swarm Optimization Based Reactive Power Dispatch for Power Networks with Distributed Generation," vol. 6, no. 4, pp. 53–60, 2015.
- [9] L. Le Dinh, D. V. Ngoc, and P. Vasant, "Artificial Bee Colony Algorithm for Solving Optimal Power Flow Problem," vol. 2013, 2013.
- [10] S. Mouassa, "Artificial Bee Colony Algorithm for Discrete Optimal Reactive Power Dispatch," no. October, 2015.

- [11] V. N. Dieu, N. H. T. An, V. N. Dieu, N. Huu, T. An, and V. T. Kien, "Optimal Reactive Power Dispatch Using Artificial Bee Colony Method," vol. 9, pp. 29–36, 2015.
- [12] A. Monti and F. Ponci, *Intelligent Monitoring, Control, and Security of Critical Infrastructure Systems*, vol. 565. 2015.
- [13] X. Zhang, "ELECTRIC POWER SYSTEM ANALYSIS, OPERATION AND CONTROL," *Inst. Energy Res. Policy, Univ. Birmingham, UK*, vol. III.
- [14] M. Ceraolo and D. Poli, "Fundamentals of Electric Power Engineering: From Electromagnetics to Power Systems," *Fundam. Electr. Power Eng. From Electromagn. to Power Syst.*, pp. 1–532, 2014.
- [15] F. Saccomanno, "Introduction To the Problems of Analysis and Control," 2005, pp. 1–33.
- [16] L. K. Gautam, M. Mishra, and T. Bisht, "a Methodology for Power Flow & Voltage Stability Analysis," pp. 321–326, 2015.
- [17] M. Varan, "154/380 kV Kuzeybatı Anadolu İletim Hattı için Kısa Devre ve Reaktif Arıza İncelemelerinin Gerçekleştirilmesi," *SAÜ Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 20, no. 3, pp. 679–687, 2016.
- [18] K. Singhal, "Comparison Between Load Flow Analysis Methods in Power System using MATLAB," vol. 5, no. 5, 2014.
- [19] M. Čepin, "Assessment of Power System Reliability," no. 1949, pp. 119–123, 2011.
- [20] J. Zhu, *Optimization of Power System Operation*. John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [21] S. A. Soliman and A. H. Mantawy, *Modern Optimization Techniques with Applications in Electric Power Systems*, vol. 1. 2012.
- [22] M. Abdelmoumene and B. Mohamed, "Optimal Power Flow Solution Using Efficient," pp. 1–7.
- [23] K. Pandya and S. K. Joshi, "A survey of optimal power flow methods," vol. 4, no. January 2008, 2016.



- [24] M. R. AlRashidi and M. E. El-Hawary, "Hybrid particle swarm optimization approach for solving the discrete OPF problem considering the valve loading effects," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, no. 4, pp. 2030–2038, 2007.
- [25] M. B. Maskar, "A Review on Optimal power flow problem and solution methodologies," *2017 Int. Conf. Data Manag. Anal. Innov. Zeal Educ. Soc. Pune, India, Feb 24-26, 2017*, pp. 64–70, 2017.
- [26] R. Sarker and C. Newton, *Optimization modelling : a practical introduction*. 2007.
- [27] X.-S. Yang, *Engineering optimization : an introduction with metaheuristic applications*, no. April 2013. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007.
- [28] D. Hermawanto, "Genetic Algorithm for Solving Simple Mathematical Equality Problem," 2013.
- [29] C. A. Coello Coello, G. B. Lamont, and D. a Van Veldhuizen, *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems*. 2007.
- [30] a a a Esmin, G. Lambert-Torres, and a C. Zambroni de Souza, "A hybrid particle swarm optimization applied to loss power minimization," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 2, pp. 859–866, 2005.
- [31] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sanchez, and T. R. J., "Matpower: Steady-State Operations, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education," *Power Syst. IEEE Trans.*, vol. 26, no. 1, pp. 12–19, 2011.
- [32] E. Policy, "Distributed generation: Definition , benefits and issues DEFINITION , BENEFITS AND ISSUES," no. April, 2005.
- [33] H. Sajir and A. Farzamnia, "Reduce Power Losses and Improve Voltage Level by Using Distributed Generation in Radial Distributed Grid," no. October, pp. 128–133, 2017.
- [34] M. Norshahrani, H. Mokhlis, A. Abu Bakar, J. Jamian, and S. Sukumar, "Progress on Protection Strategies to Mitigate the Impact of Renewable Distributed Generation on Distribution Systems," *Energies*, vol. 10, no. 11, p. 1864, 2017.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Sajia Haidary, 16.03.1990'de Afganistan'ın Kabil şehrinde doğdu. İlk ve orta eğitimini Pakistan'ın Peshawar şehrinde ve lise eğitimini Afganistan'ın Kabil şehrinde tamamladı. 2005 yılında Kabil Sultan Razia Lisesi'nden mezun oldu. 2006 yılında başladığı Kabil Üniversitesi Bilgisayar Bilimleri bölümü'nü 2011 yılında bittirdi. 2014 yılından şu ana kadar Sakarya Üniversitesi Bilgisayar ve Bilişim Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimini görmektedir.