



**RUNGE KUTTA OPTİMİZASYON ALGORİTMASININ
VALF NOKTASI ETKİLİ EKONOMİK GÜÇ DAĞITIM
PROBLEMLERİNE UYGULANMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Fatih CANTAŞ

Kütahya - 2023

T.C.
KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**RUNGE KUTTA OPTİMİZASYON ALGORİTMASININ
VALF NOKTASI ETKİLİ EKONOMİK GÜÇ DAĞITIM
PROBLEMLERİNE UYGULANMASI**

Danışman:
Doç. Dr. Serdar ÖZYÖN

Hazırlayan:
Fatih CANTAŞ

Kütahya – 2023

Kabul ve Onay

KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana bilim dalında, 801920110113 öğrenci numaralı, Fatih CANTAŞ'ın hazırlamış olduğu “RUNGE KUTTA OPTİMİZASYON ALGORİTMASININ VALF NOKTASI ETKİLİ EKONOMİK GÜÇ DAĞITIM PROBLEMLERİNE UYGULANMASI” başlıklı yüksek lisans tez çalışması ile ilgili tez savunma sınavı jüri tarafından yapılmış ve adayın tezinin OY BİRLİĞİ ile kabul edilmesine karar verilmiştir.

10/05/2023

Tez Jürisi	İmza	
	Kabul	Red
Doç. Dr. Serdar ÖZYÖN (Danışman)		
Prof. Dr. Celal YAŞAR		
Doç. Dr. Asım Gökhan YETGİN		

Onay

Doç. Dr. Arif KOLAY

Enstitü Müdürü

Bilimsel Etik Bildirimi

Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığım “*Runge Kutta Optimizasyon Algoritmasının Valf Noktası Etkili Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerine Uygulanması*” adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlandığı aşamaya kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığımı, bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

10/05/2023

Fatih CANTAŞ

Özgeçmiş

1. Adı Soyadı Fatih CANTAŞ

2. Öğrenim Durumu

Derece	Alan	Üniversite	Yılı
Lisans	Elektrik Elektronik Mühendisliği	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi	2006
Lise	Fen Bilimleri	Mehmet Akif Ersoy Lisesi	2000

3. İş Tecrübesi

Ünvan	İş Yeri	Yılı
Elektrik Elektronik Mühendisliği	Zorlu Enerji A.Ş.	2018-Devam Ediyor
Elektrik Elektronik Mühendisliği	Osmangazi Elektrik Dağıtım A.Ş.	2012-2018

ÖZET

RUNGE KUTTA OPTİMİZASYON ALGORİTMASININ VALF NOKTASI ETKİLİ EKONOMİK GÜÇ DAĞITIM PROBLEMLERİNE UYGULANMASI

CANTAŞ, Fatih

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Serdar ÖZYÖN

Mayıs, 2023, 199 sayfa

Bu çalışmada, son dönemde ortaya çıkan optimizasyon algoritmalarından biri olan Runge Kutta (RUN) algoritmasıyla, ilk olarak çeşitli test fonksiyonlarının çözümleri yapılmış daha sonra farklı yaklaşımlarla algoritmanın ekonomik güç dağıtım problemleri üzerindeki performansına bakılmıştır. Algoritmalar kullanılırken en önemli durumlar, problemlerin doğru bir şekilde modellenmesi, problemlere ait parametre değerlerinin ve kısıtlarının belirlenmesi ve amaç fonksiyonunun çözümleri için en doğru meta-sezgisel algoritmanın seçilmesidir. Seçilen her algoritma tüm problemlere uygun olmayabilir hatta bazı durumlarda aynı problemin içinde birden çok algoritma kullanılması gerekebilir. Bu yüzden çalışmada, öncelikle RUN algoritmasının Unimodal, multimodal ve sabit boyutlu test fonksiyonları için uygun olup olmadığı değerlendirilmiştir. Daha sonra Runge-Kutta algoritması, önemli güç problemlerinden biri olan konveks olmayan valf noktası etkili ekonomik güç dağıtım problemlerinin çözümü için kullanılmıştır. Bu tür problemlerde yakıt maliyet eğrisinin sinüzoidal bir şekilde artış yaptığı gözlemlenmiştir. Belirlenen iki farklı test sistemi, üç farklı şekilde çözülmüştür. Birinci durum için iletim hattı kayıpları ihmal edilmiş, ikinci durumda iletim hattı kayıpları B kayıp matrisi ile hesaplanmış, son durumda ise bu kayıplar AC yük akışı yapılarak bulunmuştur. Örnek güç sistemleri olarak 10 bara 6 generatörlü ve 30 bara 6 generatörlü (IEEE) iki adet test sistemi seçilmiştir. Seçilen bu güç sistemlerinin çözümlerinden elde edilen en iyi sonuçlar literatürdeki bazı algoritmalarla elde edilen en iyi çözümler ile karşılaştırılmış ve RUN algoritmasının problemler üzerindeki etkinliği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AC Güç Akışı, B Kayıp Matrisleri, Multimodal ve Sabit Boyutlu Test Fonksiyonları, Runge Kutta Algoritması, Unimodal, Valf Noktası Etkili Ekonomik Güç Dağıtım Problemi

ABSTRACT**APPLICATION OF RUNGE KUTTA ALGORITHM TO VALVE POINT
EFFECT ECONOMIC POWER DISPATCH PROBLEMS****CANTAŞ, Fatih****Master Thesis, Department of Electrical and Electronics Engineering****Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Serdar ÖZYÖN****May, 2023, 199 pages**

In this study, with the Runge Kutta (RUN) algorithm, which is one of the optimization algorithms that has emerged recently, various test functions are solved first and then the performance of the algorithm on economic power dispatch problems is examined with different approaches. The most important conditions when using algorithms are modeling the problems correctly, determining the parameter values and constraints of the problems, and choosing the most accurate meta-heuristic algorithm for the solution of the objective function. Each chosen algorithm may not be suitable for all problems, and in some cases, it may be necessary to use more than one algorithm for the same problem. Therefore, in the study, firstly, it was evaluated whether the RUN algorithm is suitable for Unimodal, multimodal and fixed size test functions. Then, the Runge-Kutta algorithm is used to solve one of the important power problems, one of the economic power dispatch problems with non-convex valve point effect. In such problems, it has been observed that the fuel cost curve increases in a sinusoidal way. Two different test systems determined were solved in three different ways. For the first case, transmission line losses are neglected, in the second case, transmission line losses are calculated with B loss matrix, and in the last case, these losses are found by making AC load flow. Two test systems with 10 bus 6 generator and 30 bus 6 generator (IEEE) were selected as sample power systems. The best results obtained from the solutions of these selected power systems were compared with the best solutions obtained with some algorithms in the literature and the effectiveness of the RUN algorithm on the problems was evaluated.

Keywords: AC Power Flow, B Loss Matrices, Multimodal And Fixed Dimensional Test Functions, Runge Kutta Algorithm, Unimodal, Valve Point Effect Economic Power Dispatch Problem

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında bana her türlü desteği veren, ilgisini ve bilgisini bizden esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Serdar ÖZYÖN'e, destekleri için Prof. Dr. Celal YAŞAR ve Doç. Dr. Hasan Temurtaş hocalarıma, Hakan ÇAM ve M. Fatih KAYA arkadaşlarıma, bu süreçte manen yardımlarını sürekli üzerimde hissettiğim aileme ve canım eşime, çalışmamda emeği geçen herkese sonsuz teşekkür ediyorum.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR	xxiv

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. LİTERATÜR TARAMASI	2
-------------------------------	---

İKİNCİ BÖLÜM

GÜÇ AKIŞ ANALİZİ

2.1. AC GÜÇ AKIŞI.....	11
2.2. NEWTON-RAPHSON METODU.....	13
2.2.1. Yük Akışı Çözümü için Newton Raphson Algoritması.....	15

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

YÖNTEM

3.1. RUNGE KUTTA ALGORİTMASI.....	19
3.1.1. Dördüncü Mertebeden Runge-Kutta Yöntemi.....	20
3.1.2. Başlatma Adımı	20
3.1.3. Arama Mekanizmasının Kökü	21
3.1.4. Çözümlerin Güncellenmesi.....	21
3.1.5. Gelişmiş Çözüm Kalitesi (ESQ)	24
3.2. DİFERANSİYEL GELİŞİM ALGORİTMASI (De)	27
3.3. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI (PSO).....	30
3.4. YERÇEKİMSSEL ARAMA ALGORİTMASI (GSA)	32

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

TEST FONKSİYONLARI

4.1. TEST FONKSİYONLARINA GİRİŞ	35
---------------------------------------	----

4.1.1. Test Fonksiyonlarının Özellikleri	38
4.2. SAYISAL SONUÇLAR.....	44
4.3. TEST FONKSİYONLARI İÇİN RUNGE KUTTA ALGORİTMASININ DİĞER ALGORİTMALAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI	44

BEŞİNCİ BÖLÜM

VALF NOKTASI ETKİLİ EKONOMİK GÜÇ DAĞITIM PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜLMESİ

5.1. PROBLEMİN FORMÜLASYONU	75
5.2. ALGORİTMALARIN EGD PROBLEMİNE UYGULANMASI.....	77
5.3. ÖRNEK PROBLEMLERİN ÇÖZÜMLERİ	79
5.3.1. On Baralı Örnek Güç Sisteminin Çözümü.....	79
5.3.1.1. İletim Hattı Kayıpları İhmal Edilerek (Kayıpsız-10 Bara).....	81
5.3.1.2. İletim Hattı Kayıpları Dahil Edilerek B Kayıp Matrisi Yöntemiyle Çözülmesi (10 Bara)	92
5.3.1.3. İletim Hattı Kayıpları Dahil Edilerek AC Yük Akışı Yöntemiyle Çözülmesi (10 Bara)	106
5.3.2. Otuz Baralı Örnek Güç Sisteminin Çözümü.....	121
5.3.2.1. İletim Hattı Kayıpları İhmal Edilerek (Kayıpsız- 30 Bara).....	122
5.3.2.2. İletim Hattı Kayıpları Dahil Edilerek B Kayıp Matrisi Yöntemiyle Çözülmesi (30 Bara)	133
5.3.2.3. İletim Hattı Kayıpları Dahil Edilerek AC Yük Akışı Yöntemiyle Çözülmesi (30 Bara)	147

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	164
KAYNAKÇA	165
DİZİN	170

TABLOLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Bara Tiplerine Göre Bilinen ve Bilinmeyen Parametreler.....	13
Tablo 4.1: Unimodal Test Fonksiyonları	35
Tablo 4.2: Multimodal Test Fonksiyonları	36
Tablo 4.3: Sabit Boyutlu Multimodal Test Fonksiyonları	36
Tablo 4.4: $f_{14}(x)$ Fonksiyonundaki a_{ij} Katsayıları	37
Tablo 4.5: $f_{15}(x)$ Fonksiyonundaki a_i ve b_i Katsayıları.....	37
Tablo 4.6: $f_{19}(x)$ Fonksiyonundaki a_{ij} , c_i ve P_{ij} Katsayıları	37
Tablo 4.7: $f_{20}(x)$ Fonksiyonundaki a_{ij} , c_i ve P_{ij} Katsayıları	37
Tablo 4.8: $f_{21}(x)$, $f_{22}(x)$ ve $f_{23}(x)$ Fonksiyonlarındaki a_{ij} ve c_i Katsayıları.....	37
Tablo 4.9: Test Fonksiyonlarının Özellikleri	38
Tablo 4.10: Unimodal Test Fonksiyonları İçin Elde Edilen Sonuçlar	45
Tablo 4.11: Multimodal Test Fonksiyonları İçin Elde Edilen Sonuçlar	54
Tablo 4.12: Sabit Boyutlu Multimodal Test Fonksiyonları İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	61
Tablo 5.1: Konveks Olmayan Yakıt Maliyeti Fonksiyon Katsayıları ve Generatör Çıkış Gücü Sınır Değerleri.....	80
Tablo 5.2: On Baralı Güç Sisteminin Aktif Ve Reaktif Yük Değerleri (P_u)	81
Tablo 5.3: On Baralı Güç Sisteminin DE Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları	81
Tablo 5.4: On Baralı Güç Sisteminin PSO Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları	83
Tablo 5.5: On Baralı Güç Sisteminin GSA İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları	85
Tablo 5.6: On Baralı Güç Sisteminin RUN İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları....	87
Tablo 5.7: Farklı Algoritmalarla Göre Toplam Yakıt Maliyeti Değerlerinin Karşılaştırılması	88
Tablo 5.8: On Baralı Test Sistemine Ait B Kayıp Matrisi Değerleri.....	93
Tablo 5.9: On Baralı Güç Sisteminin DE Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları.....	93
Tablo 5.10: On Baralı Güç Sisteminin PSO Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları	95
Tablo 5.11: On Baralı Güç Sisteminin GSA İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları ..	97

Tablo 5.12: On Baralı Güç Sisteminin RUN İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları.....	99
Tablo 5.13: Farklı Algoritmalarla Göre Toplam Yakıt Maliyeti Değerlerinin Karşılaştırılması	101
Tablo 5.14: On Baralı Güç Sistemine Ait İletim Hatlarının Eşdeğer Π Devresi Parametreleri	107
Tablo 5.15: On Baralı Güç Sistemindeki Üretim Birimlerine Ait Başlangıç Reaktif Güç Üretim Değerleri	107
Tablo 5.16: On Baralı Güç Sisteminin DE Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları	107
Tablo 5.17: On Baralı Güç Sisteminin PSO Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları	110
Tablo 5.18: On Baralı Güç Sisteminin GSA İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları.....	112
Tablo 5.19: On Baralı Güç Sisteminin RUN İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları.....	114
Tablo 5.20: Farklı Algoritmalarla Göre Toplam Yakıt Maliyeti Değerlerinin Karşılaştırılması	115
Tablo 5.21: Yakıt Maliyeti Fonksiyon Katsayıları, Rampa Oranı Sınır Değerleri ve Generatör Çıkış Gücü Sınır Değerleri.....	122
Tablo 5.22: Otuz Baralı Güç Sistemine Ait Aktif ve Reaktif Yük Değerleri	122
Tablo 5.23: Otuz Baralı Güç Sisteminin DE Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları	123
Tablo 5.24: Otuz Baralı Güç Sisteminin PSO Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları	124
Tablo 5.25: Otuz Baralı Güç Sisteminin GSA İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları.....	126
Tablo 5.26: Otuz Baralı Güç Sisteminin RUN İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları.....	128
Tablo 5.27: Farklı Algoritmalarla Göre Toplam Yakıt Maliyeti Değerlerinin Karşılaştırılması	130
Tablo 5.28: Otuz Baralı Test Sistemine Ait B Kayıp Matrisi Değerleri	134
Tablo 5.29: Otuz Baralı Güç Sisteminin DE Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları	134

Tablo 5.30: Otuz Baralı Güç Sisteminin PSO Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları	136
Tablo 5.31: Otuz Baralı Güç Sisteminin GSA İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları.....	138
Tablo 5.32: Otuz Baralı Güç Sisteminin RUN İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları.....	140
Tablo 5.33: Farklı Algoritmalarla Göre Toplam Yakıt Maliyeti Değerlerinin Karşılaştırılması	142
Tablo 5.34: Otuz Baralı Güç Sistemine Ait İletim Hatlarının Eşdeğer π Devresi Parametreleri (Pu)	148
Tablo 5.35: Otuz Baralı Güç Sistemindeki Üretim Birimlerine Ait Başlangıç Reaktif Güç Üretim Değerleri	149
Tablo 5.36: Otuz Baralı Güç Sisteminin DE Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları	149
Tablo 5.37: Otuz Baralı Güç Sisteminin PSO Algoritması ile Çözümünden Elde Edilen Sonuçları	151
Tablo 5.38: Otuz Baralı Güç Sisteminin GSA İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları.....	153
Tablo 5.39: Otuz Baralı Güç Sisteminin RUN İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları.....	155
Tablo 5.40: Farklı Algoritmalarla Göre Toplam Yakıt Maliyeti Değerlerinin Karşılaştırılması	157

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Beş Baralı Sisteminin Tek Hat Şeması	10
Şekil 3.1: Bir Sonraki Konumu Elde Etmek İçin RK Tarafından Kullanılan Eğimler x_{k+1}	22
Şekil 3.2: RUN Algoritmasının Arama Mekanizması	23
Şekil 3.3: ESQ Arama Mekanizması	25
Şekil 3.4: RUN Algoritmasının Akış Şeması	26
Şekil 3.5: DE'nin Akış Diyagramı	29
Şekil 3.6: PSO Akış Diyagramı	31
Şekil 3.7: GSA Akış Diyagramı	33
Şekil 4.1: f_1 İçin Kutu Grafiği	46
Şekil 4.2: f_1 İçin Yakınsama Eğrisi	46
Şekil 4.3: f_2 İçin Kutu Grafiği	47
Şekil 4.4: f_2 İçin Yakınsama Eğrileri.....	47
Şekil 4.5: f_3 İçin Kutu Grafiği	48
Şekil 4.6: f_3 İçin Yakınsama Eğrileri.....	48
Şekil 4.7: f_4 İçin Kutu Grafiği	49
Şekil 4.8: f_4 İçin Yakınsama Eğrileri.....	49
Şekil 4.9: f_5 İçin Kutu Grafiği	50
Şekil 4.10: f_5 İçin Yakınsama Eğrileri.....	51
Şekil 4.11: f_6 İçin Kutu Grafiği	51
Şekil 4.12: f_6 İçin Yakınsama Eğrileri.....	52
Şekil 4.13: f_7 İçin Kutu Grafiği	52
Şekil 4.14: f_7 İçin Yakınsama Eğrileri.....	53
Şekil 4.15: f_8 İçin Kutu Grafiği	55
Şekil 4.16: f_8 İçin Yakınsama Eğrileri.....	55

Şekil 4.17: f_9 İçin Kutu Grafiği	56
Şekil 4.18: f_9 İçin Yakınsama Eğrileri.....	56
Şekil 4.19: f_{10} İçin Kutu Grafiği.....	57
Şekil 4.20: f_{10} İçin Yakınsama Eğrileri	57
Şekil 4.21: f_{11} İçin Kutu Grafiği.....	58
Şekil 4.22: f_{11} İçin Yakınsama Eğrileri	58
Şekil 4.23: f_{12} İçin Kutu Grafiği.....	59
Şekil 4.24: f_{12} İçin Yakınsama Eğrileri	59
Şekil 4.25: f_{13} İçin Kutu Grafiği.....	60
Şekil 4.26: f_{13} İçin Yakınsama Eğrileri	60
Şekil 4.27: f_{14} İçin Kutu Grafiği.....	62
Şekil 4.28: f_{14} İçin Yakınsama Eğrileri	63
Şekil 4.29: f_{15} İçin Kutu Grafiği.....	63
Şekil 4.30: f_{15} İçin Yakınsama Eğrileri	64
Şekil 4.31: f_{16} İçin Kutu Grafiği.....	64
Şekil 4.32: f_{16} İçin Yakınsama Eğrileri	65
Şekil 4.33: f_{17} İçin Kutu Grafiği.....	65
Şekil 4.34: f_{17} İçin Yakınsama Eğrileri	66
Şekil 4.35: f_{18} İçin Kutu Grafiği	66
Şekil 4.36: f_{18} İçin Yakınsama Eğrileri	67
Şekil 4.37: f_{19} İçin Kutu Grafiği.....	67
Şekil 4.38: f_{19} İçin Yakınsama Eğrileri	68
Şekil 4.39: f_{20} İçin Kutu Grafiği.....	68
Şekil 4.40: f_{20} İçin Yakınsama Eğrileri	69

Şekil 4.41: f_{21} İçin Kutu Grafiği.....	69
Şekil 4.42: f_{21} İçin Yakınsama Eğrileri	70
Şekil 4.43: f_{22} İçin Kutu Grafiği.....	70
Şekil 4.44: f_{22} İçin Yakınsama Eğrileri	71
Şekil 4.45: f_{23} İçin Kutu Grafiği.....	71
Şekil 4.46: f_{23} İçin Yakınsama Eğrileri	72
Şekil 5.1: Valf Noktası Etkilerinin Dikkate Alındığı Yakıt Maliyet Fonksiyonu	76
Şekil 5.2: On Baralı Modifiye Edilmiş Test Sistemine Ait Tek Hat Şeması.....	80
Şekil 5.3: Valf Noktası Etkisiz DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	82
Şekil 5.4: Valf Noktası Etkili DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	82
Şekil 5.5: Valf Noktası Etkisiz PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	83
Şekil 5.6: Valf Noktası Etkili PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	84
Şekil 5.7: Valf Noktası Etkisiz GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	85
Şekil 5.8: Valf Noktası Etkili GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	86
Şekil 5.9: Valf Noktası Etkisiz RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	87
Şekil 5.10: Valf Noktası Etkili RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	88
Şekil 5.11: Valf Noktası Etkisiz Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünde Amaç Fonksiyonlarının ($Afnk$) İterasyonlara Göre Değişimi	89
Şekil 5.12: Valf Noktası Etkisiz Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi	89

Şekil 5.13: Valf Noktası Etkisiz Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünden Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri	90
Şekil 5.14: Valf Noktası Etkili Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümündeki Amaç Fonksiyonlarının (Af_{nk}) İterasyonlara Göre Değişimi	91
Şekil 5.15: Valf Noktası Etkili Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümündeki Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi	91
Şekil 5.16: Valf Noktası Etkili Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünden Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri	92
Şekil 5.17: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	94
Şekil 5.18: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	94
Şekil 5.19: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	96
Şekil 5.20: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	96
Şekil 5.21: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	98
Şekil 5.22: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	98
Şekil 5.23: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	100

Şekil 5.24: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde SMA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	100
Şekil 5.25: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Amaç Fonksiyonlarının (Af_{nk}) İterasyonlara Göre Değişimi	102
Şekil 5.26: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi.....	102
Şekil 5.27: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi	103
Şekil 5.28: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri	103
Şekil 5.29: Valf Noktası Etkili Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Amaç Fonksiyonlarının (Af_{nk}) İterasyonlara Göre Değişimi	104
Şekil 5.30: Valf Noktası Etkili Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi.....	104
Şekil 5.31: Valf Noktası Etkili Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi	105
Şekil 5.32: Valf Noktası Etkili Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri	106
Şekil 5.33: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	108
Şekil 5.34: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	109

Şekil 5.35: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	110
Şekil 5.36: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	111
Şekil 5.37: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	112
Şekil 5.38: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	113
Şekil 5.39: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	114
Şekil 5.40: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	115
Şekil 5.41: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Amaç Fonksiyonlarının ($Afnk$) İterasyonlara Göre Değişimi	116
Şekil 5.42: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi	116
Şekil 5.43: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi.....	117
Şekil 5.44: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri	118
Şekil 5.45: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Amaç Fonksiyonlarının ($Afnk$) İterasyonlara Göre Değişimi	119

Şekil 5.46: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi	119
Şekil 5.47: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi	120
Şekil 5.48: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri	120
Şekil 5.49: Otuz Baralı Modifiye Edilmiş Sisteme Ait Tek Hat Şeması.....	121
Şekil 5.50: Valf Noktası Etkisiz DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	123
Şekil 5.51: Valf Noktası Etkili DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	124
Şekil 5.52: Valf Noktası Etkisiz PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	125
Şekil 5.53: Valf Noktası Etkili PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	125
Şekil 5.54: Valf Noktası Etkisiz GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi.....	127
Şekil 5.55: Valf Noktası Etkili GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	127
Şekil 5.56: Valf Noktası Etkisiz RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	129
Şekil 5.57: Valf Noktası Etkili RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	129
Şekil 5.58: Valf Noktası Etkisiz Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünde Amaç Fonksiyonlarının ($Afnk$) İterasyonlara Göre Değişimi	130
Şekil 5.59: Valf Noktası Etkisiz Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi	131

Şekil 5.60: Valf Noktası Etkisiz Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünden Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri	131
Şekil 5.61: Valf Noktası Etkili Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümündeki Amaç Fonksiyonlarının (<i>Afnk</i>) İterasyonlara Göre Değişimi	132
Şekil 5.62: Valf Noktası Etkili Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümündeki Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi	132
Şekil 5.63: Valf Noktası Etkili Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünden Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri	133
Şekil 5.64: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	135
Şekil 5.65: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	135
Şekil 5.66: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	137
Şekil 5.67: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	137
Şekil 5.68: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	139
Şekil 5.69: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	139
Şekil 5.70: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	141

Şekil 5.71: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	141
Şekil 5.72: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma ile B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Amaç Fonksiyonlarının (<i>Afnk</i>) İterasyonlara Göre Değişimi	143
Şekil 5.73: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma ile B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi	143
Şekil 5.74: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma ile B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi.....	144
Şekil 5.75: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma ile B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri	144
Şekil 5.76: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Amaç Fonksiyonlarının (<i>Afnk</i>) İterasyonlara Göre Değişimi	145
Şekil 5.77: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi	146
Şekil 5.78: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi.....	146
Şekil 5.79: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri	147
Şekil 5.80: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	150
Şekil 5.81: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	150

Şekil 5.82: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	152
Şekil 5.83: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	152
Şekil 5.84: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	154
Şekil 5.85: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	154
Şekil 5.86: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde RUN ile Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	156
Şekil 5.87: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde RUN ile Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi	156
Şekil 5.88: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma ile AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Amaç Fonksiyonlarının ($Afnk$) İterasyonlara Göre Değişimi	158
Şekil 5.89: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi	158
Şekil 5.90: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi.....	159
Şekil 5.91: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri	159
Şekil 5.92: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Amaç Fonksiyonlarının ($Afnk$) İterasyonlara Göre Değişimi	160

- Şekil 5.93:** Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi 161
- Şekil 5.94:** Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi 161
- Şekil 5.95:** Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri 162



KISALTMALAR

ABC	Yapay Arı Kolonisi
AC	Alternative Current (Alternatif Akım)
BSA	Geri İzleme Arama Algoritması
CTLBO	Kaotik Öğretme Öğrenme Tabanlı Optimizasyonu
CSA	Guguklu Arama Algoritması
CSDE	Klonal Seçime Dayalı Diferansiyel Gelişim Algoritması
CSO	Çapraz Optimizasyon Algoritması
DE	Differential Evolution (Diferansiyel Gelişim algoritması)
DEGD	Dinamik Ekonomik Güç Dağıtım
EGD	Ekonomik Güç Dağıtım
ED	Ekonomik Dağıtım
EnDEA	Geliştirilmiş Diferansiyel Evrim Algoritması
GBABC	Küresel En İyi Yapay Arı Kolonisi Algoritması
GA	Genetic Algorithms (Genetik Algoritma)
GSA	Gravitational Search Algorithm (Yerçekimsel Arama Algoritması)
IWO	İstilacı Yabani Ot Optimizasyonu
IDE	Geliştirilmiş Diferansiyel Gelişim Algoritması
KGMO	Kinetik Gaz Molekülü Optimizasyonu
MVMO	Popülasyon Tabanlı Meta-Sezgisel Ortalama Varyans Haritalama Optimizasyonu
OCRO	Karşıt Kimyasal Reaksiyon Optimizasyonu
PSO	Particle Swarm Optimization (Parçacık Sürü Optimizasyonu)
RUN	Runge Kutta Algoritması
SMA	Slime Mould Algorithm
SSA	Sosyal Örümcek Algoritması

SQPSO	Parçacık Sürü Optimizasyonuna Dayalı Tür Tabanlı Kuantum Parçacık Sürü Optimizasyonu
Trelea-PSO	Trelea Particle Swarm Optimization Yöntemi
TWh	Tera Watt Saat
DF	Destination Fitness
bF	Best Fitness
wF	Worst Fitness
V_s	Farklı Baralardaki Kompleks Gerilimler
P_i	bir güç sisteminin i . barasına kaynak tarafından basılan aktif güç
Q_i	bir güç sisteminin i . barasına kaynak tarafından basılan reaktif güç
V_i	i . baraya ait gerilim
I_i	i . baraya ait akım
δ_i	i . baraya ait gerilim faz açısı
S_G	Generatörler Tarafından Basılan Kompleks Güçler
S_D	Yükler Tarafından Çekilen Kompleks Güçler
S_i	bir güç sisteminin i . barasına kaynak tarafından basılan kompleks güç



TEZ METNİ



BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ

Günümüzde giderek artan sanayileşme, teknolojik aletlerin çoğalması, elektrikli araçlar ve nüfusun artması enerji talebine olan ihtiyacı giderek arttırmaktadır. Artan ihtiyacı karşılamak adına, daha öncesinde sistemde sadece hidroelektrik ve kömür santralleri mevcutken şimdilerde güneş enerji santralleri, rüzgâr enerji santralleri, biyoenerji santralleri ve nükleer enerji santralleri de sistemde aktif rol almaya başlamışlardır. Yapılan yeni yatırımların birçoğunun özel şirketler tarafından yapılması ve dünyada artan emtia fiyatları sistemde ekonomik güç dağıtım (EGD) hesabının çok daha önemli hale gelmesine neden olmuştur. EGD, üretilen enerjinin en uygun maliyetle en uygun fiyata karşılanması anlamına gelmektedir (Özyön S, 2018).

2022 yılına bakıldığında dünyada tüketilen enerji miktarı 328,9 TWh'e, üretilen enerji miktarı ise 326,2 TWh'e ulaşmıştır. 2035 yılında ise bu rakamların 510,5 TWh'e ulaşması öngörülmektedir. Bu rakamların bize anlatmak istediğine bakacak olursak her geçen gün hızlı bir şekilde enerji ihtiyacının artacağı görülmektedir. Artan bu ihtiyacın karşılanabilmesi için gerekli yatırımların yapılması ve bu yapılan yatırımların doğru üretim şekilleriyle desteklenmesi gerekmektedir. EGD tam bu noktada devreye girerek uygun üretim biçimi ve uygun maliyetler ortaya koyarak kaynakların doğru kullanımına yardımcı olmaktadır (Enerji Bilgi Merkezi, 2023).

Küresel nüfustaki hızlı artış, ülkeleri daha fazla sanayileşmeye ve kalkınmaya itmektedir. Bu hızlı artış enerjiye olan talebi daha da arttırmıştır. Yapılan araştırmalarda dünyada enerjiye olan talebin 2030 yılına kadar %40 oranında artış göstermesi öngörülmektedir. Bu enerji talebinin eşdeğer petrol düzeyinin 2030 yılında 16,8 milyar TEP düzeyine ulaşması beklenmektedir. Enerji ihtiyacında kullanılan ana enerji kaynaklarının atmosfere yaydığı sera etkisinden dolayı, küresel ısınmaya neden olması yenilenebilir enerji kaynaklarına büyük oranda kaymalar meydana getirecektir. 2030 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimdeki payının %70 seviyesine ulaşması beklenmektedir. Enerji kaynaklarındaki bu değişim neticesinde enerji maliyetlerinin optimize edilmesi çok büyük bir öneme sahip olacaktır. Termik santrallerden güneş enerji santrallerine, rüzgâr enerji santrallerinden, biokütle enerji santrallerine kadar birçok yenilebilir enerjinin devreye girmesi ve bunların depolanıp uygun zaman diliminde sisteme verilmesi gereken durumlarda optimal çözümlere çok ihtiyaç duyulacaktır (TSKB Aylık Enerji Bülteni, 2022).

EGD problemlerinin çözümü, en uygun üretim koşullarının belirlenmesinde etkin rol oynamaktadır. Üretim ve dağıtım sisteminde birçok değişkenin olması ve

sistemin oldukça karmaşık oluşundan dolayı sayısal çözümü zor hale gelen bu çeşit problemlerin çözümünde optimizasyon algoritmaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun diğer bir nedeni ise, geniş arama uzayına sahip olan çok boyutlu problemlerin sayısal yöntemler kullanılarak çözümlerinin uzun zamanlar alacak olmasıdır (Temurtaş vd., 2017).

Bu çalışmada problemlerin kabul edilebilir çözümlerinin elde edilebilmesi için diferansiyel denklemlerin sayısal çözümlerinde kullanılan Runge Kutta algoritması kullanılmıştır. Runge Kutta algoritması ilk olarak 23 adet test fonksiyonuna uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmesinden dolayı konveks olmayan termik yakıt maliyeti fonksiyonlarına sahip valf noktası etkileri ekonomik güç dağıtım problemlerinde kullanılmasına karar verilmiştir. Hem test fonksiyonlarının çözümünden elde edilen sonuçlar hem de seçilen örnek güç sistemlerinin çözümünden elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer algoritmalar ile (diferansiyel gelişim - DE, parçacık sürü optimizasyonu - PSO, yerçekimsel arama algoritması - GSA) kıyaslanacak ve değerlendirmeler tartışılacaktır.

1.1. LİTERATÜR TARAMASI

Araştırmacı Rama Prabha vd. tarafından yapılan bir çalışmada, istilacı yabani ot optimizasyonu (IWO) algoritmasını kullanarak valf noktası etkilerini göz önünde bulundurarak ekonomik güç dağıtım (EGD) problemini çözmeyi amaçlayan yeni bir optimizasyon metodolojisi önerilmiştir. IWO, yabani otların kolonizasyonu ve dağılımının ekolojik sürecinden ilham alır ve doğrusal olmayan, genel çok boyutlu optimizasyon problemlerini kayda değer bir verimlilikle çözmeyi amaçlamıştır. Önerilen yöntem 3, 13 ve 40 üretim biriminden oluşan üç farklı test sistemine uygulanmıştır. IWO algoritması uygulanarak, valf noktası etkileriyle birlikte ekonomik güç dağıtım problemi optimize edilmiştir sonuçta tüm kısıtlamalar yerine getirildiğinde maliyetin düşürüldüğü gözlemlenmiştir (Rama Prabha vd., 2016).

Bir diğer araştırmacı Deepro Sen vd. çalışmalarında, EGD problemini çözmek için guguklu arama algoritması (CSA) ve kimyasal reaksiyon optimizasyonunu (CRO) içeren hibrit bir algoritma kullanılmıştır. Çalışmada Lévy Flight ve Random Walk teknikleri uygulanmıştır. Hibrit CSA-CRO algoritması dışbükey olmayan EGD problemlerine uygulanmış ve yasaklanmış çalışma bölgeleri, iletim kayıpları, valf noktası etkileri ve çoklu yakıtlar gibi çeşitli kısıtlamalara sahip iki tip test sistemi üzerinde

denenmiştir. Çalışma sonucunda tasarlanan bu hibrit algoritmanın, üretim maliyeti ve iterasyon başına zaman açısından bireysel CSA ve RCCRO algoritmalarına kıyasla daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir (Sen vd., 2016).

Araştırmacı Chandrasekaran vd. yaptıkları çalışmada, yeni geliştirilmiş çok amaçlı guguklu arama algoritması (CSA) ile EGD problemini çözmeyi amaçlamıştır. CSA, yumurtanın hayatta kalma oranını en üst düzeye çıkarmak ve toplumdaki en iyi habitatı elde etmek için her bireyin yumurtlamak için en uygun yuvayı aradığı (uzlaşmalı çözüm) guguk kuşlarının üreme davranışını dikkate almıştır. Son zamanlarda, yeniden yapılandırılmış güç sisteminden yola çıkarak, çevreyi kirletmeyen, güvenilir ve ekonomik işletme ihtiyacını ele alarak konuya yaklaşmıştır. Bu nedenle, pratik EGD probleminde emisyon, güvenilirlik ve yakıt maliyeti fonksiyonları gibi birbiriyle çelişen üç amaç fonksiyonunu birlikte dikkate almıştır. Çalışmada EGD problemi, termik birimlerin valf noktası etkilerini içeren, düzgün ve konveks olmayan çok amaçlı bir EGD problemi olarak formüle edilmiştir. Sistemin güvenilirlik seviyesi için üyelik fonksiyonu modellenmiş ve güvenilirlik fonksiyonunun pratik bir EGD problemine dahil edilmesinin önemi gösterilmiştir (Chandrasekaran vd., 2014).

Bir başka araştırmada Khoa vd. çalışmalarında, popülasyon tabanlı meta-sezgisel ortalama varyans haritalama optimizasyonu (MVMO) geliştirilerek, sürü tabanlı ortalama varyans haritalama optimizasyonu (MVMOS) olarak adlandırılan yeni bir optimizasyon algoritması kullanmışlardır. Çalışmada MVMOS valf noktası etkilerini göz önünde bulundurarak EGD problemini çözmek için yeni bir yaklaşım olarak önerilmiştir. Önerilen yöntemin performansı valf noktası etkilerinin dikkate alındığı 3 ve 13 termik üretim birimi içeren iki sistem üzerinde test edilmiş ve elde edilen sonuçlar, literatürdeki diğer yöntemlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Önerilen algoritmanın valf noktası etkileri dikkate alınan EGD probleminin çözümünde karşılaştırması yapılan diğer algoritmalara göre daha etkili olduğu belirtilmiştir (Khoa vd., 2014).

Araştırmacı Sunanda Nazra vd. yaptığı çalışmada, valf noktası etkisine sahip sürekli ve düzgün olmayan maliyet fonksiyonu ve çeşitli kısıtlamalar ile çoklu yakıt seçeneklerine dayalı EGD probleminin çözümü için karışık kimyasal reaksiyon optimizasyonu (OCRO) uygulanmıştır. OCRO, bir kimyasal reaksiyonda kimyasal bağların oluşumu ve kırılmasıyla ilgilenen yeni nesil bir optimizasyon algoritmasıdır. Çalışmada seçilen algoritma ile, çoklu yakıt seçenekleriyle birlikte 10 üretim birimli bir sistem ve valf noktası etkileri ve iletim hattı kayıpları dikkate alınan 40 üretim birimli iki

farklı test sisteminin çözümü yapılmıştır. Bu çözümlerden elde edilen sayısal sonuçlarda ise, önerilen OCRO yönteminin iyi yakınsama özelliğine sahip olduğu ve erken yakınsama eksikliğini önleyebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle, elde edilen sayısal sonuçların yanı sıra grafiksel sonuçların da oldukça tatmin edici olduğu ve uygulanabilirliğini gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır (Nazra vd., 2022).

Araştırmacı Dinu Calin Secui vd. tarafından yapılan çalışmada ise, küresel en iyi yapay arı kolonisi algoritması (GBABC) olarak adlandırılan bir optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Çalışmada çözümlerinin güncellenmesinde kullanılan rastgele dizilerin yerine kaotik haritalar tarafından üretilen kaotik dizilerle değiştirildiği bir kaotik optimizasyon yöntemi önerilmiştir. Kaotik CGABC (küresel en iyi yapay arı kolonisi algoritması) olarak adlandırılan bu yeni algoritma, valf noktası etkilerini, iletim hattı kayıplarını, çoklu yakıt kaynaklarını, yasak işletim bölgeleri, bağlantı hattı kapasitelerini ve sistemin farklı alanları arasındaki güç aktarım maliyetlerini birlikte dikkate alan oldukça karmaşık bir EGD problemine uygulanmıştır. CGABC algoritmasının davranışı, çeşitli olasılık yoğunluk fonksiyonlarına sahip hem bir boyutlu hem de iki boyutlu on kaotik harita dikkate alınarak incelenmiştir. Çeşitli kaotik haritalar içeren CGABC algoritmasının performansı, farklı özelliklere, kısıtlamalara ve boyutlara sahip beş örnek güç sistemi (6, 10, 16, 40 ve 120 üretim birimli) üzerinde test edilmiştir. Çalışma sonucunda CGABC algoritması ile elde edilen çözümlerin tüm eşitlik ve eşitsizlik kısıtlarını yüksek doğrulukla sağladığı gözlemlenmiştir (Secui vd., 2015).

Araştırmacı James Yu tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, EGD probleminin çözümünde sosyal örümcek algoritmasına (SSA) dayalı yeni bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu çalışmada valf noktası etkileri, çok yakıtlı kaynaklar, yasaklanmış çalışma bölgeleri ve iletim hattı kayıpları da dikkate alan karmaşık bir EGD probleminin çözümü hedeflenmiştir. Araştırmacı önerdiği yaklaşımın üstünlüğünü göstermek için literatürde yaygın olarak kullanılan beş test sisteminin çözümünü yapmış ve elde ettiği simülasyon sonuçlarını farklı algoritmalarla karşılaştırmıştır. Sonuç olarak SSA, seçilen beş sistemden dördünde en iyi yakıt maliyeti değerine ulaşmış ve kalanında ise aynı çözüm kalitesini yakalamıştır (Yu vd., 2015)

2014 yılında yapılan başka bir çalışmada, kimyasal reaksiyon optimizasyonunun (CRO) diferansiyel gelişim (DE) algoritması ile hibridizasyonuna dayalı yeni ve etkili bir optimizasyon tekniği geliştirilmiştir. Geliştirilen bu hibrid algoritmayla, çoklu yakıtlı birlikte ve tek yakıtlı valf noktası etkisine sahip iki farklı termik maliyet fonksiyonu ile

EGD probleminin çözümü gerçekleştirilmiştir. Algoritmanın performansını değerlendirmek için CRO, DE, hibrit CRO-DE ve literatürde bildirilen diğer çeşitli optimizasyon yöntemleri arasında karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarla Hibrit CRO-DE algoritmasının optimum çözüme CRO, DE ve literatürden alınan diğer yöntemlerden daha hızlı yakınsadığı tespit edilmiştir (Roy vd., 2014).

Yapılan başka bir çalışmada, dinamik ekonomik güç dağıtımında (DEGD), dışbükey olmayan ve doğrusal olmayan karmaşık problemlerin, üretici birim maliyet fonksiyonlarındaki valf noktası etkilerinin, rampa hızı limitlerinin ve iletim hattı kayıplarının etkisi incelenmiştir. DEGD problemini çözmek için hibrit genetik algoritma ve bakteriyel yiyecek arama (HGABF) yaklaşımı sunulmuştur. Bu hibrit algoritma ile üç farklı test sisteminin (5, 10 ve 30 üretim birimli) çözümü yapılmıştır. Bulunan sayısal sonuçlar yakın zamanda bildirilen yaklaşımlarla karşılaştırılmış ve literatürdeki diğer optimizasyon problemlerini çözmek için umut verici sonuçlar oldukları değerlendirilmiştir (Elattar vd., 2014).

2014 yılında yapılan bir çalışmada Vahid vd., EGD problemlerinin çözümde iletim hattı kayıplarının, üretim rampa limitlerinin, yasak işletim bölgelerinin ve valf noktası etkilerini incelemiştir. Çalışmada EGD problemlerini çözmek için kuantum parçacık sürü optimizasyonuna (QPSO) dayalı tür tabanlı kuantum parçacık sürü optimizasyonu (SQPSO) adlı yeni bir yöntem uygulanmıştır. Bu yöntem, parçacıkları sınıflandırır ve grup içi formdaki her yinelemede cevapları keşfeder. Bu yöntemin yalnızca bir kontrol parametresi vardır. Simülasyon sonuçları ve örneklerin sayısal incelemeleri sonucunda, yöntemin etkinliğini değerlendirmek için diğer geleneksel tekniklerle karşılaştırma yapılmıştır. Sayısal araştırmaların sonuçları, önerilen yöntemin, basitliğine rağmen, uygun ve kabul edilebilir hız ve kararlılığa sahip olmanın yanı sıra optimum cevap kullanımı açısından diğer tekniklere göre üstün olduğunu ortaya koymuştur (Hosseinnezhad vd., 2014).

Araştırmacı Niu vd. 2013 yılında yaptıkları çalışmada, DEGD problemlerinin çözümü için, klonal seçime dayalı diferansiyel gelişim (CSDE) algoritmasını kullanmıştır. CSDE, doğrusal olmayan, büyük ölçekli, dışbükey olmayan ve süreksiz olan karmaşık optimizasyon problemlerine kolaylıkla uygulanabilen bir yapay zekâ tekniğidir. Çalışmada çözümlerin uygunluğunu artırmak ve güç sisteminin karmaşık eşitlik ve eşitsizlik kısıtlarını sağlamak için, verimli bir çözüm onarım yöntemi tasarlanmıştır. Önerilen yöntemin performansını değerlendirmek için iki farklı güç sistemi

kullanılmıştır. Sonuç olarak, CSDE yaklaşımının, çözüm kalitesi ve yakınsama özellikleri açısından diğer varyantlardan ve ayrıca yayınlanmış diğer yöntemlerin çoğundan önemli ölçüde iyi olduğu görülmüştür (Niu vd., 2013).

Yapılan bir diğer çalışmada Xiangzhu He vd., güç sistemlerinde enerji tasarrufu, emisyon azaltımı ve valf noktası etkilerini ele almışlardır. Bu konunun çözümü için, Lévy uçuşu ile kaotik öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyondan (CTLBO) yararlanılmıştır. Önerilen algoritmanın etkinliğini göstermek için birkaç sayısal durum benimsenmiş ve çözülmüştür. Deneysel sonuçlar analiz edilmiş ve mevcut algoritmalarla karşılaştırılmıştır, bu da önerilen yöntemin diğer algoritmalarından daha iyi performans gösterdiğini ve önemli bir gelişme sağladığını göstermektedir (He vd., 2016).

Bir başka çalışmada, güç sistemlerinin işletilmesi ve planlanması için Ekonomik Sevk'in öneminden yola çıkılmıştır. Bu makalede, Trelea Particle Swarm Optimization yöntemi (Trelea-PSO) uygulanmıştır. Ekonomik Sevk problemi modellenmiştir. Fonksiyon, dışbükey olmayan bir fonksiyon olsa da, valf noktası etkileri ve çoklu yakıtlar dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Önerilen metodolojinin doğruluğunu ispatlamak için iki adet 10 termal jeneratör sisteminden oluşan çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürde sunulan diğer sonuçlarla karşılaştırılmıştır. (Oliveira vd., 2015).

Bir başka makale ise, yapay arı kolonisi (ABC) adı verilen yeni bir optimizasyon algoritması ile valf noktası etkisi dikkate alınarak güç sisteminin Ekonomik Yük Dağıtım problem çözümünü yapılmıştır. Önerilen yaklaşım ise, valf noktası etkilerini hesaba katarak artan yakıt maliyetinin azaltılması için çeşitli test sistemleri uygulanmıştır. Sonuçta, önerilen yaklaşımın literatürde bildirilen diğer optimizasyon algoritmalarıyla karşılaştırıldığında verimli ve sağlam olduğunu sonucuna varılmıştır (Labbi vd., 2014).

Başka bir çalışmada Xiaohui Yuan ve arkadaşları, yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisinin, dalgalı doğası ve rüzgar enerjisinin penetrasyonu nedeniyle güç sisteminin çalışmasını daha zorlu hale getirmesinden yola çıkarak, güvenilirliği ve işletme maliyetini koordine etmek için rüzgar entegrasyonu (DLEDW) ile DEGD'nın stokastik bir modelini oluşturmuştur. Bu çalışmada kapasite artırma/azaltma, yasak çalışma bölgesi gibi kısıtlamalar dikkate alınarak ve valf noktasının etkileri de dikkate alınarak bir model oluşturulmuştur. Kısıtlamaların üstesinden gelmek için öncelik listesine dayalı sezgisel stratejiler ve stokastik simülasyon teknikleri önerilmiştir. Ek olarak, yapay fiziksel optimizasyon algoritmasının erken yakınsama dezavantajının üstesinden gelmek için

yerel bir kaotik mutasyon stratejisi uygulanmıştır. Önerilen yöntemin uygulanabilirliğini ve etkinliğini doğrulamak için rüzgâr enerjisi entegrasyonu olan ve olmayan iki farklı test sistemi kullanılmış ve sonuçlar yerçekimi arama algoritması, parçacık sürüşü optimizasyonu ve standart yapay fiziksel optimizasyon ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, önerilen yöntemin DLEDW problemini çözmek için daha yüksek bir verimliliğe sahip olduğu görülmüştür (Yuan vd., 2014).

Bir başka çalışmada, güç sistemindeki çoklu yakıt seçeneklerine sahip EGD problemi ele alınmıştır. Yüksek dışbükey olmama, doğrusal olmama ve süreksizlik ile karakterize edilen sistemin, çoklu yakıt seçenekleri ve valf noktası etkileri dikkate alınarak, çapraz optimizasyon algoritması (CSO) ile çözümü yapılmıştır. CSO yöntemi, EGD problemini yatay çaprazlama ve dikey çaprazlama yoluyla çözmektedir. Önerilen bu yöntem, 10 ve 40 üretim biriminden oluşan altı adet test sistemi üzerinde denenmiş ve literatürdeki farklı yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, CSO'nun özellikle birden fazla yakıt seçeneğiyle büyük ölçekli EGD sorunlarını çözmek için daha kaliteli çözümler ürettiğini göstermiştir (Meng vd., 2016).

Bir diğer çalışmada ise, valf noktası etkilerini ve iletim hattı kayıplarını göz önünde bulundurarak EGD problemini çözmek için geliştirilmiş diferansiyel evrim algoritması (EnDEA) kullanılmıştır. Önerilen yöntemin verimliliğini ve etkililiğini ölçmek için, ilk olarak, valf noktası yüklemesi ve sistem kayıpları kısıtlamaları dikkate alınarak 10 üretim birimli bir test sisteminin analizi yapılmıştır. Ayrıca termik santrallerin çoklu yakıtları da bu EGD problemine dahil edilmiş ve incelenmiştir. Diferansiyel gelişim algoritması (CDEA) ile önerilen EnDEA yöntemi arasında ayrıntılı bir karşılaştırmalı çalışma sunulmuştur. Deneysel sonuçlarla ilgili olarak, önerilen teknik, iyi bir doğruluk, kararlı yakınsama özellikleri ve tatmin edici hesaplama süresi ile çözümler elde etmiştir (Sum-Im, 2015).

Bir başka çalışmada, düzgün/dışbükey olmayan maliyet fonksiyonlarına sahip EGD problemlerini çözmek için, kinetik gaz molekülü optimizasyonu (KGMÖ) algoritması kullanılmıştır. KGMÖ, kinetik enerjiye ve gaz moleküllerinin doğal hareketine dayanan bir çalışma sistemi vardır. Yöntemin etkinliğinin anlaşılması için, valf noktası etkileri dikkate alınan dışbükey olmayan EGD problemi, iletim kayıpları olan yasaklanmış çalışma bölgeleri, valf noktası etkili çoklu yakıtlı EGD ve valf noktası etkili büyük ölçekli Kore güç sistemi olmak üzere dört farklı güç sisteminin çözümü yapılmıştır. Önerilen yaklaşımın sonuçları, diğer evrimsel yöntemlerle elde edilen

verilerle karşılaştırılmıştır. Önerilen KGMO tabanlı yaklaşımın daha iyi çözüm sağlayabildiği görülmüştür (Basu vd., 2016).

Araştırmacı Dexuan Zou çalışmasında, valf noktası etkileri olan veya olmayan EGD problemlerinin çözümü için geliştirilmiş diferansiyel gelişim (IDE) algoritması kullanmıştır. Bu problemlerin çözümünde dört farklı IDE yaklaşım performansını kanıtlamak için sekiz test sistemi üzerinde çalışma yapılmıştır. IDE literatürdeki amaç fonksiyon değerleri üzerinde küçük iyileştirmeler yapmaktadır. Yöntem ile eşitlik kısıtlarını sağlayan çözümlere ulaşılmıştır. IDE ile, test problemlerinin çoğunda diğer algoritmalara göre çok daha küçük varyanslar elde ettiği görülmüştür (Zou vd., 2016).

Bir diğer araştırmacı Abdilahi çalışmasında, parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) tekniğinin performansın deneysel olarak incelemiştir. Test sistemi, valf noktası etkilerini hesaba katarak, EGD probleminde yer alan dört ana parametreyi ayarlamıştır. Deneysel sonuçlar, PSO'nun farklı parametreleri için seçilecek en iyi değerleri göstermiştir. Sonuç olarak, test edilen EGD probleminde hangi değer aralığının en uygun olduğu belirlenmiştir (Abdilahi vd., 2014).

Ele alınan son çalışmada ise, valf noktası yükleme etkilerini, yasaklanmış çalışma bölgelerini ve çoklu yakıt seçeneklerini göz önünde bulundurarak EGD problemlerini çözmek için geri izleme arama algoritması (BSA) kullanılmıştır. Önerilen yöntem, sayısal optimizasyon problemlerini çözmek için basit yapılı ve tek kontrol parametrelili evrimsel bir optimizasyon tekniğidir. Düşük bir hesaplama süresi içinde en uygun çözümü bulmak için optimizasyon probleminin arama uzayını etkin bir şekilde keşfetmektedir. Metot 160 adede kadar üretim birimine sahip farklı test sistemlerine uygulanmıştır. Sonuç olarak, EGD problemlerini çözmede BSA'nın yüksek performansını doğrulamak için birkaç optimizasyon yöntemiyle karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmada BSA'yı oldukça sağlam bir yöntem olarak doğrulamak için 50 bağımsız çalışmada elde edilen sonuçların istatistiksel analizleri de yapılmıştır (Modiri-Delshad vd., 2016).



İKİNCİ BÖLÜM

GÜÇ AKIŞ ANALİZİ

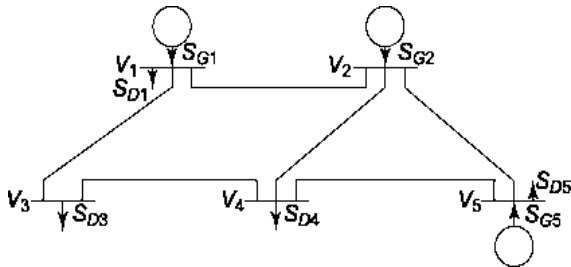
İletim hatlarında aktif ve reaktif güçlerin iletimi, bara gerilimlerinin ve faz açılarının, iletim hatlarından geçen akıma göre enterkonnekte sistemde oluşan güç kayıplarını belirlemek için güç akış analizi yapılmaktadır (Şengör ve Kaya, 2022).

Enterkonnekte sistemin çalışma özellikleri ve elektriksel performanslarının incelenmesi güç akış analiziyle yapılabilmektedir. Simetrik kararlı durum bir güç sisteminin en önemli çalışma şeklidir. Bu çalışma şeklini üç temel sorunu bulunmakta olup bunlar; yük akış sorunu, optimal yük planlama sorunu ve sistem kontrol sorunudur (Kothari ve Nagrath, 2011).

Güç akışı çalışması, güç sistemi ağının kararlı durum çözümüdür. Güç sistemi bir elektriksel şebeke tarafından modellenmiş ve çeşitli baralardaki güçleri ve bu baralardaki gerilimleri için güç akış analizleri yapılmıştır. Yükler empedans yerine kompleks güç cinsinden ve generatörler ise gerilim kaynağı yerine güç kaynağı olarak verilmesinden dolayı, devrenin doğrudan analizi mümkün olmamaktadır.

Güç akışı analizinde, çeşitli baralardaki gerilimler ve iletim sistemine güç basımı üzerinde durulmaktadır. Şekil 2.1’de beş baralı bir güç sisteminin tek hat şeması gösterilmiştir (Kothari ve Nagrath, 2011).

Şekil 2.1: Beş Baralı Sisteminin Tek Hat Şeması



Kaynak: Kothari ve Nagrath, 2011.

Şekil 2.1’de S_G ’ler ve S_D ’ler, generatörler tarafından basılan kompleks güçleri ve yükler tarafından çekilen kompleks güçleri ve V_s ise farklı baralardaki kompleks gerilimleri temsil etmektedir. Böylece iletim sistemine net bir güç basımı gerçekleşir. Pratik bir sistemde binlerce bara ve iletim hattı olabilir.

İletim sistemi, toplu gücü generatörlerden toplu güç trafo merkezine ileten bir birincil iletim sistemi veya trafo merkezlerinden dağıtım trafo merkezlerine güç ileten bir alt iletim sistemi olabilir. İletim sistemi, güç sistemi işletimi güvenilir ve ekonomik olacak ve işletilmesinde herhangi bir güçlüklerle karşılaşmayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Muhtemel zorluklar, bir veya daha fazla iletim hattının aşırı yüklenmesi, generatörlerin aşırı yüklenmesi veya bir iletim bağlantısının kararlılık marjının çok küçük olması gibi olaylardır. Ayrıca, bazı generatörlerin ve iletim bağlantılarının aşırı yüklenmesine neden olan bir veya daha fazla iletim bağlantısının kaybı, generatörlerin devre dışı edilmesi gibi acil durumlar olabilir. Sistemin işletilmesinde ve planlanmasında, gerilim ve güçler belirli sınırlar içinde tutularak, kolay ve güvenilir işletme için alternatif planlar geliştirilir. Aynı zamanda, ihtiyaç duyulan tüm gücü üretmek için yakıt maliyetleri açısından işletme ekonomisini de dikkate almak gerekir.

Günümüz güç sistemi şebekesi, yüzlerce bara ve iletim sisteminden oluşmaktadır. Bu nedenle sistem oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğundan güç akışı çalışması kapsamlı hesaplamalar içermektedir. Dijital bilgisayarlar ve programlamalar öncesinde kapsamlı hesaplamalar yapmak oldukça zaman alıcıydı. Halbuki hızlı ve kapsamlı bilgisayarlar ve programlamaların olması, günümüzde yük akış analizi dâhil her türlü bazı ileri düzey karmaşık güç sistemlerinin analizlerinin kolayca yapılabildiğini göstermektedir (Kothari ve Nagrath, 2011).

Güç akışı ile ilgili bu genel bilgilerden sonra bu bölümde alternatif akım (alternative current, AC) güç akışı ve Newton-Raphson metodu sırasıyla anlatılmıştır.

2.1. AC GÜÇ AKIŞI

Bir güç sisteminin i . barasına kaynak tarafından basılan kompleks güç ifadesi eşitlik (2.1)'de verilmiştir.

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^*, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

Eşitlikteki I_i^* yerine I_i ile çalışmak daha uygun olduğundan, denklemin kompleks eşleniği eşitlik (2.2)'de gösterilmiştir.

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

Eşitlik (2.3)'te verilen akım ifadesi eşitlik (2.2)'de yerine konulursa eşitlik (2.4) ifadesi elde edilir.

$$I_i = Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{ii}V_i + \dots + Y_{in}V_n = \sum_{k=1}^n (Y_{ik}V_k) \quad (i=1, \dots, n) \quad (2.3)$$

$$P_i - jQ_i = V_i^* \left(\sum_{k=1}^n Y_{ik}V_k \right) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2.4)$$

Eşitlik (2.4)'ün reel ve imajiner kısımları ayrıştırıldığında eşitlik (2.5) elde edilir.

$$\left. \begin{aligned} P_i (\text{aktif güç}) &= \text{Reel} \left(V_i^* \left(\sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k \right) \right) \\ Q_i (\text{reaktif güç}) &= -\text{imajiner} \left(V_i^* \left(\sum_{k=1}^n Y_{ik} V_k \right) \right) \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Eşitlik (2.5)'teki gerilim ve admitans değerlerinin yerine eşitlik (2.6)'daki açısall ifadeler yazıldığında güç akışı eşitlikleri olarak bilinen eşitlik (2.7)'deki eşitlikler elde edilir.

$$V_i = |V_i| e^{j\delta_i}, V_k = |V_k| e^{j\delta_k}, Y_{ik} = |Y_{ik}| e^{j\theta_{ik}} \quad (2.6)$$

$$\left. \begin{aligned} P_i (\text{aktif güç}) &= |V_i| \sum_{k=1}^n |V_k| |Y_{ik}| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \\ Q_i (\text{reaktif güç}) &= -|V_i| \sum_{k=1}^n |V_k| |Y_{ik}| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \end{aligned} \right\}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2.7)$$

Her barada $|V_i|$, δ_i , P_i ve Q_i olmak üzere dört değişken olduğundan n adet bara $4n$ adet değişken içermektedir. Eğer her barada iki değişken bilinirse (böylece toplam $2n$ değişken biliniyor demektir), her barada kalan iki değişken (toplam $2n$ kalan değişken) $2n$ adet güç akışı denklemleri eşitlik (2.7)'den çözülerek bulunabilir.

Fiziksel bir sistem düşünüldüğünde, her baradaki değişkenlerin belirtilmesi, o barada hangi kaynakların bağlı olduğuna göre değişir. Genel olarak güç sisteminde dört tip bara bulunmakta olup bunların isimleri salınım barası (referans barası), yük barası (PQ barası), generatör barası (PV barası) ve gerilim kontrollü bara olarak bilinir. Bu baralara ait kısa açıklamalar aşağıda verilmiş olup baraya ait bilinenlerin ve bilinmeyenlerinin gösterildiği çizelge Tablo 2.1'de gösterilmiştir (Kothari ve Nagrath, 2011).

Salınım barası: Bu baradaki aktif ve reaktif güçlerin belirtilmemiş olması bu barayı diğer tiplerden ayırır. Bunun yerine, gerilimin genliği ($|V_i|$) (normalde 1 pu'ya eşit olarak ayarlanır) ve gerilim faz açısı (δ_i) sifıra eşit olarak belirtilir. Genellikle, bir güç sisteminde bu türden sadece bir bara bulunur.

Tablo 2.1: Bara Tiplerine Göre Bilinen ve Bilinmeyen Parametreler

<i>No</i>	<i>Bara Tipi</i>	<i>Bilinenler</i>	<i>Bilinmeyenler</i>
1	Salınım Barası	$ V_i , \delta_i$	P_i ve Q_i
2	Yük Barası	P_i ve Q_i	$ V_i , \delta_i$
3	Generatör Barası	P_i ve $ V_i $	Q_i ve δ_i
4	Gerilim Kontrollü Bara	P_i, Q_i ve $ V_i $	δ_i

Kaynak: (Kothari ve Nagrath, 2011).

Yük barası (PQ bara): Bu tip baralarda, net aktif (P_i) ve reaktif (Q_i) güçler bilinir ve bilinmeyenler bara gerilimi ve açısıdır. Eğer baraya bağlı bir üretim birimi yoksa bu saf yük barası, yani bir PQ barasıdır. Belirli bir güç sistemindeki tüm baraların neredeyse büyük bir kısmını oluşturan yük baraları en yaygın olanıdır.

Generatör barası (PV barası): Bu baranın her zaman kendisine bağlı bir generatörü vardır. Bu nedenle baraya bağlı generatörün aktif gücü ve generatör geriliminin genliği bilinir. Dolayısıyla baraya bağlı yükte bilindiği için baraya ait net aktif güç bilinir konuma gelir. Böylece bilinenler baranın net aktif gücü ve generatör geriliminin genliği ve bilinmeyenler ise net reaktif güç ve bara geriliminin açısıdır. PV baralar, bir güç sistemindeki tüm baraların yaklaşık %10'unu oluşturmaktadır.

Gerilim kontrollü bara: Sıklıkla PV bara ve gerilim kontrollü bara birlikte gruplanır. Ancak fiziksel farklılıkları ve biraz farklı hesaplama stratejileri vardır. Gerilim kontrollü bara aynı zamanda gerilim kontrol özelliklerine sahiptir ve bir generatör yerine kademe ayarlı bir transformatör ve/veya bir statik değişken dengeleyici kullanır. Dolayısıyla bu baralarda generatöre ait aktif ve reaktif güç değeri sıfıra eşittir. Bu nedenle baranın net aktif güç ve net reaktif güç değerleri, baradan talep edilen aktif ve reaktif yükün negatif işaretli değerine eşittir. Dolayısıyla bu baralarda bilinenler net aktif güç, net reaktif güç ve bara gerilim genliği olup bilinmeyen ise sadece bara geriliminin açısıdır.

2.2. NEWTON-RAPHSON METODU

Newton-Raphson metodu, doğrusal olmayan matematiksel eşitlikleri çözmek için en etkili yöntemlerden biri olup büyük güç şebekelerinin yük akışı çözümünün pratik yöntemlerinden biridir. Metodun dezavantajı ise yoğun bir depolama isteği nedeniyle

büyük bilgisayar belleğine ihtiyaç duymasındır. Bu nedenle yakınsamayı hızlandırabilmek için metodun içine ilave teknikler katılabilir (Kothari ve Nagarth, 2011).

Eşitlik (2.8)'de gösterildiği gibi n doğrusal olmayan matematiksel denklem kümesi verilmiş olsun.

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.8)$$

Bilinmeyenlerin başlangıç değerlerinin $x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0$ ve elde edilecek düzeltmelerin de $\Delta x_1^0, \Delta x_2^0, \dots, \Delta x_n^0$ şeklinde olduğunu varsayalım. Bu durumda başlangıç değerlerine düzeltmeler eklendiğinde eşitlik (2.9)'daki gerçek çözümü elde edilmiş olur.

$$f_i(x_1, \Delta x_1^0, \dots, x_n^0 + \Delta x_n^0) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.9)$$

Bu eşitlik başlangıç değerleri etrafında Taylor serisi ile genişletildiğinde eşitlik (2.10) elde edilir.

$$f_i^0(x_1^0, \dots, x_n^0) + \left[\left(\frac{\partial f_i}{\partial x_1} \right)^0 \Delta x_1^0 + \dots + \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_n} \right)^0 \Delta x_n^0 \right] + \text{Y.M.T} = 0 \quad (2.10)$$

Eşitlik (2.10)'daki Y.M.T (yüksek mertebeden terimler) terimleri ihmal edildiğinde, eşitlik (2.11)'deki gibi matris formunda veya eşitlik (2.12)'deki gibi vektör matris formunda yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} f_1^0 \\ \vdots \\ f_n^0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right)^0 & \dots & \left(\frac{\partial f_1}{\partial x_n} \right)^0 \\ \vdots & & \vdots \\ \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_1} \right)^0 & \dots & \left(\frac{\partial f_n}{\partial x_n} \right)^0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^0 \\ \vdots \\ \Delta x_n^0 \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$f^0 + J^0 \Delta x^0 = 0 \quad (2.12)$$

Eşitlik (2.12)'deki J^0 , x^0 'da değerlendirilen Jacobian matrisidir ve bunun kompakt gösterim eşitlik (2.13)'te verilmiştir. Eşitlikteki Δx^0 yaklaşık düzeltme vektörü ise eşitlik (2.14)'te verildiği şekilde yazılabilir.

$$J^0 = \left(\frac{\delta f(x)}{\delta x} \right)^0 \quad (2.13)$$

$$\Delta x^0 = (-J^0)^{-1} f^0 \quad (2.14)$$

Böylece J^0 'ın tersi hesaplanarak Δx^0 bulunabilir. Ancak pratikte, hesaplama açısından uzun zaman ve bilgisayar belleğinde fazlaca yer kapladığı için matrisin tersinin alınması tercih edilen bir yöntem değildir. Ayrıca, her yineleme için matrisin tersinin bulunması gerekir. Bu işlemin yerine eşitlik (2.12)'deki ifade bir dizi lineer cebirsel denklem olduğundan Δx^0 için üçgenleştirilerek ve geriye doğru yerine koyularak çözülebilir. Bu durumda x 'in güncellenmiş değerleri eşitlik (2.15)'teki gibi bulunur (eşitlikteki r yineleme sayısı sıfır olursa eşitlik $x^1 = x^0 + \Delta x^0$ şeklinde elde edilmiş olur).

$$x^{(r+1)} = x^r + \Delta x^r \quad (2.15)$$

Yinelemeler, eşitlik (2.8)'de istenen herhangi bir doğrulukla karşılanana kadar yani eşitlik (2.16)'daki hassasiyet elde edilinceye kadar devam eder.

$$|f_i(x^r)| < \varepsilon \text{ (Belirtilen bir değer), } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.16)$$

Böylece, her iterasyon $f_i(x^r)$, $J_i(x^r)$ 'nin değerlendirilmesini ve Δx^r düzeltilmesini içerir. Bu nedenle Newton Raphson yönteminde her iterasyon için harcanan süre biraz fazla olmasına karşın yakınsama oldukça düşük yineleme sayısında ortaya çıkar (Kothari ve Nagrath, 2011).

2.2.1. Yük Akışı Çözümü için Newton Raphson Algoritması

Öncelikli olarak salınım barası dışında, PQ baralarının aktif ve reaktif güç ifadeleri eşitlik (2.7)'den yararlanarak, herhangi bir i 'inci bara için yazılırsa eşitlik (2.17) ortaya çıkar.

$$\begin{aligned} P_i &= \sum_{k=1}^n |V_i| |V_k| |Y_{ik}| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) = P_i(|V|, \delta) \\ Q_i &= \sum_{k=1}^n |V_i| |V_k| |Y_{ik}| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) = Q_i(|V|, \delta) \end{aligned} \quad (2.17)$$

Eşitlikteki hem aktif hem de reaktif güç ifadeleri $(|V|, \delta)$ 'nın fonksiyonları olup eşitlik (2.18)'deki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} P_i(|V|, \delta) &= P_i(x) \\ Q_i(|V|, \delta) &= Q_i(x) \end{aligned} \quad (2.18)$$

Buradaki x 'in değeri ise eşitlik (2.21)'de verilen ifadeye eşittir.

$$x = \begin{bmatrix} \delta \\ |V| \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

P_i (planlanmış) ve Q_i (planlanmış) yük baralarında planlanmış güçler olsun. Yineleme sırasında x değeri, matris formundaki eşitlik (2.20)'yi sağlayan değere doğru yönelmelidir.

$$f(x) = \begin{bmatrix} P(\text{planlanmış}) - P(x) \\ Q(\text{planlanmış}) - Q(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P(x) \\ \Delta Q(x) \end{bmatrix} \cong 0 \quad (2.20)$$

Salınım barasına ait aktif ve reaktif güç değerleri belirtilmediğinden eşitlik (2.20)'de bu değerler yer almamaktadır. Bu nedenle eşitlik (2.19)'daki x ifadesi $2(n-1)$ boyutlu vektördür ($(n-1)$ yük baraları için). Bu durumda eşitlik (2.20) ifadesi eşitlik (2.12)'deki yapı kullanılarak matris formunda tekrar yazıldığında eşitlik (2.21) elde edilir.

$$f(x) = \begin{bmatrix} \Delta P(x) \\ \Delta Q(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -J_{11}(x) & -J_{12}(x) \\ -J_{21}(x) & -J_{22}(x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Eşitlikte $J(x)$ Jacobian matrisi olup $J_{11}, J_{12}, J_{21}, J_{22}$ matrislerinin her biri $(n-1) \times (n-1)$ boyutlu matrislerdir. Bu durumda Jacobian matrisinin ifadesi eşitlik (2.22)'de verildiği gibi alt matrislerle birlikte gösterilebilir.

$$J(x) = \begin{bmatrix} -J_{11}(x) & -J_{12}(x) \\ -J_{21}(x) & -J_{22}(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P(x)}{\partial \delta} & \frac{\partial P(x)}{\partial |V|} \\ \frac{\partial Q(x)}{\partial \delta} & \frac{\partial Q(x)}{\partial |V|} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Eşitlik (2.17)'den yararlanarak Jacobian matrisinin alt matrislerinin açık formülleri sırasıyla eşitlik (2.23), (2.24), (2.25) ve (2.26)'da verildiği gibidir (Kothari ve Nagrath, 2011).

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_i(x)}{\partial \delta_k} &= -|V_i||V_k||Y_{ik}| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad (i \neq k) \\ &= \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |V_i||V_k||Y_{ik}| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad (i = k) \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial P_i(x)}{\partial |V_k|} &= |V_i| |Y_{ik}| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad (i \neq k) \\
&= 2 |V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |V_k| |Y_{ik}| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad (i = k)
\end{aligned} \tag{2.24}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial Q_i(x)}{\partial \delta_k} &= -|V_i| |V_k| |Y_{ik}| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad (i \neq k) \\
&= -\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |V_i| |V_k| |Y_{ik}| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad (i = k)
\end{aligned} \tag{2.25}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial Q_i(x)}{\partial |V_k|} &= |V_i| |Y_{ik}| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad (i \neq k) \\
&= 2 |V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |V_k| |Y_{ik}| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad (i = k)
\end{aligned} \tag{2.26}$$



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM YÖNTEM

Günümüzde karmaşık ve nümerik yöntemlerle çözümü zor ya da imkânsız olan problemlerin çözümünde sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Bunun nedeni, büyük arama uzaylarına sahip çok boyutlu problemlerin nümerik yöntemlerle çözümlerinin çok uzun süreler almasıdır (Özyön vd., 2018b). Bu bölümde, ele alınan test fonksiyonları ve güç sistemlerinin çözümlerinde kullanılan optimizasyon algoritmaları açıklanmıştır. İlk olarak ana algoritma olarak seçilen Runge Kutta algoritması çalışma aşamalarıyla ayrıntılı olarak verilmiştir. Daha sonra sırasıyla karşılaştırma algoritmaları olarak belirlenen diferansiyel gelişim algoritması (DE), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve yerçekimsel arama algoritması (GSA) özetle verilmiştir.

3.1. RUNGE KUTTA ALGORİTMASI

RUN algoritması, stokastik bileşenlere sahip yeni bir sürü tabanlı optimizasyon algoritması olarak geliştirilmiştir. Bu algoritma, metaforsuz ve temel matematiksel yapılara sıkı bağla karakterize edilmiştir. Metaforların popülasyona dayalı bir modelde kullanılması uygun olmaz, çünkü böyle bir yöntem optimizasyon algoritmalarında kullanılan denklemlerin gerçek doğasını gözden kaçıracaktır. Bu nedenle RUN algoritması, Runge-Kutta (RK) tekniğinin ana mantığını ve bir ajan sürüsünün popülasyona dayalı evrimini açıklar. Aslında RK, eğimi hesaplamak ve adi diferansiyel denklemleri çözmek için özel bir formülasyon (yani, RK4 yöntemi) kullanır. RUN algoritmasının ana fikri, RK yönteminde önerilen hesaplanmış eğim kavramına dayanmaktadır. RUN algoritması, hesaplanan eğimi, arama uzayındaki gelecek vaat eden alanı keşfetmek ve sürü tabanlı optimizasyon algoritmasının mantığına göre bir popülasyon kümesinin evrimi için bir dizi kural oluşturmak için bir arama mantığı olarak kullanır (Ahmadianfar vd., 2021; Candaş vd., 2022).

RUN algoritması optimizasyon yöntemi, Euler yöntemindeki ortalama eğimin hesaplaması işlemlerini daha da ileri götürmektedir. Euler yöntemi, birinci dereceden adi diferansiyel denklemlerde kullanılan adımın başındaki eğimin adım boyunca geçerli olması kuralına dayanır. Lineer interpolasyon (lineer polinomlar kullanılarak verilerin bulunduğu noktalardan yeni veri üretme yöntemi) için kullanılan eğim, aralığın sağ ve sol sınırlarındaki eğimler ile aralığın içinde bulunan birkaç nokta alınarak ağırlıklı ortalama şeklinde hesaplanır., eğimler için kullanılan bölmeleme ve bağlı ağırlıklar için çok sayıda alternatif içermektedir. RK yöntemi birinci mertebeden basit diferensiyel denklemler için çözüm yöntemi olarak bilinmektedir. Bütün bu yöntemler, fonksiyonun Taylor serisinin

açılımında h^k (k yöntemin mertebesi olmak üzere) mertebe terimlerine kadar uyumludur. Bu sebepten dolayı ikinci, üçüncü ve dördüncü dereceden RK yöntemleri vardır. İkinci dereceden yöntemler h^2 'li terime kadar bütün terimlere sahiptir. Dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi ise h^4 'lü terime kadar bütün terimlere sahiptir. Bu yöntem en yaygın kullanılan RK yöntemi olup klasik Runge-Kutta diye de isimlendirilir (Ahmadianfar vd., 2021; Cantaş vd., 2022).

3.1.1. Dördüncü Mertebeden Runge-Kutta Yöntemi

Bir adi diferansiyel denklemi çözerken en çok kullanılan yöntem dördüncü mertebeden RK yöntemidir. Dördüncü mertebe yöntem için $y_i + 1$ denklem (3.1)'den elde edilir (Ahmadianfar vd., 2021).

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h \quad (3.1)$$

Bu denklemdeki ağırlık değerleri ile elde edilen y değeri, tahmini artışı ifade etmekte olup k_1 , k_2 , k_3 ve k_4 eşitlikleri denklem (3.2)'de verilmiştir.

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= f(x_i, y_i) \\ k_2 &= f\left(x_i + \frac{h}{2}, y_i + k_1 \cdot \frac{h}{2}\right) \\ k_3 &= f\left(x_i + \frac{h}{2}, y_i + k_2 \cdot \frac{h}{2}\right) \\ k_4 &= f(x_i + h, y_i + k_3 \cdot h) \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Burada k_1 sol sınırın eğim tahminini, k_4 sağ sınırın eğim tahminini, k_2 ve k_3 ise aradaki iki noktanın eğim tahminlerini göstermektedir. k_i değerlerinin ağırlıklı ortalaması y 'deki artışı belirlemek için kullanılır ve $y_i + 1$ değerinin bulunması için y_i değerine eklenir (Ahmadianfar vd., 2021).

RUN algoritmasının çalışma prensipleri başlatma adımı, arama mekanizmasının kökü, çözümlerin güncellenmesi ve gelişmiş çözüm kalitesi (ESQ) başlıkları altında aşağıda özetlenmiştir.

3.1.2. Başlatma Adımı

Bu adımda mantık, izin verilen yineleme sayısı içinde geliştirilecek bir başlangıç sürüsü oluşturmaktır. RUN algoritmasında, N büyüklüğündeki bir popülasyon için N

pozisyon rastgele oluşturulur. Popülasyonun her bir üyesi x_n ($n=1,2,3,...,N$), bir optimizasyon problemi için D boyutuna sahip bir çözümdür. Genel olarak, başlangıç konumları aşağıdaki denklem (3.3) tarafından rastgele oluşturulur.

$$x_{n,l} = L_l + rand(U_l - L_l) \quad (3.3)$$

Denklemde L_l ve U_l değerleri, problemin l . değişkeninin alt ve üst sınırlarını ($l=1,2,...,D$) ve $rand$ ise $[0, 1]$ aralığında rastgele bir sayıyı göstermektedir. Bu kural sadece sınırlar içinde bazı çözümler üretir (Ahmadianfar vd., 2021).

3.1.3. Arama Mekanizmasının Kökü

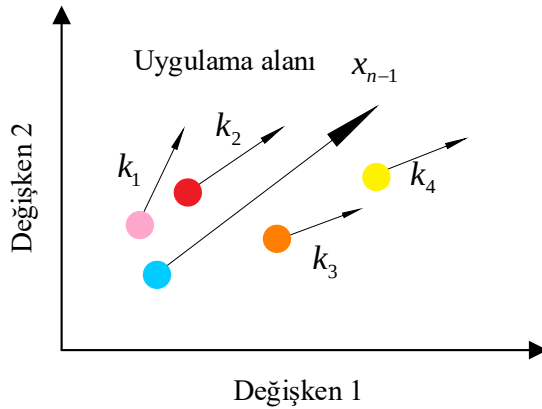
Herhangi bir optimize edicinin gücü, keşif ve kullanım modellerini oluşturmak için yinelemelere bağlıdır. Bu yinelemelerden keşif çekirdeği, bir optimizasyon algoritmasında, uygulanabilir uzayın gelecek vaat eden alanlarını keşfetmek için yüksek rastgelelik oranına sahip bir dizi rastgele çözüm kullanır. Çekirdek çözümlerin kullanımındaki küçük ve kademeli varyasyonlar ve rastgele davranışlar, keşif mekanizmasındakilerden oldukça düşüktür. Bu çalışmada, RUN algoritmasının önde gelen arama mekanizması, bir dizi rasgele çözüm kullanarak karar uzayını aramak ve uygun bir genel ve yerel arama uygulamak için RK yöntemine dayanmaktadır (Ahmadianfar vd., 2021).

3.1.4. Çözümlerin Güncellenmesi

RUN algoritması, optimizasyon sürecini bir dizi rastgele bireyle (çözümler) başlatır. Her yinelemede çözümler, RK yöntemini kullanarak konumlarını günceller. Bunu yapmak için RUN algoritması, bir çözüm ve RK yöntemiyle elde edilen arama mekanizmasını kullanır. Şekil 3.1, bir konumun RK yöntemini kullanarak konumunu nasıl güncellediğini göstermektedir. Bu çalışmada, global (keşif) ve yerel (işletme) aramayı sağlamak için, bir sonraki yinelemede konum oluşturmada Denklem (3.4)'teki akış uygulanmıştır (Ahmadianfar vd., 2021).

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } rand < 0,5 \\ x_{n+1} = (x_c) + SF \times SM + \mu \times x_s \quad (\text{keşif aşaması}) \\ \text{else} \\ x_{n+1} = (x_m) + SF \times SM + \mu \times x_s, \quad (\text{işletme aşaması}) \\ \text{end} \end{array} \right\} \quad (3.4)$$

Şekil 3.1: Bir Sonraki Konumu Elde Etmek İçin RK Tarafından Kullanılan Eğimler x_{k+1}



Denklem (3.4)'teki μ rasgele bir sayı olup eşitliği denklem (3.5)'te, x_s ve $x_{s'}$ değerleri denklem (3.6)'da, x_C ve x_M değerleri ise denklem (3.7)'de verilmiştir. Denklemlerde yer alan *randn* ise normal dağılıma sahip rastgele bir sayıdır.

$$\mu = 0,5 + 0,1 \text{randn} \quad (3.5)$$

$$\left. \begin{aligned} x_s &= \text{randn}(x_M - x_C) \\ x_{s'} &= \text{randn}(x_{r1} - x_{r2}) \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

$$\left. \begin{aligned} x_C &= \varphi \times x_n + (1 - \varphi) \times x_{r1} \\ x_M &= \varphi \times x_{best} + (1 - \varphi) \times x_{lbest} \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

Denklemlerdeki φ (0,1) aralığında rastgele bir sayıyı, x_{best} o iterasyona kadar elde edilen en iyi çözümü ve x_{lbest} ise her yinelemede elde edilen en iyi konumu göstermektedir. *SF* ise adaptif bir faktördür ve denklem (3.8)'deki gibi hesaplanır.

$$\left. \begin{aligned} SF &= 2(0,5 - \text{rand}) \times f \\ f &= a \times \exp(-b \times \text{rand} \times \frac{i}{Maxi}) \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

Denklemden a ve b iki sabit sayıyı, i yineleme sayısını ve $Maxi$ ise maksimum yineleme sayısını göstermektedir. Bu çalışmada, keşif ve işletme arasında uygun bir denge sağlamak için *SF* kullanılmıştır. Çeşitliliği artırmak ve keşif aramasını geliştirmek için başlangıçtaki yinelemelerde büyük bir *SF* değeri belirlenir, daha sonra yineleme sayısı arttığında işletme arama yeteneğini desteklemek için değeri azaltılır. RUN algoritmasının ana kontrol parametreleri, *SF*'de kullanılan a ve b olan iki parametreyi içermektedir. Denklem (3.4)'teki kural, önerilen RUN algoritmasının, $\text{rand} < 0,5$

3.1.5. Gelişmiş Çözüm Kalitesi (ESQ)

RUN algoritmasında, çözümlerin kalitesini artırmak ve her yinelemede yerel optimumdan kaçınmak için geliştirilmiş çözüm kalitesi (enhanced solution quality-ESQ) kullanılır. RUN algoritması, ESQ uygulayarak her çözümün daha iyi bir konuma doğru hareket etmesini sağlar. Önerilen ESQ'da, üç rastgele çözümün ortalaması (x_{ort}) hesaplanır ve yeni bir çözüm (x_{yeni1}) oluşturmak için en iyi konumla (x_b) birleştirilir. ESQ kullanılarak sonraki çözümü (x_{yeni2}) oluşturmak için denklem (3.10)'daki işlem yürütülür (Ahmadianfar vd., 2021).

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } rand < 0,5 \\ \text{if } w < 1 \\ x_{yeni2} = x_{yeni1} + r.w|x_{yeni1} - x_{ort}| + randn \\ \text{else} \\ x_{yeni2} = (x_{yeni1} - x_{ort}) + r.w|(u.x_{yeni1} - x_{ort} + randn)| \\ \text{end} \\ \text{end} \end{array} \right\} \quad (3.10)$$

Denklemdaki w , x_{ort} ve x_{yeni1} değerleri sırasıyla denklem (3.11), (3.12) ve (3.13)'te verilmiştir.

$$w = rand(0, 2) \exp\left(-c\left(\frac{i}{Maxi}\right)\right) \quad (3.11)$$

$$x_{ort} = \frac{x_{r1} + x_{r2} + x_{r3}}{3} \quad (3.12)$$

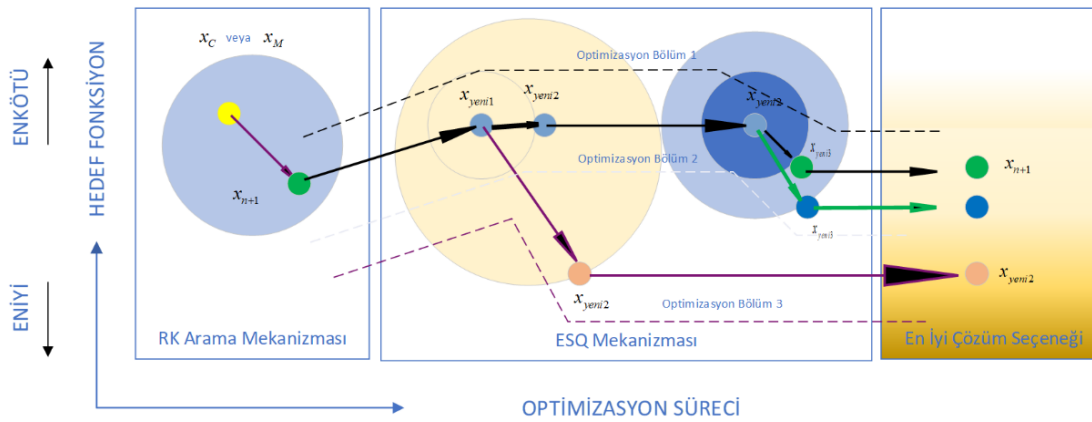
$$x_{yeni1} = \beta \times x_{ort} + (1 - \beta) \times x_{best} \quad (3.13)$$

Denklemlerde β , $[0, 1]$ aralığında rastgele bir sayıyı, c ise seçilebilecek rastgele bir sayıyı, w artan yineleme sayısı ile azalan rastgele bir sayıyı ve r ise değeri 1, 0 veya -1 olan bir tam sayıyı göstermektedir. Çeşitliliği artırmak için u parametresi tanımlanmıştır. Bu bölümde hesaplanan çözüm (x_{yeni2}) mevcut çözümden daha iyi uygunluk göstermeyebilir (yani, $(f(x_{yeni2}) > f(x_n))$). İyi bir çözüm oluşturmak için başka bir şansa sahip olmak için başka bir yeni çözüm (x_{yeni3}) oluşturulur ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\begin{aligned}
 & \text{if } w < 1 \\
 & \quad x_{yeni3} = \left(x_{yeni2} - rand \cdot x_{yeni2} \right) + SF \left(rand \cdot x_{RK} + \left(v \cdot x_b - x_{yeni2} \right) \right) \\
 & \text{end}
 \end{aligned} \quad (3.14)$$

Denklemden v , $2xrand$ değerine sahip rastgele bir sayıdır. Aslında, yeni çözüm (x_{yeni3}), $rand < w$ koşulu karşılandığında uygulanır. Denklem (3.14)'ün temel amacı, (x_{yeni2}) çözümünü daha iyi bir konuma taşımaktır. Bu denklemin ilk kuralında (x_{yeni2}) civarında yerel bir arama oluşturulur ve ikinci kuralda RUN en iyi çözüme doğru hareketle gelecek vaat eden bölgeleri keşfetmeye çalışır. Bu nedenle, en iyi çözümün önemini vurgulamak için v katsayısı kullanılır. x_{rk} 'yi hesaplamak için x_b ve x_w çözümlerinin sırasıyla (x_k) ve (x_{yeni2}) olduğu unutulmamalıdır, çünkü (x_n)'nin uygunluk değeri (x_{yeni2})'den küçüktür (yani, $f(x_{yeni2}) > f(x_n)$). ESQ için arama mekanizması Şekil 3.3'de verilmiştir.

Şekil 3.3: ESQ Arama Mekanizması



RUN algoritmasının sözde kodu Algoritma 1’de, akış diyagramı ise Şekil 3.4’te verilmiştir.

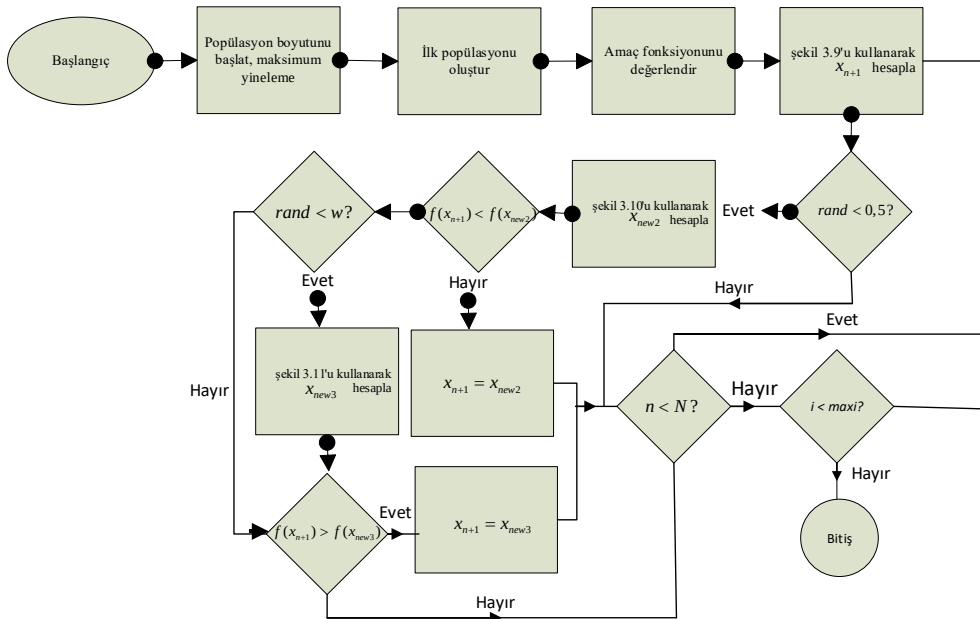
Algoritma 1. RUN Algoritmasının sözde kodu (Cantaş vd., 2022)

```

Aşama 1. Başlatma
a, b’yi başlat
 $x_n$  ( $n=1,2,3,...,N$ ) RUN algoritmasının popülasyonunu oluştur
Popülasyonun her üyesinin amaç fonksiyonunu hesaplayın
 $x_w$ ,  $x_b$ , ve  $x_{best}$  çözümlerini belirleyin
Aşama 2. RUN operatörleri
  for  $i=1: Max_i$ 
    for  $n=1:N$ 
      for  $n=1:D$ 
        Denklem (3.9)’u kullanarak  $x_n+1$ ,  $l$  konumunu hesaplayın
      end
      for
        Çözüm kalitesini artırın
        if  $rand < 0,5$ 
          Denklem (3.10)’u kullanarak ( $x_{yeni2}$ ) konumunu hesaplayın
          if  $f(x_n) < f(x_{yeni2})$ 
            if  $rand < w$ 
              Denklem (3.11)’i kullanarak ( $x_{yeni3}$ ) konumunu hesaplayın
            end
          end
        end
      end
       $x_w$  ve  $x_b$  konumlarını güncelle
    end for
     $x_{best}$  konumunu güncelle
  end
   $i=i+1$ 
end
Aşama 3.  $x_{best}$ ’e dön.

```

Şekil 3.4: RUN Algoritmasının Akış Şeması



Aşağıda verilen özellikler, RUN'un çeşitli karmaşık optimizasyon problemlerini çözmedeki yeterliliğini teorik olarak göstermektedir:

- Ölçek faktörü (SF), keşif ve kullanım adımlarını daha da geliştirmede RUN'a yardımcı olan rastgele bir uyarlama yapısına sahiptir. Bu parametre, keşiften kullanıma sorunsuz bir geçiş sağlar.
- Çözümlerin ortalama konumunun kullanılması, ilk iterasyonlarda RUN'un keşif eğilimini destekleyebilir.
- RUN, hem keşif hem de kullanım yeteneklerini artırmak için RK yöntemine dayalı bir arama mekanizması kullanır.
- RUN algoritmasındaki geliştirilmiş çözüm kalitesi (ESQ), çözümlerin kalitesini artırmak ve yakınsama hızını artırmak için şimdiye kadarki en iyi çözümü kullanır.
- RUN algoritmasında, yeni çözüm mevcut çözümden daha iyi bir konumda değilse, daha iyi bir konuma ulaşmak için arama uzayında yeni farklı bir konum belirleyebilir. Bu süreç, çözümlerin kalitesini artırabilir ve yakınsama oranını iyileştirebilir.
- Arama mekanizması ve ESQ , en iyi çözümün önemini vurgulamak ve keşif ve kullanım adımlarını etkili bir şekilde dengeleyebilen küresel en iyi çözüme doğru ilerlemek için iki rastgele değişken kullanır.

3.2. DİFERANSİYEL GELİŞİM ALGORİTMASI (DE)

Genetik algoritma tabanlı ve popülasyon temelli bir optimizasyon tekniği olan DE, ilk kez 1995 yılında Price ve Storn tarafından önerilmiştir. Algoritmanın temelinde, her biri içinde bir çözüm barındıran kromozomların, tek tek operatörlere tabi tutularak yeni bir çözüm elde edilmesi yatmaktadır. Bu işlemler sırasında mutasyon ve çaprazlama operatörleri kullanılmaktadır. Yeni bireyin uygunluğu yani çözüme olan yakınlığı, eskisinden daha iyi ise yeni birey, değilse eski birey bir sonraki popülasyona aktarılır (Abou vd., 2010; Özyön vd., 2011; Storn vd., 1997).

DE'de kullanılan temel algoritma parametreleri, popülasyonun büyüklüğü $NP_{\max}$, değişken sayısı D , maksimum iterasyon sayısı $g_{\max}$, çaprazlama oranı CR ve ölçekleme faktörü F 'dir. Algoritmanın işlem basamakları değişken ataması ve başlangıç

popülasyonunun oluşturulması, bireylerin uygunluklarının hesaplanması, seçim, mutasyon, çaprazlama ve algoritmanın durdurulması olarak belirtilebilir.

DE’de yeni bir kromozom üretmek için üç adet kromozom gereklidir. Bu nedenle popülasyon büyüklüğü üçten büyük olmalıdır ($NP > 3$). NP adet D boyutlu kromozomdan meydana gelen başlangıç popülasyonunun üretimi denklem (3.15)’e göre yapılır.

$$x_{j,i,g=0} = x_j^{(l)} + rand_j[0,1].(x_j^{(u)} - x_j^{(l)}) \quad (3.15)$$

Denklemden yer alan x_j, i, g , g popülasyonundaki, i kromozomunun j parametresini, $(x_j^{(l)}, x_j^{(u)})$ ise değişkenlere ait alt ve üst sınırları göstermektedir.

Popülasyon oluşturulduktan sonra mutasyon işlemine geçilir. Mutasyon, seçilen kromozomun genleri üzerinde rastgele değişiklikler yapmaktır. DE’nin temel yapısında mutasyon işlemi için mevcut kromozom dışında ve birbirlerinden farklı üç kromozom seçilir (r_1, r_2, r_3). İlk ikisinin farkı alınır ve F ile çarpılır. F genellikle 0~2 arasında değişen bir değer alınmaktadır. Ağırlıklandırılmış fark kromozomu ile üçüncü kromozom toplanır. Bu çalışmada uygulanan mutasyon işleminin (DE/rand/1/bin) matematiksel ifadesi ana kaynakta yer aldığı gibi denklem 3.15’de gösterilmiştir. DE için, farklı çalışmalarda, farklı şekilde mutasyon çeşitleri de mevcuttur.

$$n_{j,i,g+1} = x_{j,r_3,g} + F.(x_{j,r_1,g} - x_{j,r_2,g}) \quad (3.16)$$

Denklemden $n_{j,i,g+1}$ mutasyon ve çaprazlaştırmaya tabi tutulmuş ara kromozom, r_1, r_2, r_3 yeni kromozom üretilmesinde kullanılacak rastgele seçilmiş kromozomları $r_{1,2,3} \in \{1, 2, 3, \dots, NP\}$, $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i$ göstermektedir.

Mutasyon sonucunda elde edilen fark kromozomu ve x_i, g kromozomu kullanılarak yeni kromozom ($u_i, g+1$) üretilir. Deneme kromozomu için genler CR olasılıkla fark kromozomundan, (1-CR) olasılıkla mevcut kromozomdan seçilir. $j = j_{rand}$ koşulu, en az bir tane genin üretilen yeni kromozomdan alınmasını garanti etmek için kullanılmaktadır. Rastgele seçilen $j = j_{rand}$ noktasındaki bir gen, CR değerine bakılmaksızın $n_{j,i,g+1}$ ’den seçilir.

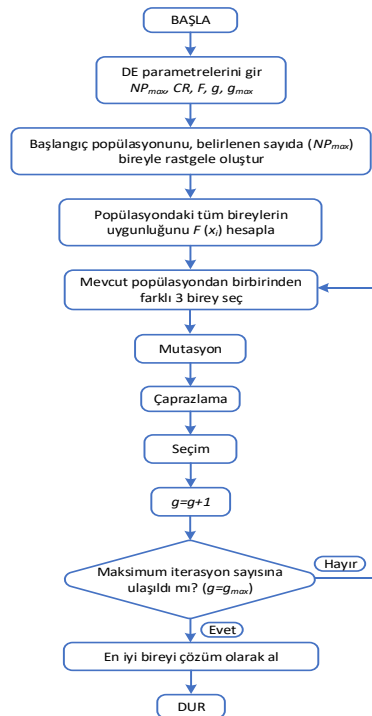
$$x_{j,u,g+1} = \begin{cases} x_{j,n,g+1} & \text{if } rand[0,1] \leq CR \text{ or } j = j_{rand} \\ x_{j,i,g} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.17)$$

Mutasyon ve çaprazlama operatörleri kullanılarak hedef kromozomla birlikte üç farklı kromozom kullanılarak yeni bir kromozom (deneme kromozomu) elde edilmiştir. Yeni popülasyona ($g = g + 1$) aktarılabacak olan kromozom uygunluk değerine bakılarak belirlenir. Hedef kromozomun uygunluk değeri zaten bilinmektedir. Problemin amaç fonksiyonu değeri uygunluk fonksiyonu olarak hesaplanır. Kromozomlardan uygunluğu yüksek olan kromozom yeni popülasyona aktarılır. Döngü ($g = g_{\max}$) olana kadar devam eder, $g_{\max}$ olduğunda mevcut popülasyondaki en iyi birey çözüm olarak alınır.

$$x_{i,g+1} = \begin{cases} x_{u,g+1} & \text{if } f(x_{u,g+1}) \leq f(x_{i,g+1}) \\ x_{i,g} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.18)$$

Algoritmada amaç sürekli daha iyi uygunluk değerine sahip kromozomlar elde etmek ve optimum değeri yakalamak ya da bu değere yaklaşımdır. Bu döngü $g = g_{\max}$ olana kadar devam ettirilmektedir. Çalışmada algoritmanın durdurulması belirlenen iterasyon sayısına bağlıdır. Algoritmaya ait akış şeması Şekil 3.5’de verilmiştir.

Şekil 3.5: DE’nin Akış Diyagramı



Kaynak: (Özyön vd., 2011a).

3.3. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI (PSO)

PSO yeni bir sezgisel metot olarak 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından ortaya atılmıştır. Bu metot kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışlarını gözlemleyerek geliştirilmiştir. PSO algoritmasının amaç fonksiyon değişimini elde etmek için matematiksel işlemlere ihtiyaç duymayan bir global optimizasyon algoritmasıdır. Metodun ilk orijinal versiyonu sadece lineer olmayan sürekli optimizasyon problemlerin çözümünde kullanılabiliyordu. Daha sonra metot geliştirilerek daha karmaşık mühendislik problemlerinin global optimal çözümlerinde kullanılabilir hale geldi. Algoritmada bir sürü birçok parçacıktan meydana gelmekte ve her bir parçacık bir potansiyel çözümü göstermektedir (Wang L., 2007; Özyön vd., 2011).

Kuş ve balık sürüleri yiyecek yada barınak bulmak için belirli bir alanı tararlar. PSO algoritması, bu sürülerin sosyal davranışları göz önüne alınarak tasarlanmıştır. Bu davranışların ilki sürüdeki her bir parçanın geçmişteki hatıraları içerisinde en iyi konuma gitme davranışdır. İkinci davranış sürü içerisindeki yiyeceğe en yakın parçacığı takip etme hareketidir. Son davranış ise parçacığın geniş alan taramasını sağlayan geçmiş hız değeridir. Bu davranışlar PSO algoritmasının temelini oluşturur (Cura T, 2008).

Başlangıçta parçacıklar uygun arama uzayında yayılmak için rastgele üretilir. Parçacık kendine ait pozisyon ve uçuş hızına sahiptir. Optimizasyon işleminde her bir iterasyon boyunca parçacıklar sahip oldukları bu değerleri değişmeden sürdürürler. Bir sonraki iterasyonda her bir parçacığın konumunu belirlemek için denklemler güncellenir. Her bir iterasyonda parçacıklar optimal çözüme doğru hareket ederler (Özyön vd., 2011).

PSO algoritmasında, her bir parçacık ilk olarak rasgele konumlara yerleştirilir. Her bir parçacığın yeni hızı denklem (3.19) ve yeni konumu denklem (3.20) ile belirlenir.

$$v_i(k+1) = wf \cdot v_i(k) + c_1 r_1(k) \cdot (X_{leniyi}(k) - x_i(k)) + c_2 r_2(k) \cdot (X_{geniyi}(k) - x_i(k)) \quad (3.19)$$

$$x_i(k+1) = x_i(k) + v_i(k+1), \quad v_i(0)=0 \quad (3.20)$$

Denklemlerde k iterasyon sayısını, M her bir iterasyonda parçacık sayısını (sürü popülasyonu), $x_i(k)$, $i \in (1, \dots, M)$ k . iterasyonda i . parçacığın konumunu, $v_i(k)$, $i \in (1, \dots, M)$ k . iterasyonda i . parçacığın hızını, pozitif sayılar olan c_1 ve c_2 öğrenme faktörlerini (kavrama ve sosyal ivme sabitlerini), $r_1(k), r_2(k) \sim U(0,1)$ 0 ile 1 arasında düzgün dağılmış rassal sayıları, wf eylemsizlik ağırlık faktörünü göstermektedir. Sürü içindeki herhangi

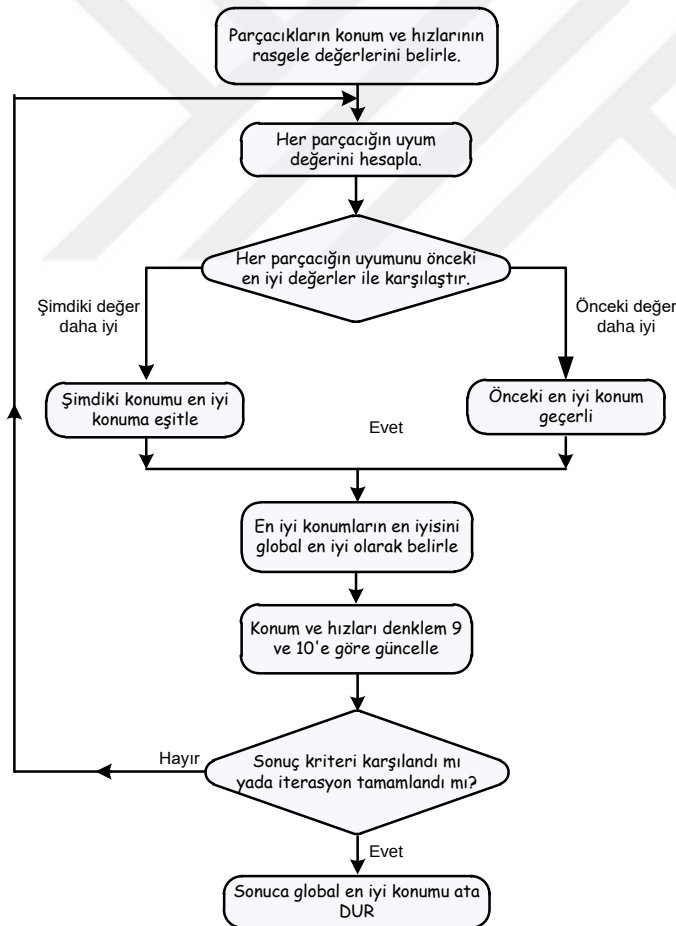
bir bireyin kendi hatıralarındaki en iyi konumu $X_{leniyi}(k)$ değişkenine kaydedilir. Ayrıca sürü içindeki bireylerden optimuma en yakın olanın konumu $X_{geniyi}(k)$ değişkeninde saklanır (Mahor A vd., 2009; Özyön S vd., 2011).

Doğrusal olarak azalan wf eylemsizlik ağırlık faktörünü eski hız değerini kontrol eden bir değişken olup denklem (3.21)'den hesaplanır.

$$wf = wf_{\max} - \frac{wf_{\max} - wf_{\min}}{iter_{\max}} \times iter \quad (3.21)$$

Denklemden $wf_{\min}$ ve $wf_{\max}$ sırasıyla başlangıç ve son eylemsizlik ağırlık faktörlerini, $iter$ o anki iterasyon sayısını ve $iter_{\max}$ maksimum iterasyon sayısını göstermektedir. PSO algoritmasının akış diyagramı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Şekil 3.6: PSO Akış Diyagramı



Kaynak: (Özyön vd., 2011b).

3.4. YERÇEKİMSSEL ARAMA ALGORİTMASI (GSA)

Çekim, kütleyle sahip nesnelerin birbirine doğru hızlanma eğilimidir. Newton yerçekimi kanununda, her bir parça diğer her parçayı bir güçle çekmektedir buna “yerçekimsel güç” denir. GSA’nın temelinde Newton yerçekimi ve hareket kanunları olan en yeni sezgisel algoritmalarından biridir. GSA’da kütleler olarak adlandırılan bir dizi ajan Newton yerçekimi ve hareket kanunlarının simülasyonu ile optimum çözümü bulmak üzere görevlendirilir (Rashedi vd., 2009; Özyön vd., 2018).

GSA’yı tanımlamak için içinde i . kümenin konumunun aşağıdaki gibi tanımlandığı s kümeli bir sistem varsayalım.

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^r), \quad i = 1, 2, \dots, s \quad (3.22)$$

Burada x_i^d d . boyuttaki i . kümenin konumudur ve r arama alanının boyutudur. Mevcut popülasyonun uygunluğu denklem (3.23)’e göre hesaplandıktan sonra denklem (3.24)’e göre her bir ajanın kütlesi hesaplanır.

$$q_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (3.23)$$

$$M_i(t) = \frac{q_i(t)}{\sum_{j=1}^s q_j(t)} \quad (3.24)$$

Bu denklemlerde $M_i(t)$ ve $fit_i(t)$ sırasıyla kütleyi ve t ’deki ajan i ’nin uygunluk değerini temsil eder ve bir minimizasyon problemi için $best(t)$ ve $worst(t)$ aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$best(t) = \min_{j \in \{1, \dots, s\}} fit_j(t) \quad (3.25)$$

$$worst(t) = \max_{j \in \{1, \dots, s\}} fit_j(t) \quad (3.26)$$

Bir ajanın ivmesini hesaplamak için bir dizi daha ağır kütle tarafından onun üzerine uygulanan toplam güçler yerçekimi kanununa bağlı olarak dikkate alınmalıdır (Denklem 3.27), bunu da hareket kanununu kullanan ajan ivmesinin hesaplanması takip eder (Denklem 3.28). Sonra ajanın bir sonraki hızı mevcut hızının ivmesine eklenmesiyle oluşan bir kesir olarak hesaplanır (Denklem 3.29). Son olarak, denklem (3.30) kullanılarak ajanın bir sonraki konumu hesaplanır.

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in k_{best}, j \neq i} rand_j G(t) \frac{M_j(t)M_i(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (3.27)$$

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_i(t)} = \sum_{j \in k_{best}, j \neq i} rand_j G(t) \frac{M_j(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (3.28)$$

$$v_i^d(t+1) = rand_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (3.29)$$

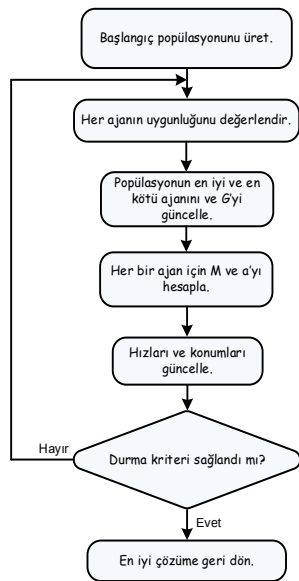
$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (3.30)$$

Burada $rand_i$ ve $rand_j$ $[0,1]$ aralığında düzgün olarak dağıtılmış rastgele iki sayıdır. ε küçük bir değerdir, $R_{ij}(t)$ i ve j ajanları arasındaki mesafedir ve $R_{ij}(t) = \|X_i(t), X_j(t)\|_2$ olarak tanımlanır, k_{best} en iyi uygunluk değeri ve en büyük kütleye sahip ilk K ajanlarının bir dizisidir, ki bu da başlangıçta K_0 'da başlatılan ve zamanla azaltılan bir zaman fonksiyonudur. Burada K_0 s'nin (toplam ajan sayısı) kümesidir ve doğrusal olarak 1'e düşürülür. GSA'da yerçekimsel sabit G , bir başlangıç değeri (G_0) olacaktır ve zamanla azaltılacaktır.

$$G(t) = G(G_0, t) \quad (3.31)$$

GSA algoritmasının akış diyagramı Şekil 3.7'de gösterilmiştir (Rashedi vd, 2010).

Şekil 3.7: GSA Akış Diyagramı



Kaynak: (Özyön vd., 2012).



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
TEST FONKSİYONLARI

Bu bölümde, belirlenen RUN algoritmasının farklı yapıdaki matematiksel ifadelerin optimizasyonundaki performansını ve yakınsama hızını görebilmek için seçilen test fonksiyonları ayrıntılı olarak verilmiştir. Daha sonra belirlenen 23 adet test fonksiyonunun RUN, DE, PSO ve GSA algoritmaları ile çözümlerinden elde edilen sonuçlar tablolar halinde verilmiş ve bu tablolara ait yakınsama ve kutu grafiklerinin değerlendirmeleri yapılmıştır.

4.1. TEST FONKSİYOLARINA GİRİŞ

Çalışmada ilk olarak RUN algoritmasının, performansının değerlendirilebilmesi için literatürde farklı araştırmacılar tarafından daha önce farklı algoritmalar ile çözümü yapılmış, olan 23 adet test fonksiyonu seçilmiştir. Bu fonksiyonların matematiksel formülleri yapılarına göre sırasıyla Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir. Daha sonraki kısımda ayrıntılı olarak fonksiyonların 2-boyutlu görünüşleri ve ayrıntılı bilgileri verilmiştir. Tablolarda, D değeri fonksiyonun boyutunu, S arama uzayını, f_{min} ise fonksiyonun minimum değerini göstermektedir. Bu fonksiyonlar düşük ve sabit boyutlu olup az sayıda lokal minimum noktaları olan multimodal fonksiyonlardır. (Rashedi, 2009; Özyön vd., 2018).

Tablo 4.1: Unimodal Test Fonksiyonları

	<i>Formül</i>
1	$f_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$
2	$f_2(x) = \sum_{i=1}^n x_i + \prod_{i=1}^n x_i $
3	$f_3(x) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)^2$
4	$f_4(x) = \max \{ x_i , 1 \leq i \leq n \}$
5	$f_5(x) = \sum_{i=1}^{n-1} \left[100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2 \right]$
6	$f_6(x) = \sum_{i=1}^n ([x_i + 0.5])^2$
7	$f_7(x) = \sum_{i=1}^n ix_i^4 + random[0,1)$

Tablo 4.2: Multimodal Test Fonksiyonları

	<i>Formül</i>
8	$f_8(x) = \sum_{i=1}^n -x_i \sin(\sqrt{ x })$
9	$f_9(x) = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$
10	$f_{10}(x) = -20 \exp\left(-0.2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i)\right) + 20 + e$
11	$f_{11}(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$
12	$f_{12}(x) = \frac{\pi}{n} \left\{ 10 \sin(\pi y_1) + \sum_{i=1}^{n-1} (y_i - 1)^2 [1 + 10 \sin^2(\pi y_{i+1})] \right\} + \sum_{i=1}^{n-1} u(x_i, a, k, m)$ $y_i = 1 + \frac{x_i + 1}{4}, a = 10, k = 100, m = 4, u(x_i, a, k, m) = \begin{cases} k(x_i - a)^m & x_i > a \\ 0 & -a < x_i < a \\ k(-x_i - a)^m & x_i < -a \end{cases}$
13	$f_{13}(x) = 0.1 \left\{ \sin^2(3\pi x_1) + \sum_{i=1}^n (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_i + 1)] + (x_n - 1)^2 [1 + \sin^2(2\pi x_n)] \right\} + \sum_{i=1}^n u(x_i, a, k, m)$ $a = 5, k = 100, m = 4$

Tablo 4.3: Sabit Boyutlu Multimodal Test Fonksiyonları

	<i>Formül</i>
14	$f_{14}(x) = \left(\frac{1}{500} + \sum_{j=1}^{25} \frac{1}{j + \sum_{i=1}^2 (x_i - a_{ij})^6} \right)^{-1}$
15	$f_{15}(x) = \sum_{i=1}^{11} \left[a_i - \frac{x_i(b_i^2 + b_i x_2)}{b_i^2 + b_i x_3 + x_4} \right]$
16	$f_{16}(x) = 4x_1^2 - 2.1x_1^4 + \frac{1}{3}x_1^6 + x_1x_2 - 4x_2^2 + 4x_2^4$
17	$f_{17}(x) = \left(x_2 - \frac{5.1}{4\pi^2} x_1^2 + \frac{5}{\pi} x_1 - 6 \right)^2 + 10 \left(1 - \frac{1}{8\pi} \right) \cos x_1 + 10$
18	$f_{18}(x) = [1 + (x_1 + x_2 + 1)^2 (19 - 14x_1 + 3x_1^2 - 14x_2 + 6x_1x_2 + 3x_2^2)] \times$ $... [30 + (2x_1 - 3x_2)^2 (18 - 32x_1 + 12x_1^2 + 48x_2 - 36x_1x_2 + 27x_2^2)]$
19	$f_{19}(x) = -\sum_{i=1}^4 c_i \exp\left(-\sum_{j=1}^3 a_{ij}(x_j - p_{ij})^2\right)$
20	$f_{20}(x) = -\sum_{i=1}^4 c_i \exp\left(-\sum_{j=1}^6 a_{ij}(x_j - p_{ij})^2\right)$
21	$f_{21}(x) = -\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 [(x_j - a_{ij})(x_j - a_{ij})^T + c_i]^{-1}$
22	$f_{22}(x) = -\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^4 [(x_j - a_{ij})(x_j - a_{ij})^T + c_i]^{-1}$
23	$f_{23}(x) = -\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^4 [(x_j - a_{ij})(x_j - a_{ij})^T + c_i]^{-1}$

Tablolarda verilen fonksiyonların formülleri içerisinde kullanılan sabit katsayı değerleri a_{ij}, a_i, b_i, c_i ve P_{ij} aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir.

Tablo 4.4: $f_{14}(x)$ Fonksiyonundaki a_{ij} Katsayıları

j	1	2	3	4	5	...	21	22	23	24	25
$a_{ij} \ i=1,2$	-32	-16	0	16	32	...	-32	-16	0	16	32
	-32	-32	-32	-32	-32	...	32	32	32	32	32

Tablo 4.5: $f_{15}(x)$ Fonksiyonundaki a_i ve b_i Katsayıları

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
a_i	0,1957	0,1947	0,1735	0,1600	0,0844	0,0627	0,0456	0,0342	0,0323	0,0323	0,0246
b_i	0,25	0,5	1	2	4	6	8	10	12	14	16

Tablo 4.6: $f_{19}(x)$ Fonksiyonundaki a_{ij} , c_i ve P_{ij} Katsayıları

i	$a_{ij}, j=1,2,3$			c_i	$P_{ij}, j=1,2,3$		
	1	2	3		1	2	3
1	3	10	30	1	0,3689	0,1170	0,2673
2	0,1	10	35	1,2	0,4699	0,4387	0,7470
3	3	10	30	3	0,1091	0,8732	0,5547
4	0,1	10	30	3,2	0,03815	0,5743	0,8828

Tablo 4.7: $f_{20}(x)$ Fonksiyonundaki a_{ij} , c_i ve P_{ij} Katsayıları

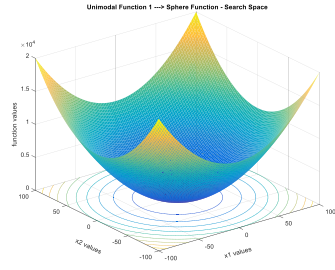
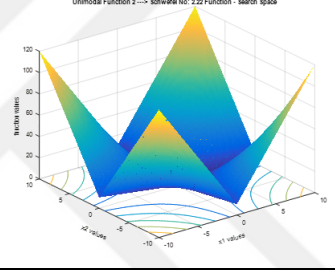
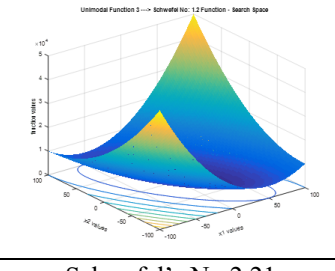
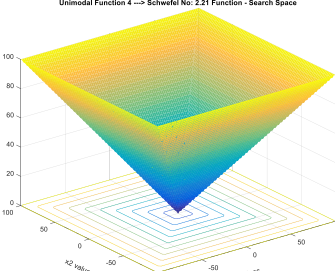
i	$a_{ij}, j=1,2,3,4,5,6$						c_i	$P_{ij}, j=1,2,3,4,5,6$					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
1	10	3	17	3,5	1,7	8	1	0,131	0,169	0,556	0,012	0,828	0,588
2	0,05	10	17	0,1	8	14	1,2	0,232	0,413	0,830	0,373	0,100	0,999
3	3	3,5	1,7	10	17	8	3	0,234	0,141	0,352	0,288	0,304	0,665
4	17	8	0,05	10	0,1	14	3,2	0,404	0,882	0,873	0,574	0,109	0,038

Tablo 4.8: $f_{21}(x)$, $f_{22}(x)$ ve $f_{23}(x)$ Fonksiyonlarındaki a_{ij} ve c_i Katsayıları

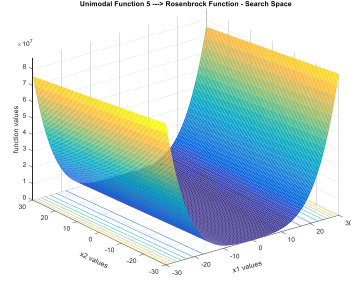
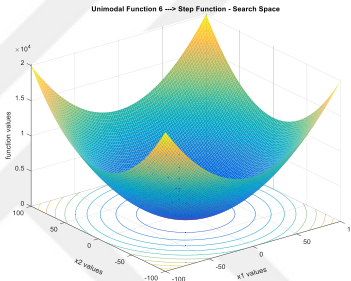
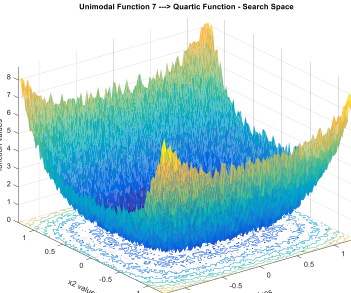
i	$a_{ij}, j=1,2,3,4$				c_i
	1	2	3	4	
1	4	4	4	4	0,1
2	1	1	1	1	0,2
3	8	8	8	8	0,2
4	6	6	6	6	0,4
5	3	7	3	7	0,4
6	2	9	2	9	0,6
7	5	5	3	3	0,3
8	8	1	8	1	0,7
9	6	2	6	2	0,5
10	7	3,6	7	3,6	0,5

4.1.1. Test Fonksiyonlarının Özellikleri

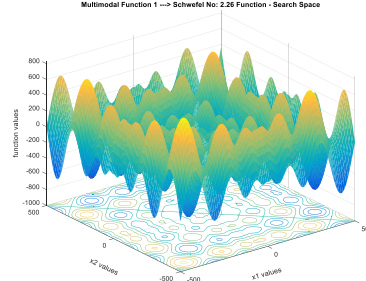
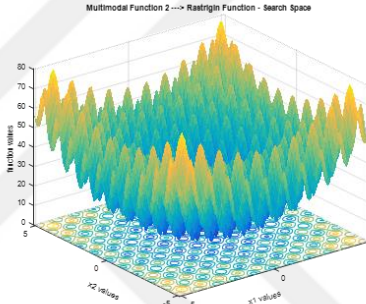
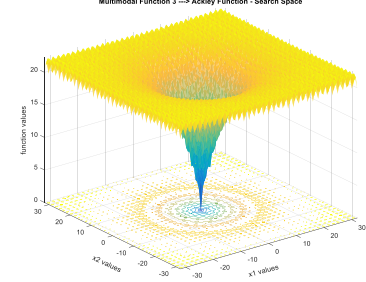
Tablo 4.9: Test Fonksiyonlarının Özellikleri

Fonksiyon-1 (f_1)	Adı	Sphere
	Boyutu (n)	30
	Arama aralığı (s)	$(-100, 100)^n$
	Optimum noktası (f_{min})	0
	Grafik	
Fonksiyon-2 (f_2)	Adı	Schwefel's No 2.22
	Boyutu (n)	30
	Arama aralığı (s)	$(-100, 100)^n$
	Optimum noktası (f_{min})	0
	Grafik	
Fonksiyon-3 (f_3)	Adı	Schwefel's No 1.2
	Boyutu (n)	30
	Arama aralığı (s)	$(-100, 100)^n$
	Optimum noktası (f_{min})	0
	Grafik	
Fonksiyon-4 (f_4)	Adı	Schwefel's No 2.21
	Boyutu (n)	30
	Arama aralığı (s)	$(-100, 100)^n$
	Optimum noktası (f_{min})	0
	Grafik	

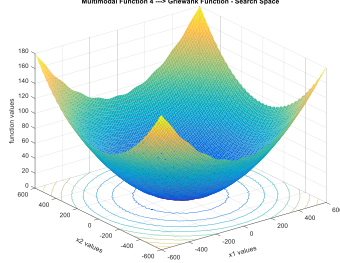
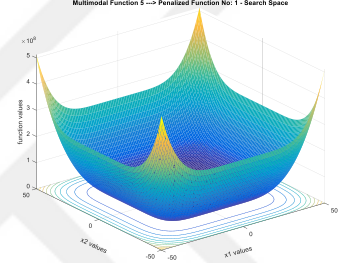
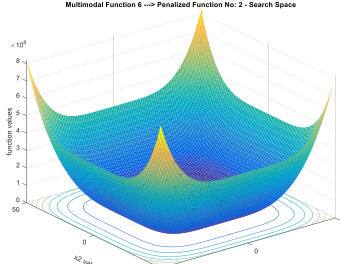
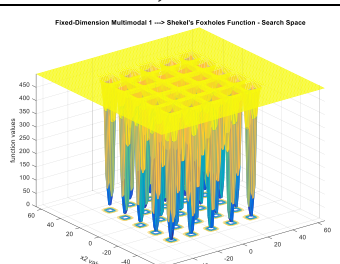
Tablo 4.9: (Devam) Test Fonksiyonlarının Özellikleri

Fonksiyon-5 (f_5)	Adı	Rosenbrock
	Boyutu (n)	30
	Arama aralığı (s)	$(-100, 100)^n$
	Optimum noktası (f_{min})	0
	Grafik	
Fonksiyon-6 (f_6)	Adı	Step
	Boyutu (n)	30
	Arama aralığı (s)	$(-100, 100)^n$
	Optimum noktası (f_{min})	0
	Grafik	
Fonksiyon-7 (f_7)	Adı	Quartic
	Boyutu (n)	30
	Arama aralığı (s)	$(-1,28, 1,28)^n$
	Optimum noktası (f_{min})	0
	Grafik	

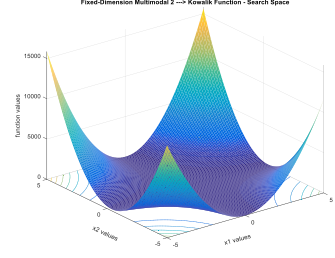
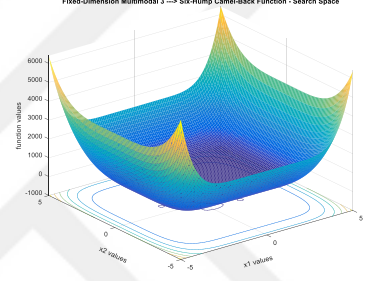
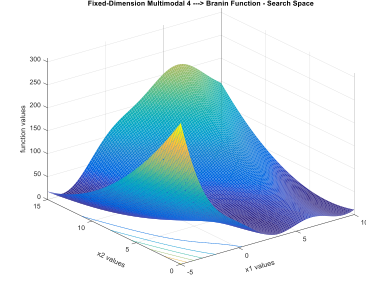
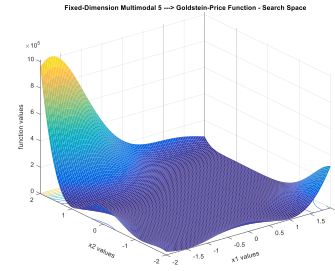
Tablo 4.9: (Devam) Test Fonksiyonlarının Özellikleri

Fonksiyon-8 (f_8)	Adı	Schwefel's No: 2.26
	Boyutu (n)	30
	Arama aralığı (s)	$(-500, 500)^n$
	Optimum noktası (f_{min})	$(-418,9829) \times n$
	Grafik	
Fonksiyon-9 (f_9)	Adı	Rastrigin
	Boyutu (n)	30
	Arama aralığı (s)	$(-5,12, 5,12)^n$
	Optimum noktası (f_{min})	0
	Grafik	
Fonksiyon-10 (f_{10})	Adı	Ackley
	Boyutu (n)	30
	Arama aralığı (s)	$(-32, 32)^n$
	Optimum noktası (f_{min})	0
	Grafik	

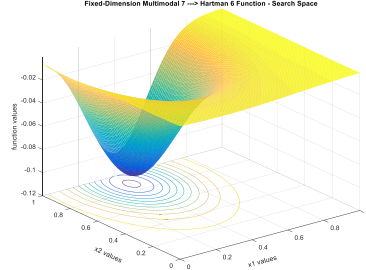
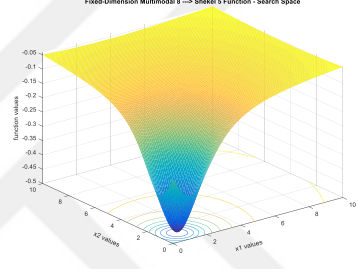
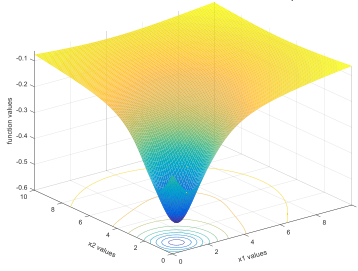
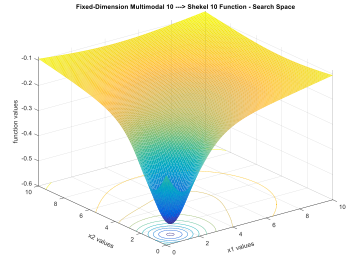
Tablo 4.9: (Devam) Test Fonksiyonlarının Özellikleri

Fonksiyon-11 (f_{11})	Adı	Griewank
	Boyutu (n)	30
	Arama aralığı (s)	$(-600, 600)^n$
	Optimum noktası (f_{min})	0
	Grafik	
Fonksiyon-12 (f_{12})	Adı	Penalized No:1
	Boyutu (n)	30
	Arama aralığı (s)	$(-50, 50)^n$
	Optimum noktası (f_{min})	0
	Grafik	
Fonksiyon-13 (f_{13})	Adı	Penalized No:2
	Boyutu (n)	30
	Arama aralığı (s)	$(-50, 50)^n$
	Optimum noktası (f_{min})	0
	Grafik	
Fonksiyon-14 (f_{14})	Adı	Shekel's Foxholes
	Boyutu (n)	30
	Arama aralığı (s)	$(-65,53, 65,53)^n$
	Optimum noktası (f_{min})	0,998
	Grafik	

Tablo 4.9: (Devam) Test Fonksiyonlarının Özellikleri

Fonksiyon-15 (f_{15})	Adı	Kowalik
	Boyutu (n)	4
	Arama aralığı (s)	$(-5, 5)^4$
	Optimum noktası (f_{min})	0,0003
	Grafik	
Fonksiyon-16 (f_{16})	Adı	Six-Hump Camel-Back
	Boyutu (n)	2
	Arama aralığı (s)	$(-5, 5)^2$
	Optimum noktası (f_{min})	-1,0316
	Grafik	
Fonksiyon-17 (f_{17})	Adı	Branin
	Boyutu (n)	2
	Arama aralığı (s)	$(-5, 10) \times (0, 15)$
	Optimum noktası (f_{min})	0,397887
	Grafik	
Fonksiyon-18 (f_{18})	Adı	Goldstein-Price
	Boyutu (n)	2
	Arama aralığı (s)	$(-2, 2)^2$
	Optimum noktası (f_{min})	3
	Grafik	

Tablo 4.9: (Devam) Test Fonksiyonlarının Özellikleri

Fonksiyon-20 (f_{20})	Adı	Hartman6
	Boyutu (n)	6
	Arama aralığı (s)	$(0, 1)^6$
	Optimum noktası (f_{min})	-3,32237
	Grafik	
Fonksiyon-21 (f_{21})	Adı	Shekel5
	Boyutu (n)	4
	Arama aralığı (s)	$(0, 10)^4$
	Optimum noktası (f_{min})	-10,1532
	Grafik	
Fonksiyon-22 (f_{22})	Adı	Shekel7
	Boyutu (n)	4
	Arama aralığı (s)	$(0, 10)^4$
	Optimum noktası (f_{min})	-10,4029
	Grafik	
Fonksiyon-23 (f_{23})	Adı	Shekel10
	Boyutu (n)	4
	Arama aralığı (s)	$(0, 10)^4$
	Optimum noktası (f_{min})	-10,5364
	Grafik	

Tablo 4.1 ve 4.2'deki $f_1 - f_{13}$ arasındaki fonksiyonlar yüksek boyutlu veya geniş arama uzayına sahip fonksiyonlardır. Bu özelliklerinin yanında Tablo 4.1'deki $f_1 - f_7$ arasındaki fonksiyonlar tek bir optimum noktaya sahip unimodal fonksiyonlar iken, Tablo 4.2'deki $f_8 - f_{13}$ arasındaki fonksiyonlar ise birçok lokal minimum noktaları olan multimodal fonksiyonlardır. Tablo 4.3'te yer alan $f_{14} - f_{23}$ arasındaki fonksiyonlar ise düşük ve sabit boyutlu, az sayıda yerel minimum noktaları olan multimodal fonksiyonlardır. Bütün bu fonksiyonlara ait 2 bilinmeyen için, arama uzaylarının 3-D çizimleri ve ayrıntılı bilgileri başlıklar halinde verilmiştir.

4.2. SAYISAL SONUÇLAR

Bu bölümde bir önceki bölümde ayrıntıları verilen 23 adet test fonksiyonlarının RUN, DE, PSO ve GSA algoritmalarıyla çözümleri yapılmış ve üç adet algoritma ile elde edilen sonuçlar gözlemlenerek, RUN algoritmasının diğer algoritmalara göre hangi noktalarda daha başarılı sonuçlar verdiğine bakılmıştır.

Bu çalışmada yer alan 23 adet test fonksiyonunun çözümünde kullanılan algoritma parametre değerleri, literatürde RUN algoritması ile aynı değerlerde alınmıştır. Bunun sebebi algoritmalar arasındaki karşılaştırmaların doğru ve sağlıklı yapılabilmesi içindir. Böylelikle geliştirilmiş olan metot performans, yakınsama, kararlılık ve hız açısından daha doğru değerlendirilmiş olacaktır.

Bu çalışmada algoritmaların test fonksiyonları üzerindeki çözümleri için MATLAB R2022b'de bir program geliştirilmiş ve bu program Intel(R) Core (TM) i7-10700K 3.80 GHz işlemcili ve 64 GB RAM bellekli bilgisayar kullanılarak çalıştırılmıştır.

4.3. TEST FONKSİYONLARI İÇİN RUNGE KUTTA ALGORİTMASININ DİĞER ALGORİTMALAR İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışmada RUN algoritması ile elde edilen sonuçlar literatürde daha önceden test fonksiyonları için test edilmiş DE, PSO ve GSA algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Programlamada bütün algoritmalar için 50 birey kullanılmış, 500 iterasyon yapılmış ve program 30'ar kez çalıştırılmıştır. Algoritmalara özgü parametreler ise, RUN için $a=0,5$, $b=12$; DE için $CR=0,9$, $F=0,5$; PSO için $c_1=c_2=2$, $w_i=0,5$, $w_0=0,01$; GSA için $\alpha=100$,

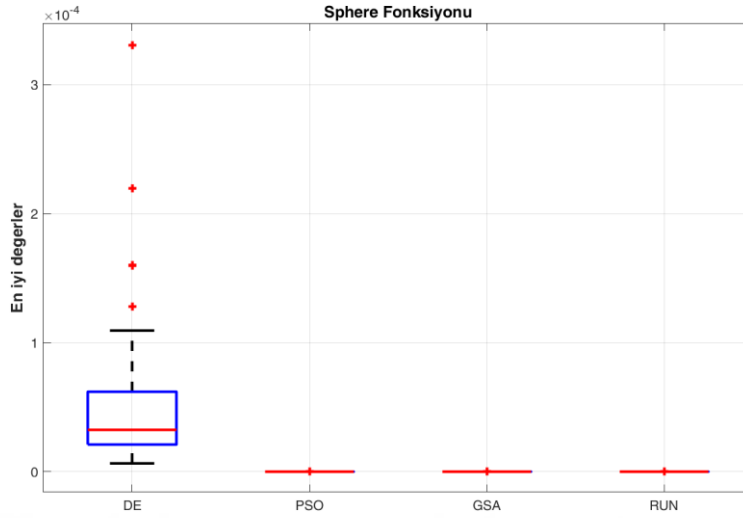
$G_0=15$, $\varepsilon=1 \times 10^{-6}$ olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, yakınsama eğrileri ve kutu grafikleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.10: Unimodal Test Fonksiyonları İçin Elde Edilen Sonuçlar

		<i>DE</i>	<i>PSO</i>	<i>GSA</i>	<i>RUN</i>
f_1	EnKötü	3.3053e-04	3.9874e-10	1.1581e-11	1.9074e-261
	Ortalama	5.7151e-05	1.5211e-11	4.5718e-12	4.8215e-263
	Enİyi	6.4325e-06	6.9047e-15	2.1913e-12	3.7630e-285
	StdSapma	6.3351e-05	6.3626e-11	1.5052e-12	0
	Süre (s)	0.0803	0.0441	0.2194	0.2798
f_2	EnKötü	0.0138	1.5225e-05	1.2995e-05	2.2221e-145
	Ortalama	0.0054	1.1971e-06	8.8945e-06	6.4150e-147
	Enİyi	0.0016	1.7723e-09	6.8382e-06	2.6596e-159
	StdSapma	0.0030	3.2139e-06	1.4035e-06	3.4895e-146
	Süre (s)	0.0850	0.0473	0.2188	0.2849
f_3	EnKötü	1.3943e+03	178.8218	733.4860	8.6682e-219
	Ortalama	385.9050	62.8292	208.8313	2.1876e-220
	Enİyi	86.3804	11.1627	2.3951	5.5991e-245
	StdSapma	249.8467	29.4257	228.6216	0
	Süre (s)	0.0844	0.0483	0.2221	0.2908
f_4	EnKötü	17.9546	2.2225	3.5222	2.4845e-126
	Ortalama	10.0445	1.3184	0.9855	1.3936e-127
	Enİyi	2.9919	0.7002	1.0449e-06	2.0544e-139
	StdSapma	3.7848	0.4005	0.9961	4.5402e-127
	Süre (s)	0.0812	0.0435	0.2226	0.2778
f_5	EnKötü	87.4823	91.8946	29.2209	24.8690
	Ortalama	31.2921	28.0638	26.4927	24.1857
	Enİyi	16.4366	14.0892	24.3861	23.5925
	StdSapma	16.9417	13.1252	1.2179	0.2984
	Süre (s)	0.0784	0.0426	0.2165	0.2751
f_6	EnKötü	2	1	29	0
	Ortalama	0.1250	0.0750	2.9750	0
	Enİyi	0	0	0	0
	StdSapma	0.3992	0.2634	4.9269	0
	Süre (s)	0.0828	0.0461	0.2164	0.2819
f_7	EnKötü	9.8270e-08	4.1625e-18	2.8576e-12	0
	Ortalama	5.7548e-09	2.2645e-19	1.2880e-13	0
	Enİyi	3.2839e-13	8.5497e-23	6.3674e-24	0
	StdSapma	2.0270e-08	6.9983e-19	5.0404e-13	0
	Süre (s)	0.1552	0.1193	0.2887	0.3931

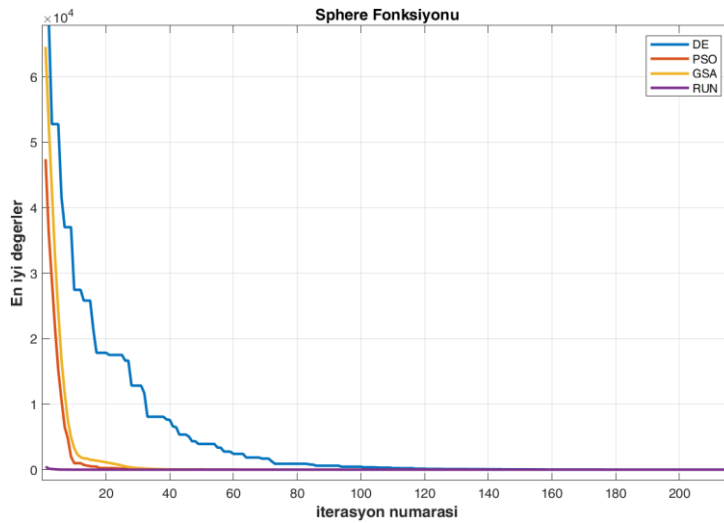
Tablo 4.10’da yer alan tüm fonksiyonlar için 30 farklı çalışmada elde edilen eniyi çözümlere ait, iterasyonlara göre yakınsama eğrilerini ve en iyi yayılımları gösteren kutu grafikleri Şekil 4.1 ve 4.14’de verilmiştir. Sonuç olarak, RUN algoritmasının f_1, f_2, f_3, f_4, f_7 değerlerinde en iyi sonucu elde ettiği fakat süre açısından PSO algoritmasının daha kısa sürelerde çözüme ulaştığı görülmüştür.

Şekil 4.1: f_1 İçin Kutu Grafiği



Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Sphere fonksiyonu için RUN algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, PSO ve GSA'nın 0'a yakınsadığı görülmektedir. DE algoritmasının alt aşırı değerinin 0'a yakınsadığı fakat yakınsama noktasına uzak çok aşırı değerlere de sahip olduğu görülmüştür.

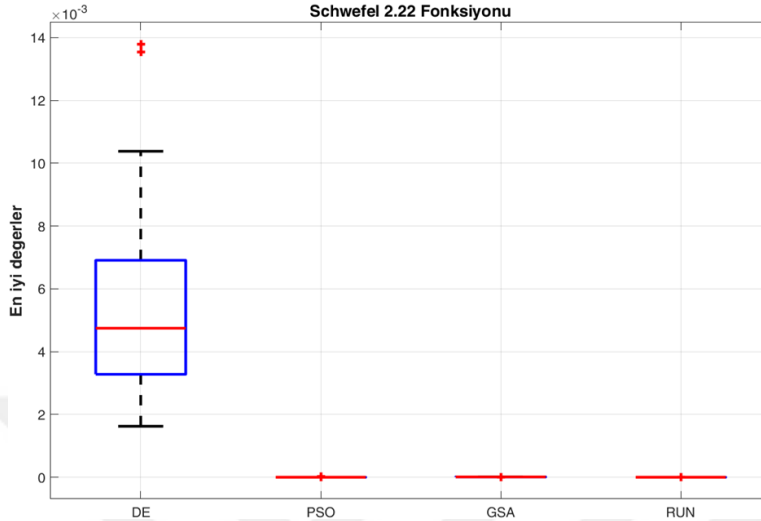
Şekil 4.2: f_1 İçin Yakınsama Eğrisi



Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Sphere fonksiyonu için RUN algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, diğer algoritmaların 0'a yakın değerler yakaladığı görülmektedir. DE ve PSO algoritmalarının 8. İterasyonda, GSA algoritmasının 32. İterasyonda, RUN algoritmasının 29. İterasyonda en iyi sonuca

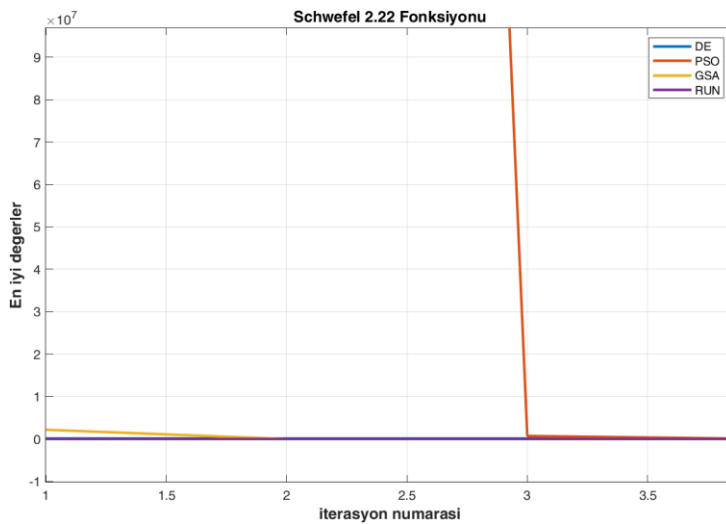
yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede DE en uzun sürede ise RUN algoritması ulaşmıştır.

Şekil 4.3: f_2 İçin Kutu Grafiği



Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Sphere 2.22 fonksiyonu için RUN algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, PSO ve GSA'nın 0'a yakınsadığı görülmektedir. DE algoritmasının alt aşırı değerinin 0'a yakınsadığı fakat yakınsama noktasına uzak çok aşırı değerlere de sahip olduğu görülmüştür.

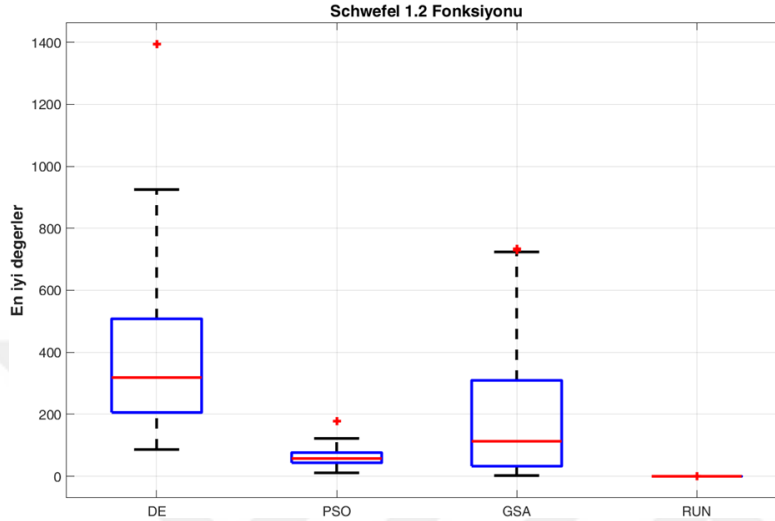
Şekil 4.4: f_2 İçin Yakınsama Eğrileri



Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Sphere 2.22 fonksiyonu için RUN algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, diğer algoritmaların 0'a yakın değerler yakaladığı görülmektedir. DE'nin 29. İterasyonda, PSO algoritmasının 38. İterasyonda, GSA algoritmasının 26. İterasyonda, RUN algoritmasının 8. İterasyonda en

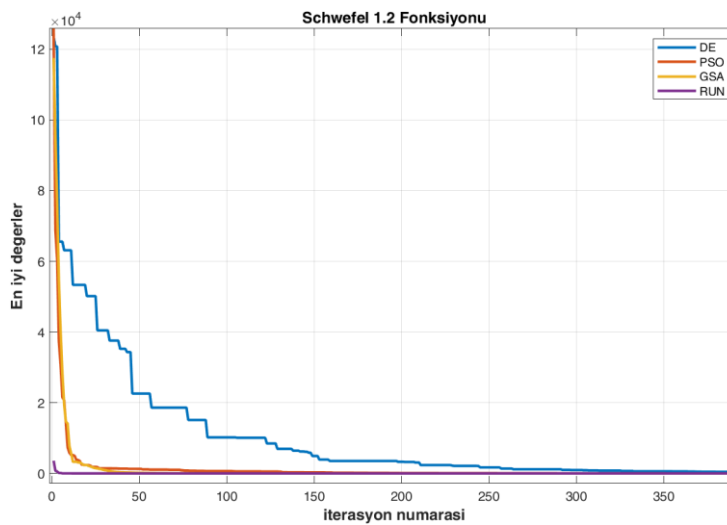
iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması, en uzun sürede ise RUN algoritması ulaşmıştır fakat en iyi sonuca RUN algoritmasının elde ettiği görülmüştür.

Şekil 4.5: f_3 İçin Kutu Grafiği



Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Sphere 1.2 fonksiyonu için RUN algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, PSO, GSA ve DE'nin 0'a yakınsadığı görülmektedir. DE, PSO ve GSA algoritmalarının alt aşırı değerinin 0'a yakınsadığı fakat yakınsama noktasına uzak çok aşırı değerlere de sahip olduğu görülmüştür.

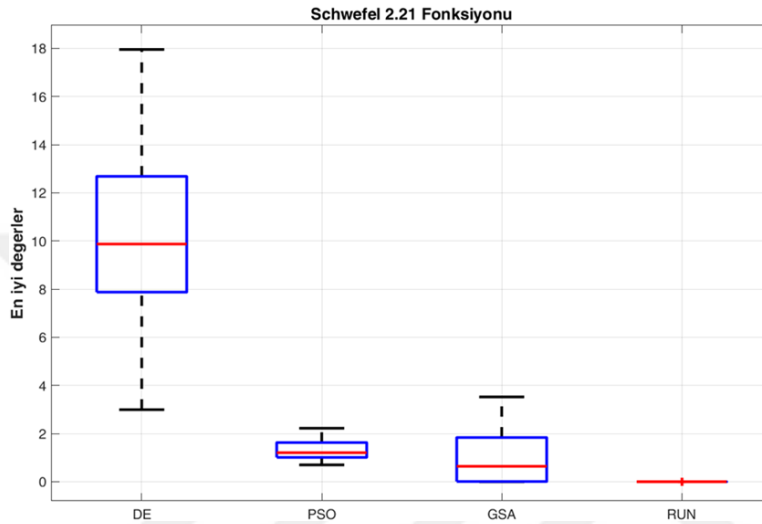
Şekil 4.6: f_3 İçin Yakınsama Eğrileri



Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Sphere 1.2 fonksiyonu için RUN algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, diğer algoritmaların 0'a

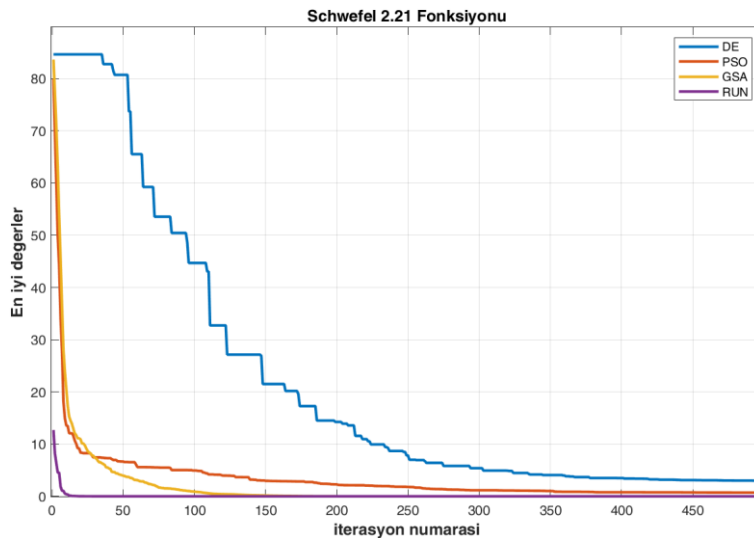
yakın değerler yakaladığı görülmektedir. DE'nin 29. İterasyonda, PSO algoritmasının 38. İterasyonda, GSA algoritmasının 26. İterasyonda, RUN algoritmasının 8. İterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması, en uzun sürede ise RUN algoritması ulaşmıştır fakat en iyi sonuca RUN algoritmasının elde ettiği görülmüştür.

Şekil 4.7: f_4 İçin Kutu Grafiği



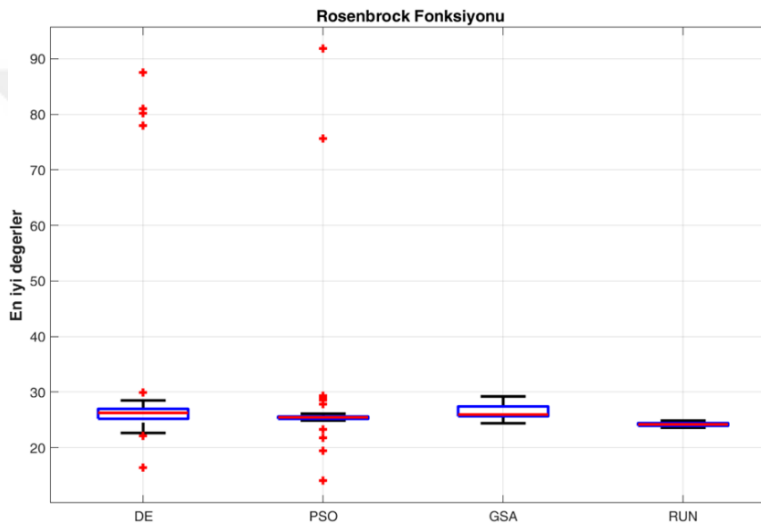
Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Sphere 2.21 fonksiyonu için RUN algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, PSO ve GSA'nın da 0'a yakınsadığı görülmektedir. DE algoritmasının alt aşırı değerinin 0'a yakınsamadığı en iyi değerinin 2,9919'da kaldığı görülmektedir.

Şekil 4.8: f_4 İçin Yakınsama Eğrileri



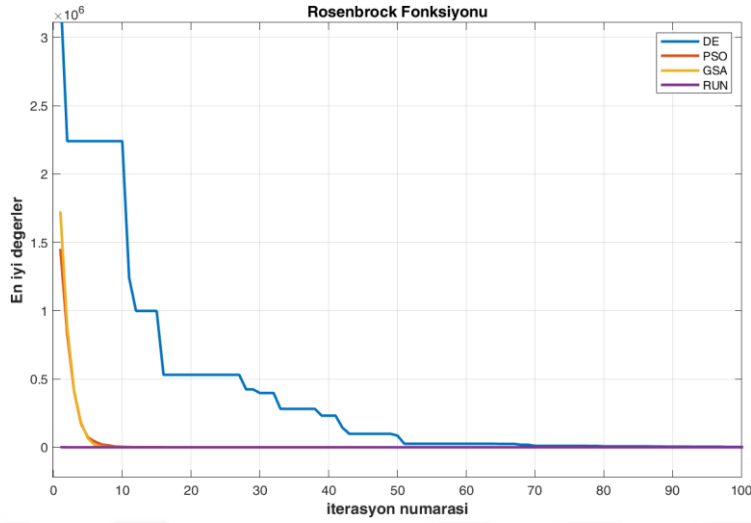
Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Sphere 2.21 fonksiyonu için RUN algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, PSO ve GSA algoritmalarının 0'a yakın değerler yakaladığı DE algoritmasının ise yakınsama noktasından uzakta kaldığı görülmektedir. DE'nin en iyi değerine 19. iterasyonda, PSO algoritmasının 10. iterasyonda, GSA algoritmasının 2. iterasyonda, RUN algoritmasının 29. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması, en uzun sürede ise RUN algoritması ulaşmıştır fakat en iyi sonuca RUN algoritmasının elde ettiği görülmüştür.

Şekil 4.9: f_5 İçin Kutu Grafiği



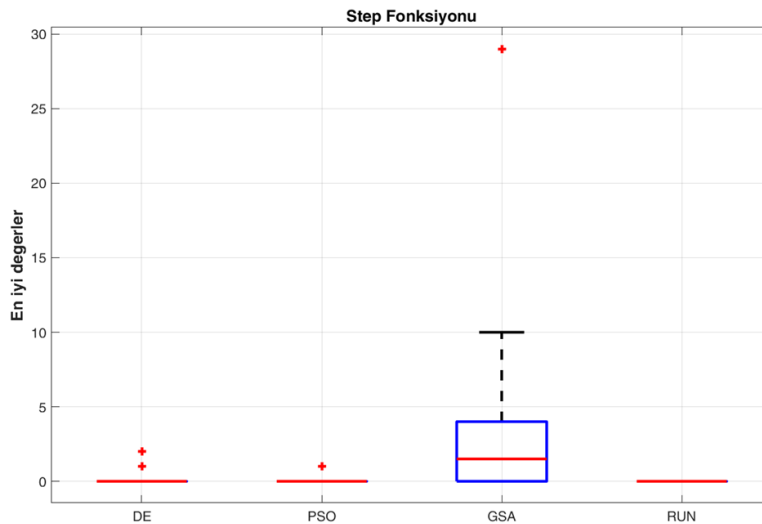
Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Rosenbrock fonksiyonu için RUN ve GSA algoritmalarının fonksiyonun optimum değer aralığında olduğu, PSO ve DE'nin de optimum değer aralığında olduğu fakat aşırı değerlerinde fazlaca olduğu görülmektedir.

Şekil 4.10: f_5 İçin Yakınsama Eğrileri



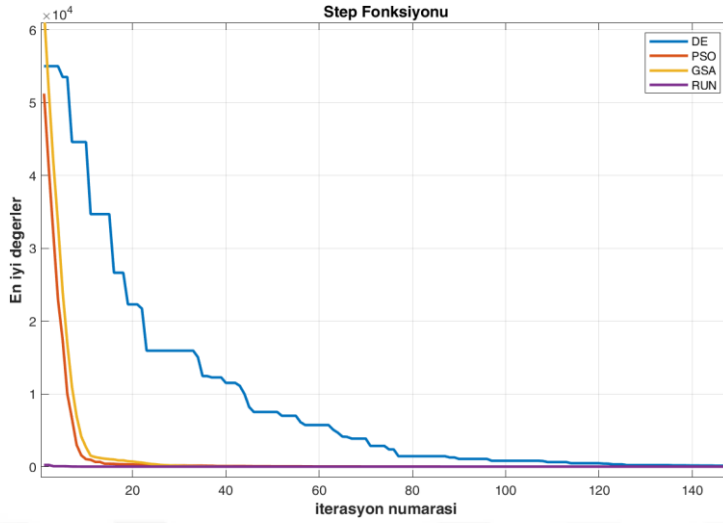
Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Rosenbrock fonksiyonu için RUN algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, PSO, GSA ve DE algoritmalarının 0'a yakın değerler yakaladığı DE'nin en iyi değerine 22. iterasyonda, PSO algoritmasının 29. iterasyonda, GSA algoritmasının 1. iterasyonda, RUN algoritmasının 14. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması, en uzun sürede ise RUN algoritması ulaşmıştır fakat en iyi sonuca RUN algoritmasının elde ettiği görülmüştür.

Şekil 4.11: f_6 İçin Kutu Grafiği



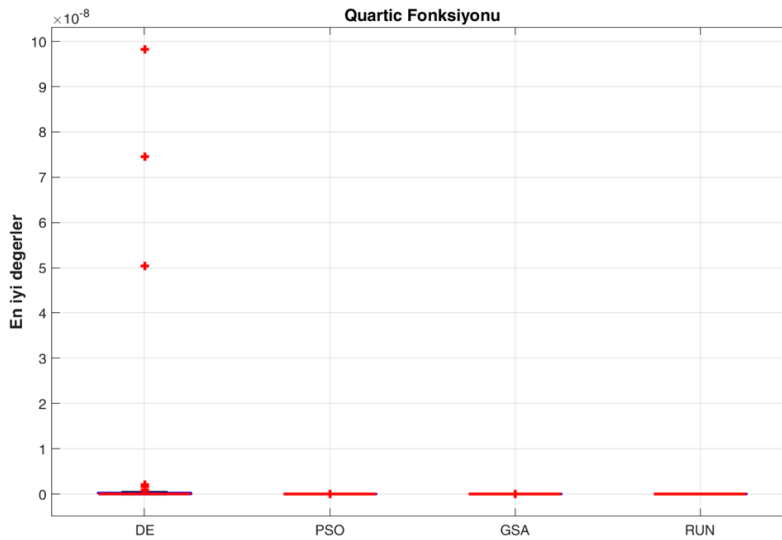
Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Step fonksiyonu için RUN, DE, PSO ve GSA algoritmalarının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, PSO, GSA ve DE'nin aşırı değerlerinin olduğu görülmektedir.

Şekil 4.12: f_6 İçin Yakınsama Eğrileri



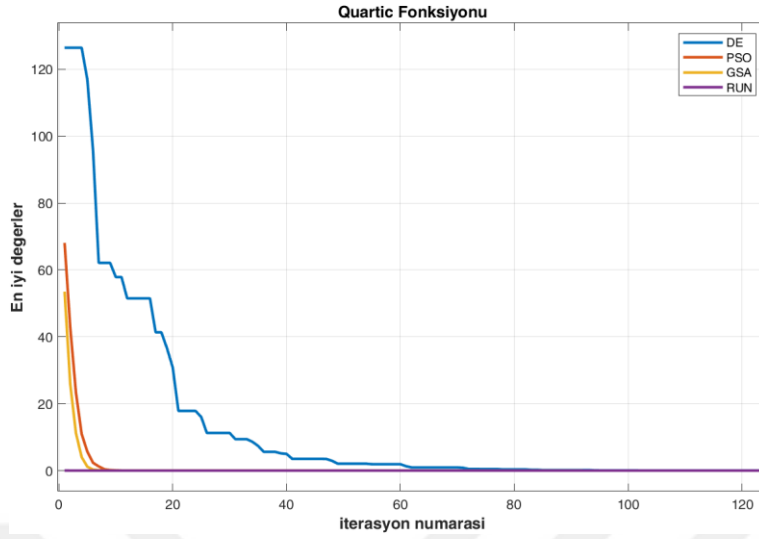
Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Step fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, DE'nin en iyi değerine 14. iterasyonda, PSO algoritmasının 18. iterasyonda, GSA algoritmasının 32. iterasyonda, RUN algoritmasının 20. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması, en uzun sürede ise RUN algoritması ulaşmıştır. fakat en iyi sonuca PSO algoritmasının elde ettiği görülmüştür.

Şekil 4.13: f_7 İçin Kutu Grafiği



Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde Quartic fonksiyonu için RUN, DE, PSO ve GSA algoritmalarının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, DE'nin optimum noktadan uzaklaşan aşırı değerlerinin olduğu görülmektedir.

Şekil 4.14: f_7 İçin Yakınsama Eğrileri



Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Quartic fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, DE'nin en iyi değerine 26. iterasyonda, PSO algoritmasının 19. iterasyonda, GSA algoritmasının 33. iterasyonda, RUN algoritmasının 1. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması, en uzun sürede ise RUN algoritması ulaşmıştır fakat en iyi sonucu elde etmiştir.

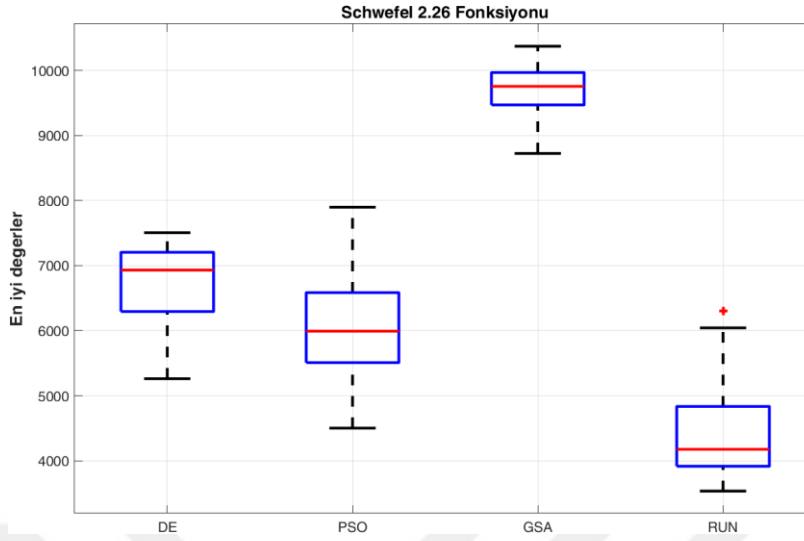
RUN'nın diğer üç farklı algoritmayla kıyaslanan f_{8-13} multimodal fonksiyonları için $n=30$ (30-D) iken elde edilen değerler Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11: Multimodal Test Fonksiyonları İçin Elde Edilen Sonuçlar

		<i>DE</i>	<i>PSO</i>	<i>GSA</i>	<i>RUN</i>
f_8	EnKötü	7.5048e+03	7.8966e+03	1.0370e+04	6.2996e+03
	Ortalama	6.7452e+03	6.0968e+03	9.7046e+03	4.4264e+03
	Enİyi	5.2607e+03	4.5009e+03	8.7222e+03	3.5335e+03
	StdSapma	604.4087	773.5225	403.0482	715.5953
	Süre (s)	0.1023	0.0905	0.3153	0.3147
f_9	EnKötü	216.1334	69.6470	195.2253	0
	Ortalama	196.0052	26.6649	22.4409	0
	Enİyi	155.6950	13.9294	0.9266	0
	StdSapma	11.4346	9.9002	32.1155	0
	Süre (s)	0.0955	0.0547	0.2308	0.2863
f_{10}	EnKötü	0.0042	4.2105e-06	0.9313	0
	Ortalama	0.0020	6.3417e-07	0.0233	0
	Enİyi	0.0011	9.3011e-09	1.1258e-06	0
	StdSapma	7.1284e-04	9.6252e-07	0.1454	0
	Süre (s)	0.0939	0.0541	0.2261	0.2926
f_{11}	EnKötü	0.0668	0.0588	105.6573	0
	Ortalama	0.0035	0.0135	75.7453	0
	Enİyi	1.8107e-05	1.0114e-13	41.2210	0
	StdSapma	0.0109	0.0146	15.1616	0
	Süre (s)	0.1012	0.0624	0.2425	0.2953
f_{12}	EnKötü	0.4147	0.5191	0.2073	1.5031e-09
	Ortalama	0.0210	0.0467	0.0417	8.0330e-10
	Enİyi	2.8437e-07	2.8688e-17	1.7722e-14	2.9883e-10
	StdSapma	0.0693	0.1036	0.0687	2.8488e-10
	Süre (s)	0.1294	0.0833	0.2578	0.3506
f_{13}	EnKötü	7.1964	0.0788	0.0190	0.1384
	Ortalama	1.1053	0.0060	0.0026	0.0398
	Enİyi	1.6437e-05	2.8591e-16	4.8077e-13	5.6406e-09
	StdSapma	2.0215	0.0142	0.0063	0.0326
	Süre (s)	0.1200	0.0688	0.2426	0.3260

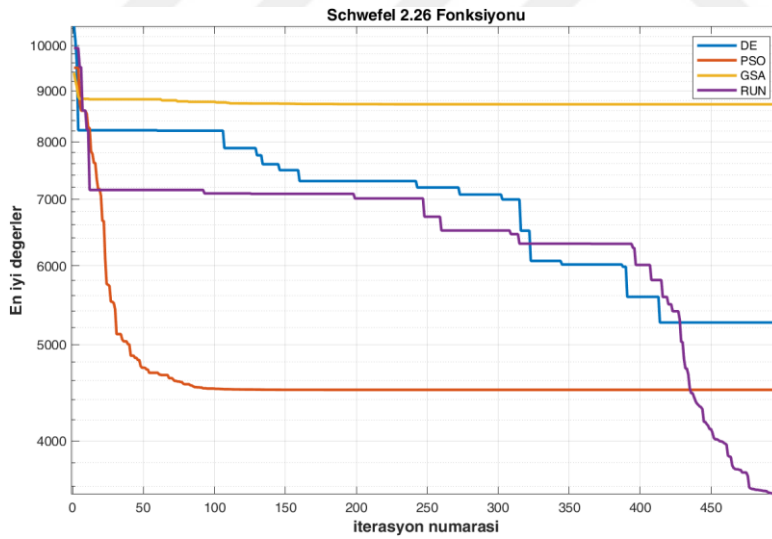
Tablo 4.11’de yer alan tüm fonksiyonlar için 30 çalışmada elde edilen eniyi çözümlere ait, iterasyonlara göre yakınsama eğrilerini ve en iyi yayılımları gösteren kutu grafikleri Şekil 4.15 ve 4.26’da verilmiştir. Sonuç olarak, RUN algoritmasının f_8, f_9, f_{10} değerlerinde en iyi sonucu elde ettiği fakat süre açısından PSO algoritmasının daha kısa sürelerde çözüme ulaştığı görülmüştür.

Şekil 4.15: f_8 İçin Kutu Grafiği



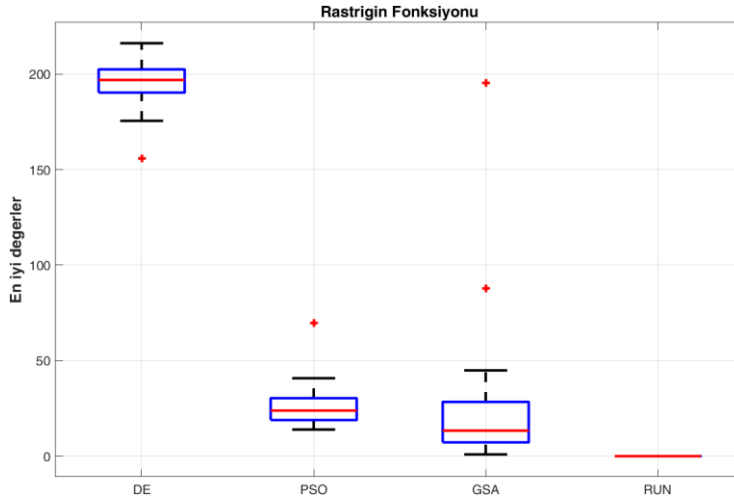
Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde Schwefel 2,26 fonksiyonu için RUN, DE, PSO ve GSA algoritmalarının fonksiyonun optimum değeri olan 0'dan uzak kaldığı görülmektedir.

Şekil 4.16: f_8 İçin Yakınsama Eğrileri



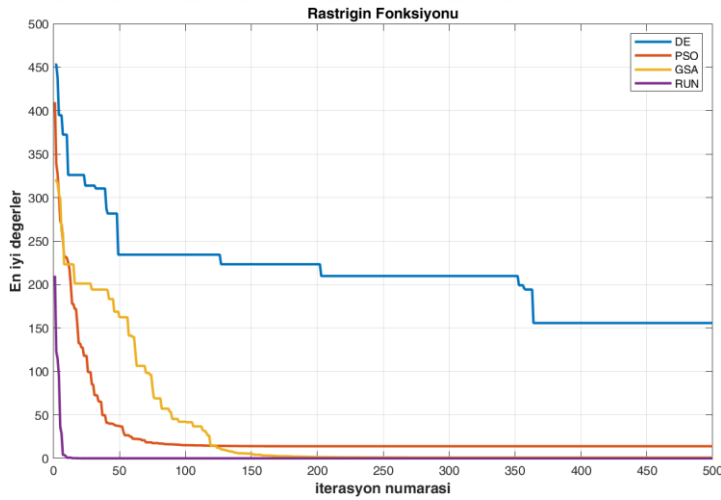
Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Schwefel 2.26 fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'dan uzak kaldığı, DE'nin en iyi değerine 14. iterasyonda, PSO algoritmasının 18. iterasyonda, GSA algoritmasının 32. iterasyonda, RUN algoritmasının 20. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması, en uzun sürede ise RUN algoritması ulaşmıştır fakat en iyi sonucu elde etmiştir.

Şekil 4.17: f_9 İçin Kutu Grafiği



Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Rastring fonksiyonu için RUN algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, PSO ve GSA'nın 0'a yakınsadığı DE algoritmasının yakınsama noktasından çok uzakta olduğu görülmektedir. PSO ve GSA algoritmalarının alt aşırı değerinin 0'a yakınsadığı fakat yakınsama noktasına uzak çok aşırı değerlere de sahip olduğu görülmüştür.

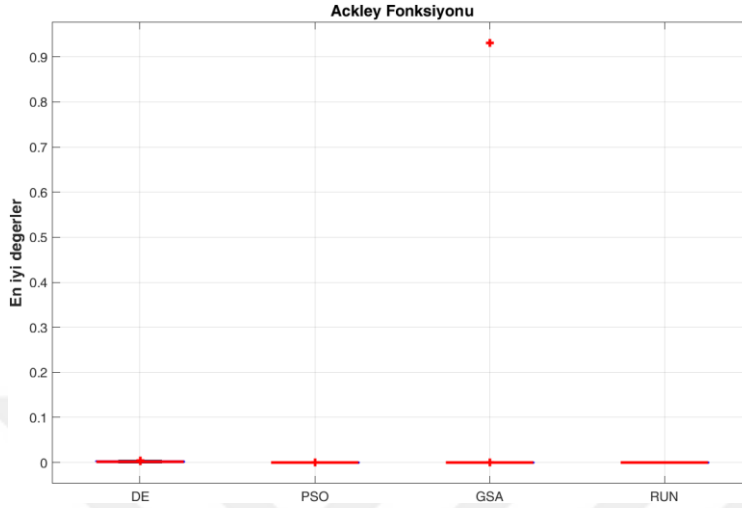
Şekil 4.18: f_9 İçin Yakınsama Eğrileri



Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Rastring fonksiyonu için RUN algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, PSO ve GSA algoritmalarının 0'a yakın değerler yakaladığı DE'nin ise iterasyon sayısının 500 olmasından dolayı yakınsama noktasının çok uzağında kaldığı görülmektedir. DE'nin en iyi değerine . iterasyonda, PSO algoritmasının 9. iterasyonda, GSA algoritmasının 16. iterasyonda, RUN algoritmasının 1. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları

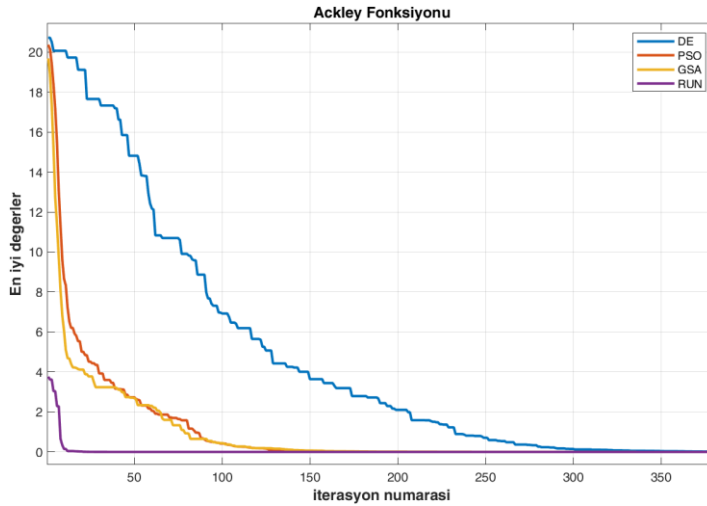
görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması, en uzun sürede ise RUN algoritması ulaşmıştır fakat en iyi sonuca RUN algoritmasının elde ettiği görülmüştür.

Şekil 4.19: f_{10} İçin Kutu Grafiği



Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Ackley fonksiyonu için tüm algoritmaların optimum değer olan 0'ı yakaladığı, sadece PSO algoritmasının yakınsama noktasından uzakta 1 adet değer olduğu görülmektedir.

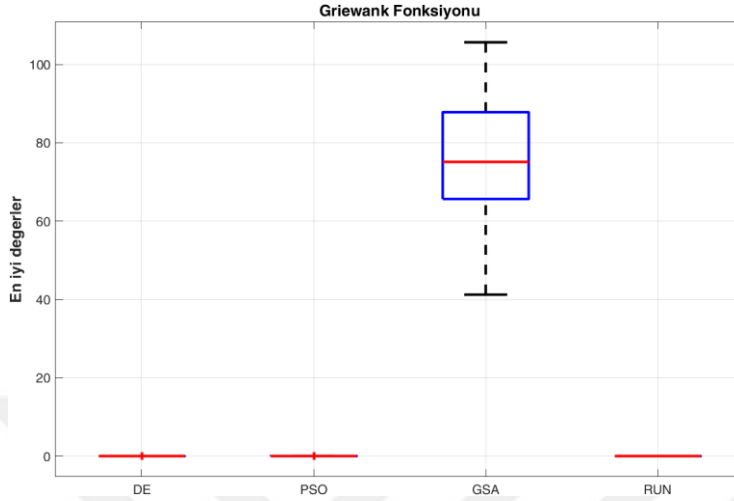
Şekil 4.20: f_{10} İçin Yakınsama Eğrileri



Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Ackley fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, DE'nin en iyi değerine 38. iterasyonda, PSO algoritmasının 21. iterasyonda, GSA algoritmasının 9. iterasyonda, RUN algoritmasının 1. iterasyonda en iyi sonuca

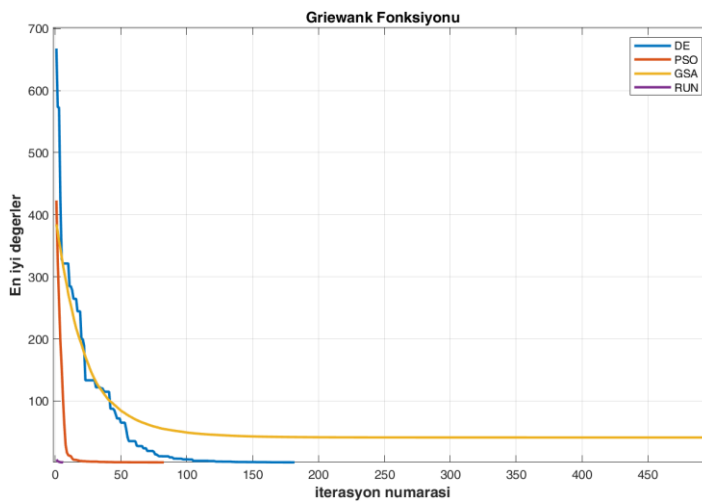
yakınsadıkları görülmektedir. . Çözüme en kısa sürede PSO algoritmasının, en uzun sürede ise RUN algoritmasının ulaştığı fakat en iyi sonucuda elde ettiği görülmüştür.

Şekil 4.21: f_{11} İçin Kutu Grafiği



Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Griewank fonksiyonu için GSA algoritmasının dışındaki diğer algoritmalar optimum değer olan 0'ı yakaladığı, sadece GSA algoritmasının yakınsama noktasının uzağında alt aşım değerinin 41 değerinde olduğu görülmektedir.

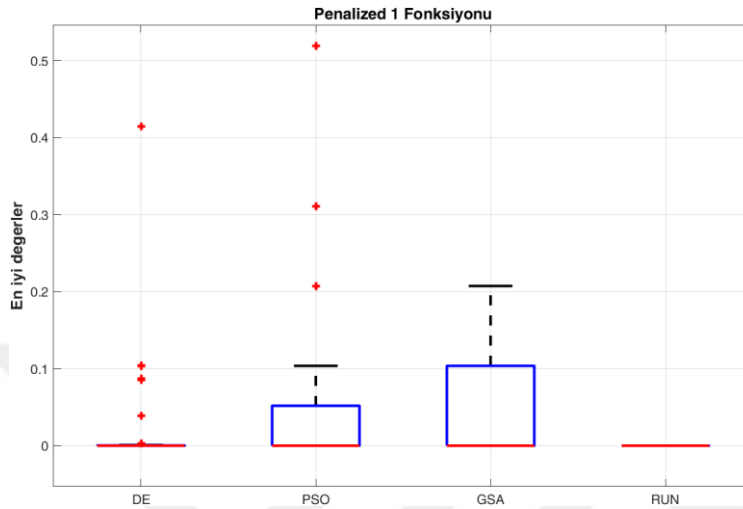
Şekil 4.22: f_{11} İçin Yakınsama Eğrileri



Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Ackley fonksiyonu için RUN, PSO ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, GSA algoritmasının yakınsama noktasının uzağında kaldığı görülmektedir. DE'nin en iyi değerine 13. iterasyonda, PSO algoritmasının 36. iterasyonda, GSA algoritmasının 14.

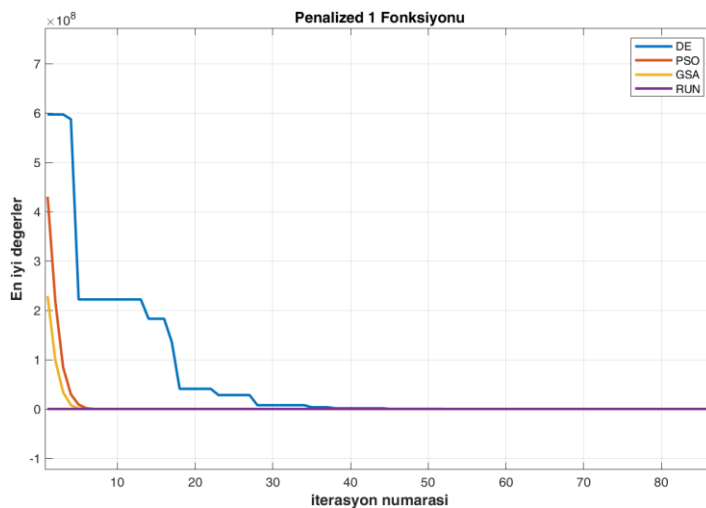
iterasyonda, RUN algoritmasının 10. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritmasının, en uzun sürede ise RUN algoritmasının ulaştığı fakat en iyi sonucuda elde ettiği görülmüştür.

Şekil 4.23: f_{12} İçin Kutu Grafiği



Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Penalized 1 fonksiyonu için RUN algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakaladığı, DE, PSO ve GSA'nın 0'a yakınsadığı fakat DE, PSO ve GSA algoritmalarının alt aşırı değerinin 0'a yakınsadığı fakat yakınsama noktasına uzak çok aşırı değerlere de sahip olduğu görülmüştür.

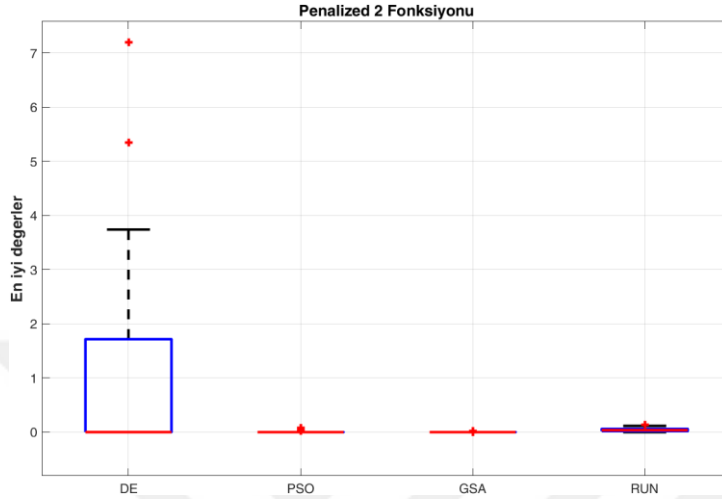
Şekil 4.24: f_{12} İçin Yakınsama Eğrileri



Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Penalized 1 fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakınsadığı, DE'nin en iyi değerine 35. iterasyonda, PSO algoritmasının 3. iterasyonda, GSA

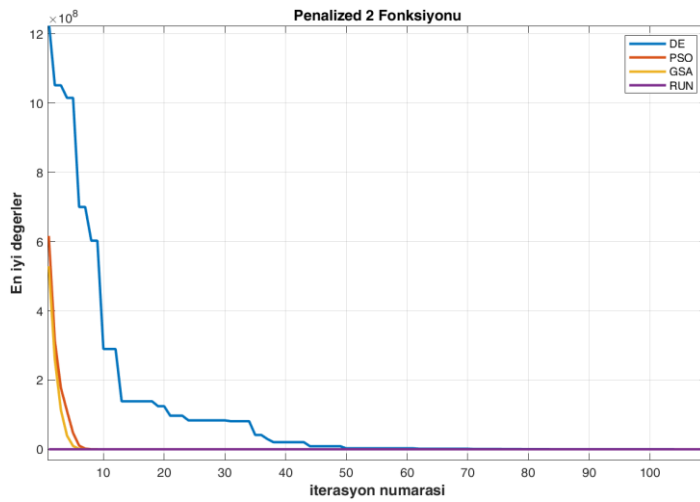
algoritmasının 31. iterasyonda, RUN algoritmasının 26. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede ve en iyi çözüme PSO algoritması elde etmiştir.

Şekil 4.25: f_{13} İçin Kutu Grafiği



Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Penalized 2 fonksiyonu için tüm algoritmaların optimum değer olan 0'ı yakınsadığı, sadece DE algoritmasının yakınsama noktasının uzağında aşırı değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.26: f_{13} İçin Yakınsama Eğrileri



Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Penalized 2 fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0'ı yakınsadığı, DE'nin en iyi değerine 30. iterasyonda, PSO algoritmasının 27. iterasyonda, GSA algoritmasının 3. iterasyonda, RUN algoritmasının 32. iterasyonda en iyi sonuca

yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede ve en iyi çözüme PSO algoritması elde etmiştir. RUN'nın diğer dört farklı algoritmayla kıyaslanan f_{14-23} sabit boyutlu multimodal fonksiyonları için $n=30$ (30-D) iken elde edilen değerler Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.12: Sabit Boyutlu Multimodal Test Fonksiyonları İçin Elde Edilen Sonuçlar

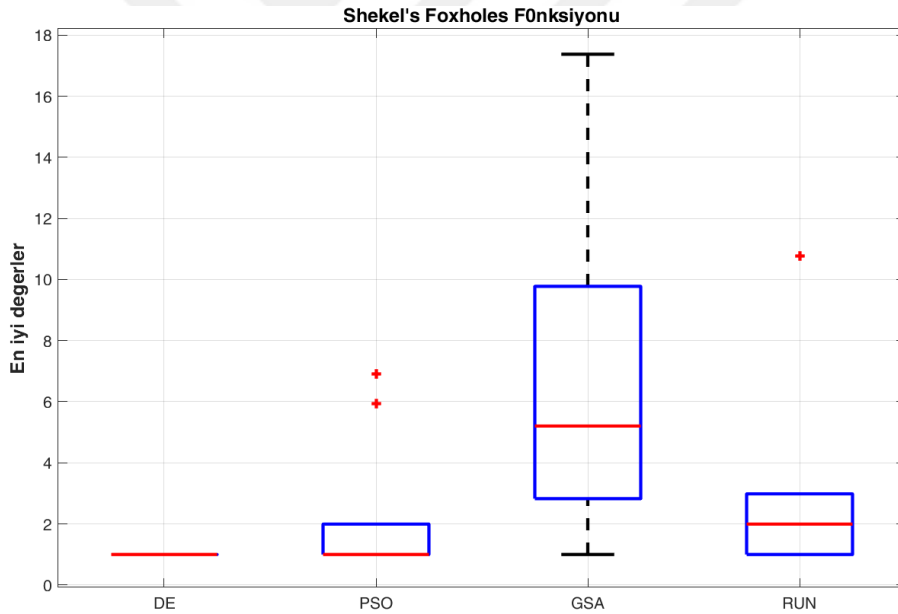
		<i>DE</i>	<i>PSO</i>	<i>GSA</i>	<i>RUN</i>
f_{14}	EnKötü	0.9980	6.9033	17.3744	10.7632
	Ortalama	0.9980	1.8867	6.2245	2.7683
	Enİyi	0.9980	0.9980	0.9980	0.9980
	StdSapma	1.4043e-16	1.7319	3.9483	2.8156
	Süre (s)	0.1929	0.1601	0.2881	0.4413
f_{15}	EnKötü	0.1889	0.1889	0.2272	0.1944
	Ortalama	0.1309	0.1848	0.1948	0.0688
	Enİyi	0.0230	0.0230	0.1890	0.0230
	StdSapma	0.0791	0.0259	0.0058	0.0743
	Süre (s)	0.0643	0.0290	0.1624	0.2201
f_{16}	EnKötü	-1.0316	-1.0316	-1.0161	-1.0316
	Ortalama	-1.0316	-1.0316	-1.0311	-1.0316
	Enİyi	-1.0316	-1.0316	-1.0316	-1.0316
	StdSapma	2.2204e-16	2.1925e-16	0.0025	5.1016e-13
	Süre (s)	0.0688	0.0355	0.1657	0.2375
f_{17}	EnKötü	0.3979	0.3979	0.8685	0.3979
	Ortalama	0.3979	0.3979	0.4153	0.3979
	Enİyi	0.3979	0.3979	0.3979	0.3979
	StdSapma	0	0	0.0808	1.6887e-11
	Süre (s)	0.0622	0.0276	0.1683	0.2187
f_{18}	EnKötü	3.0000	3.0000	10.4800	3.0000
	Ortalama	3.0000	3.0000	4.3757	3.0000
	Enİyi	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
	StdSapma	3.1086e-15	1.0367e-15	2.1059	6.6259e-07
	Süre (s)	0.0612	0.0267	0.1566	0.2178
f_{19}	EnKötü	-3.8628	-3.8628	-3.8628	-3.8628
	Ortalama	-3.8628	-3.8628	-3.8628	-3.8628
	Enİyi	-3.8628	-3.8628	-3.8628	-3.8628
	StdSapma	2.6645e-15	2.6543e-15	0.0042	1.0434e-08
	Süre (s)	0.0777	0.0421	0.1754	0.2480
f_{20}	EnKötü	-3.2031	-3.2031	-2.7750	-3.2031
	Ortalama	-3.2358	-3.2744	-3.3083	-3.2625
	Enİyi	-3.3220	-3.3220	-3.3220	-3.3220
	StdSapma	0.0531	0.0582	0.0854	0.0594
	Süre (s)	0.0798	0.0433	0.1816	0.2510
f_{21}	EnKötü	-10.5364	-1.8595	-2.8711	-10.5364
	Ortalama	-10.5364	-6.3032	-9.5783	-10.5364
	Enİyi	-10.5364	-10.5364	-10.5364	-10.5364
	StdSapma	7.1054e-15	3.6937	2.5350	9.4510e-10
	Süre (s)	0.0864	0.0492	0.1824	0.2636
f_{22}	EnKötü	-3.8354	-2.4273	-2.8711	-5.1285
	Ortalama	-10.3689	-6.5255	-8.8358	-10.2660
	Enİyi	-10.5364	-10.5364	-10.5364	-10.5364
	StdSapma	1.0462	3.5256	3.1594	1.1786
	Süre (s)	0.0873	0.0495	0.1829	0.2633

Tablo 4.12: (Devam) Sabit Boyutlu Multimodal Test Fonksiyonları İçin Elde Edilen Sonuçlar

		<i>DE</i>	<i>PSO</i>	<i>GSA</i>	<i>RUN</i>
f_{23}	EnKötü	-10.5364	-1.6766	-1.7194	-5.1285
	Ortalama	-10.5364	-5.9884	-9.9327	-10.4012
	Enİyi	-10.5364	-10.5364	-10.5364	-10.5364
	StdSapma	7.0665e-15	3.7492	2.1253	0.8443
	Süre (s)	0.0859	0.0494	0.1823	0.2624

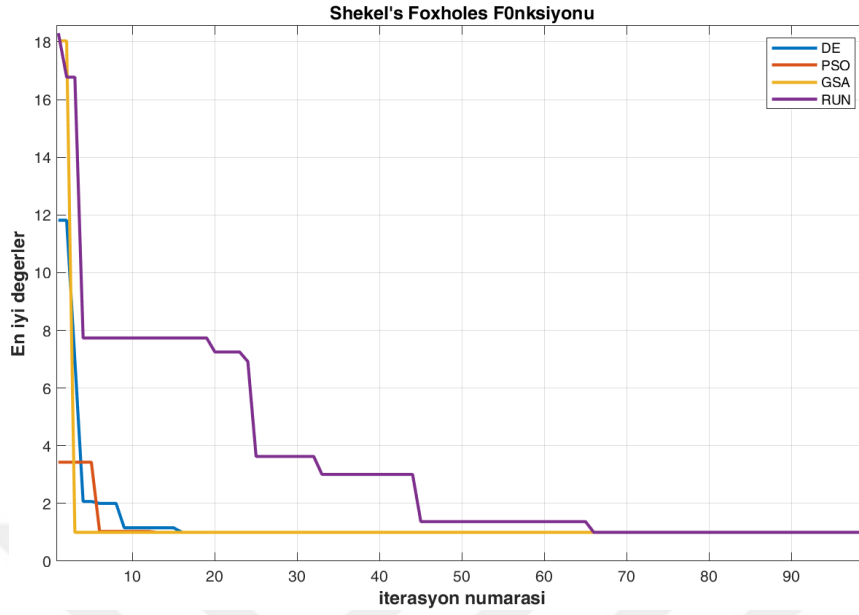
Tablo 4.12’de yer alan tüm fonksiyonlar için 30 iterasyonda elde edilen çözümlere ait, iterasyonlara göre yakınsama eğrilerini ve en iyi yayılımları gösteren kutu grafikleri Şekil 4.27 ve 4.46’da verilmiştir. Sonuç olarak, RUN algoritmasının tüm değerlerde en iyi sonucu elde ettiği fakat süre açısından diğer algoritmaların gerisinde kalarak çözüme ulaştığı görülmüştür.

Şekil 4.27: f_{14} İçin Kutu Grafiği



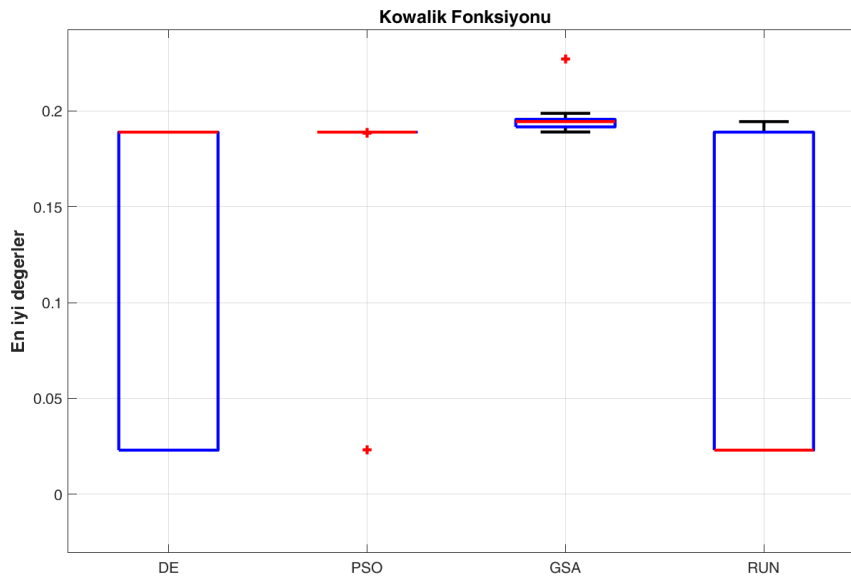
Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Shakel’s Foxholes fonksiyonu için tüm algoritmaların optimum değer olan 0.9980’i yakaladığı, GSA, PSO ve RUN algoritmalarının yakınsama noktasının uzağında aşırı değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.28: f_{14} İçin Yakınsama Eğrileri



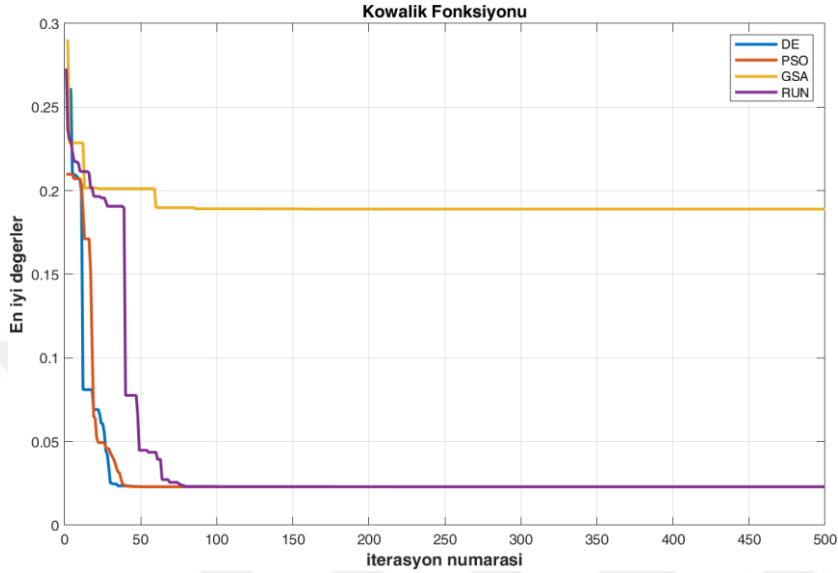
Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Shkel's Foxholes fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0.9980'i yakaladığı, DE'nin en iyi değerine 3. iterasyonda, PSO algoritmasının 8. iterasyonda, GSA algoritmasının 21. iterasyonda, RUN algoritmasının 13. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması ulaşmıştır. En iyi çözümü ise tüm algoritmalar yakalamıştır.

Şekil 4.29: f_{15} İçin Kutu Grafiği



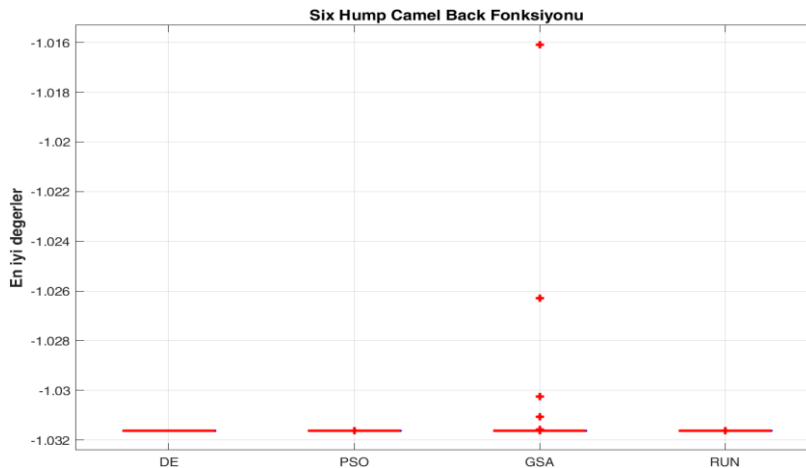
Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Kowalik fonksiyonu GSA hariç tüm algoritmaların optimum değeri yakaladığı, DE, PSO, GSA ve RUN algoritmalarının yakınsama noktasının uzağında aşırı değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.30: f_{15} İçin Yakınsama Eğrileri



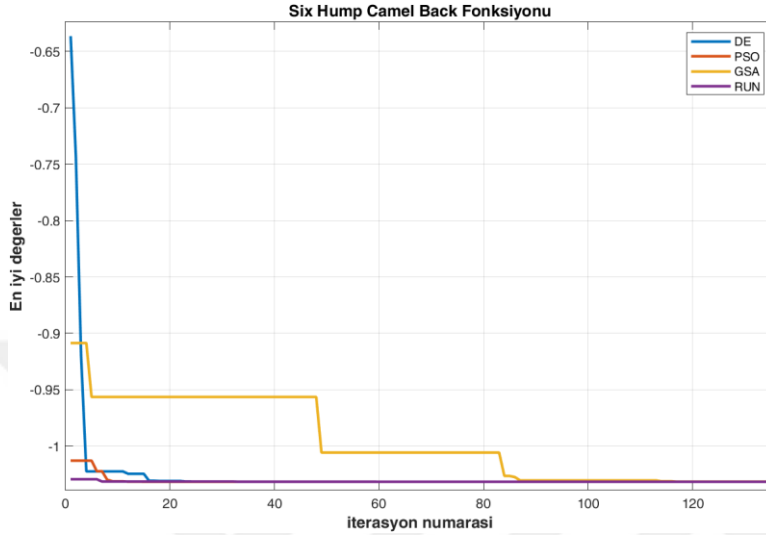
Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Kowalik fonksiyonu için RUN, PSO ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0.023'ü yakaladığı, GSA fonksiyonun ise yakınsama noktasının az bir miktar uzağında kaldığı görülmektedir. DE'nin en iyi değerine 3. iterasyonda, PSO algoritmasının 17. iterasyonda, GSA algoritmasının 12. iterasyonda, RUN algoritmasının 5. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması ulaşmıştır. En iyi çözümü ise tüm algoritmalar yakalamıştır.

Şekil 4.31: f_{16} İçin Kutu Grafiği



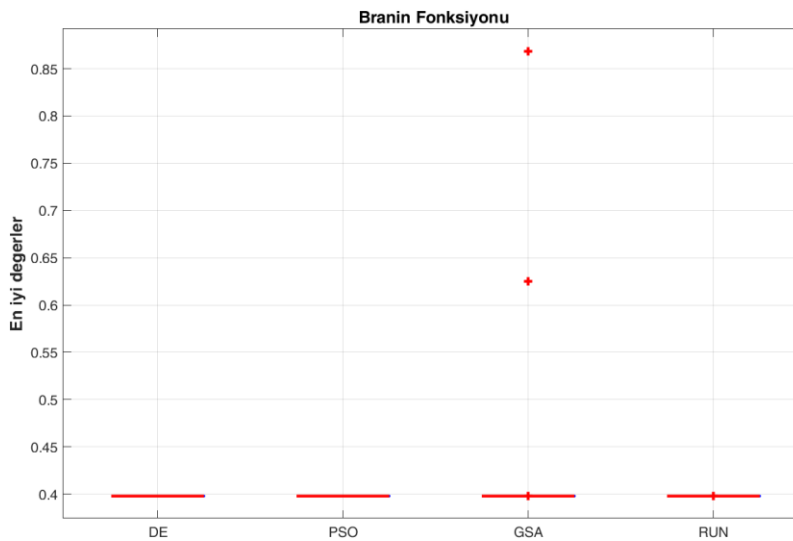
Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Six Hump Camel Back fonksiyonu için tüm algoritmaların optimum değeri yakaladığı, GSA algoritmasının yakınsama noktasının uzağında aşırı değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.32: f_{16} İçin Yakınsama Eğrileri



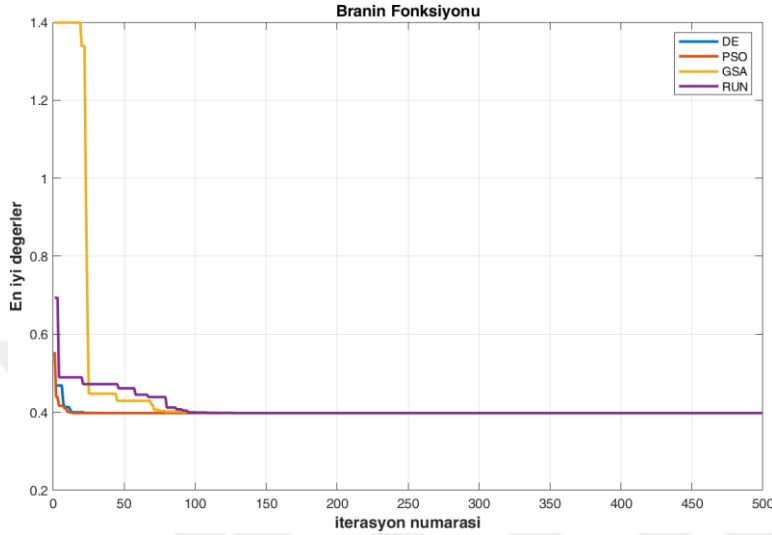
Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Six Hump Camel Back fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan -1.0316'yı yakaladığı, DE'nin en iyi değerine 1. iterasyonda, PSO algoritmasının 1. iterasyonda, GSA algoritmasının 26. iterasyonda, RUN algoritmasının 35. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması ulaşmıştır. En iyi çözümü ise tüm algoritmalar yakalamıştır.

Şekil 4.33: f_{17} İçin Kutu Grafiği



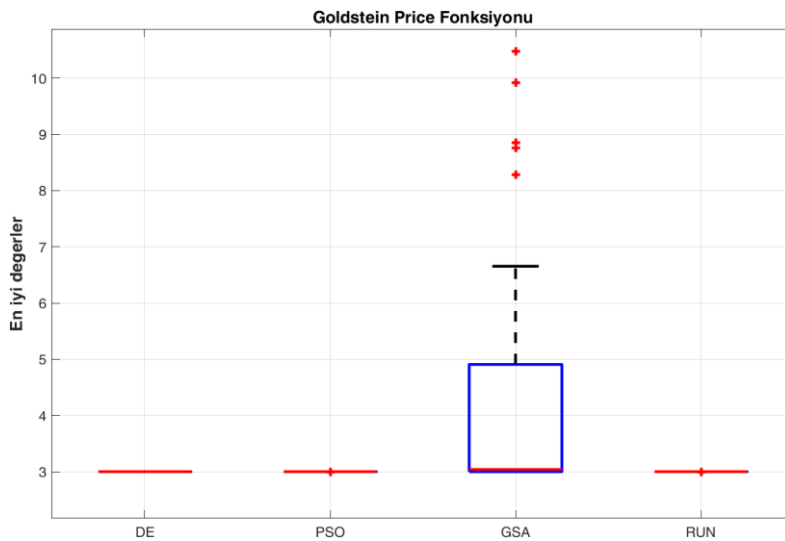
Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Branin fonksiyonu için tüm algoritmaların optimum değeri yakaladığı, GSA algoritmasının yakınsama noktasının uzağında aşırı değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.34: f_{17} İçin Yakınsama Eğrileri



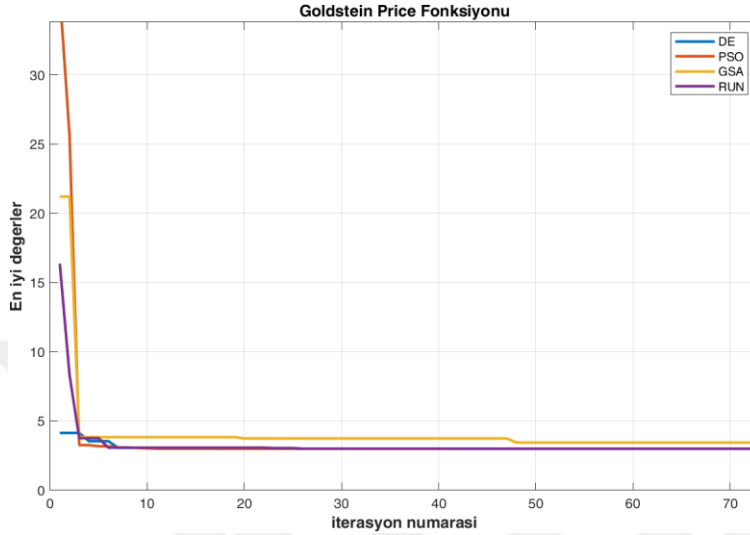
Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Six Hump Camel Back fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 0,3979'u yakaladığı, DE'nin en iyi değerine 1. iterasyonda, PSO algoritmasının 1. iterasyonda, GSA algoritmasının 3. iterasyonda, RUN algoritmasının 21. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması ulaşmıştır. En iyi çözümü ise tüm algoritmalar yakalamıştır.

Şekil 4.35: f_{18} İçin Kutu Grafiği



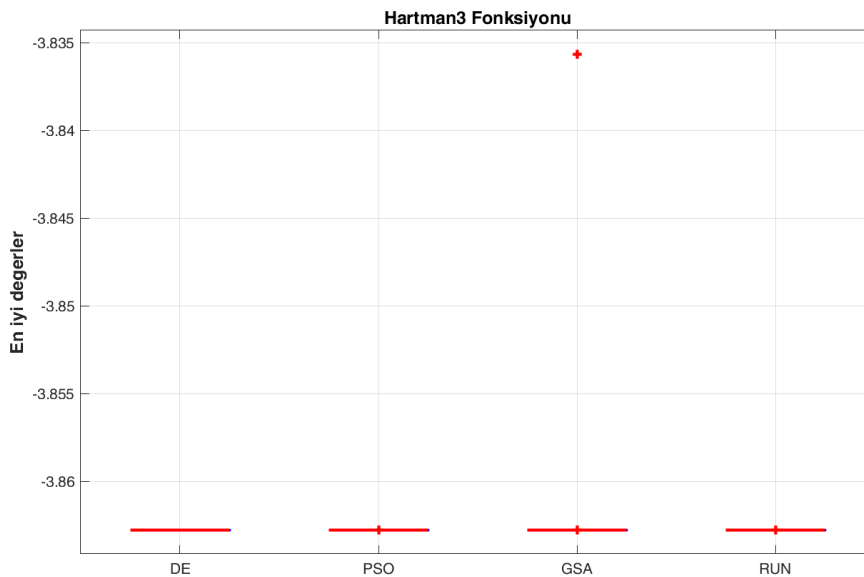
Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Goldstein Price fonksiyonu için tüm algoritmaların optimum değeri yakaladığı, GSA algoritmasının yakınsama noktasının uzağında aşırı değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.36: f_{18} İçin Yakınsama Eğrileri



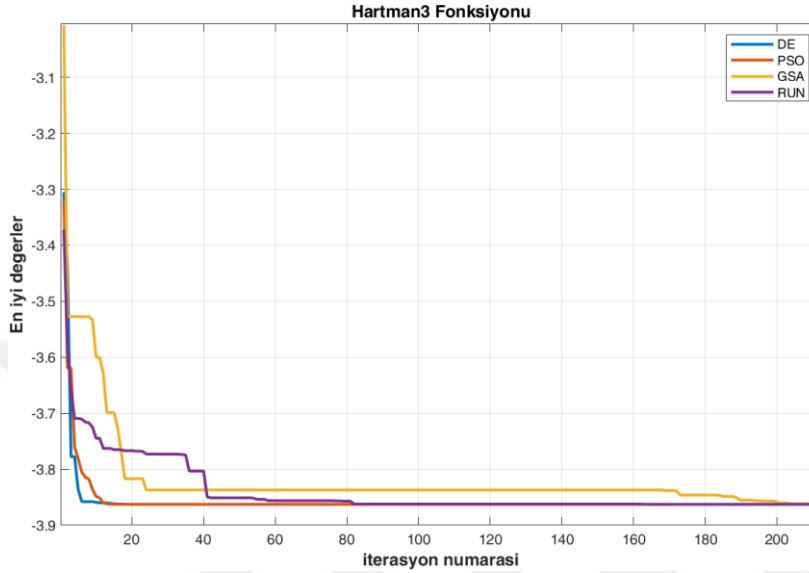
Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Goldstein Price fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan 3'ü yakaladığı, DE'nin en iyi değerine 3. iterasyonda, PSO algoritmasının 35. iterasyonda, GSA algoritmasının 3. iterasyonda, RUN algoritmasının 8. iterasyonda en iyi sonuca yakaladıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması ulaşmıştır. En iyi çözümü ise tüm algoritmalar yakalamıştır.

Şekil 4.37: f_{19} İçin Kutu Grafiği



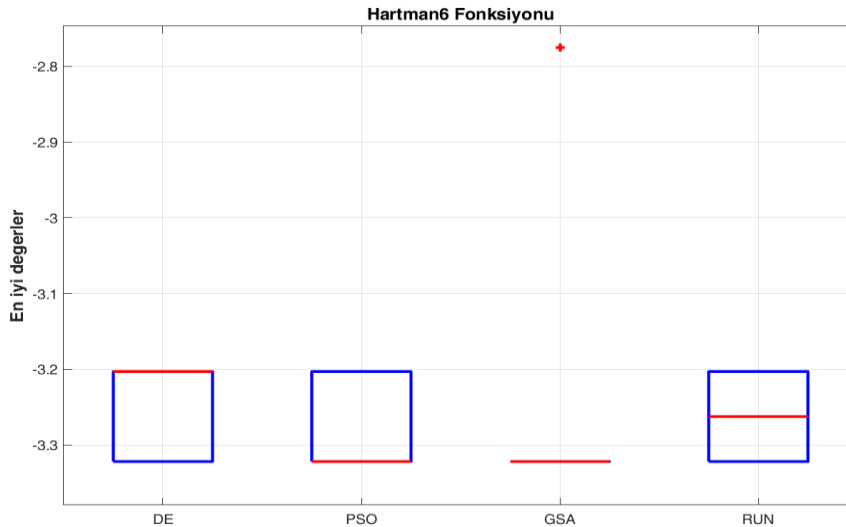
Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Hartman3 fonksiyonu için tüm algoritmaların optimum değeri yakaladığı, GSA algoritmasının yakınsama noktasının uzağında aşırı değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.38: f_{19} İçin Yakınsama Eğrileri



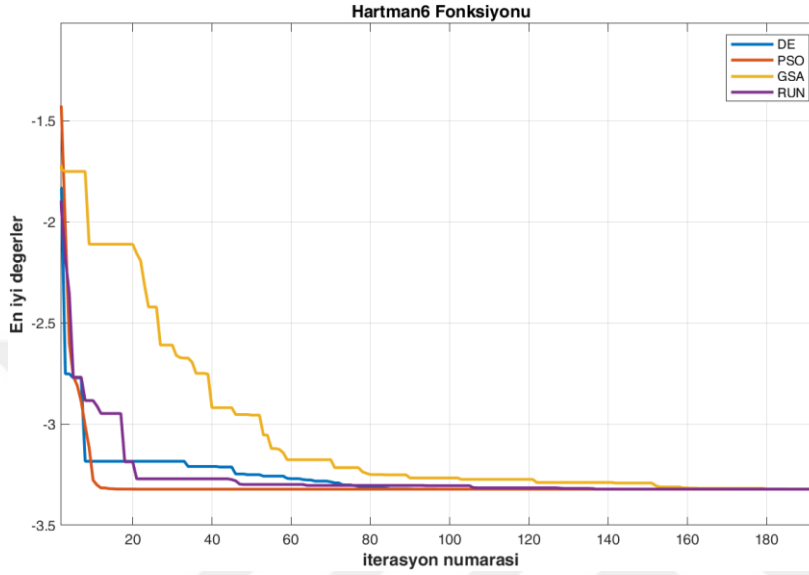
Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Hartman3 fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan -3,8628'u yakaladığı, DE'nin en iyi değerine yaklaşık 10. iterasyonda, PSO algoritmasının 15. iterasyonda, GSA algoritmasının 21. iterasyonda, RUN algoritmasının 13. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede DE algoritması ulaşmıştır. En iyi çözümü ise tüm algoritmalar yakalamıştır.

Şekil 4.39: f_{20} İçin Kutu Grafiği



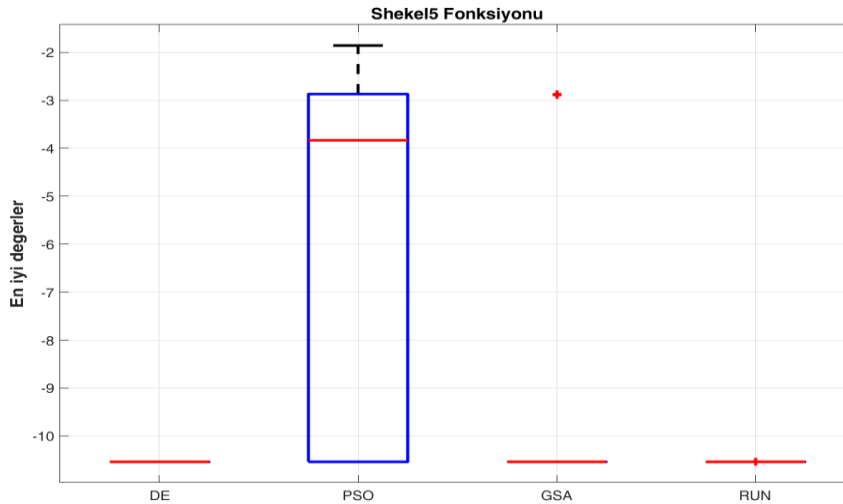
Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Hartman6 fonksiyonu için tüm algoritmaların optimum değeri yakaladığı, GSA algoritmasının yakınsama noktasının uzağında aşırı değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.40: f_{20} İçin Yakınsama Eğrileri



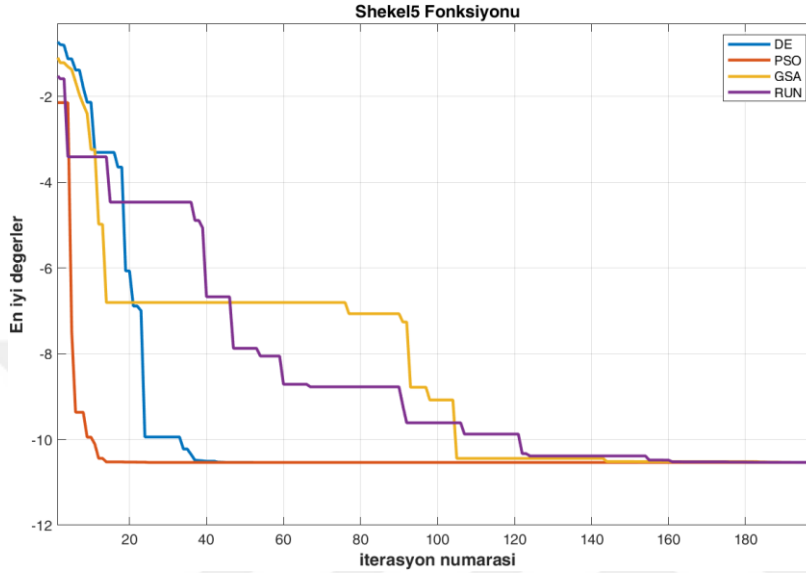
Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Hartman6 fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan -3,8628'u yakaladığı, DE'nin en iyi değerine 8. iterasyonda, PSO algoritmasının 2. iterasyonda, GSA algoritmasının 11. iterasyonda, RUN algoritmasının 13. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması ulaşmıştır. En iyi çözümü ise tüm algoritmalar yakalamıştır.

Şekil 4.41: f_{21} İçin Kutu Grafiği



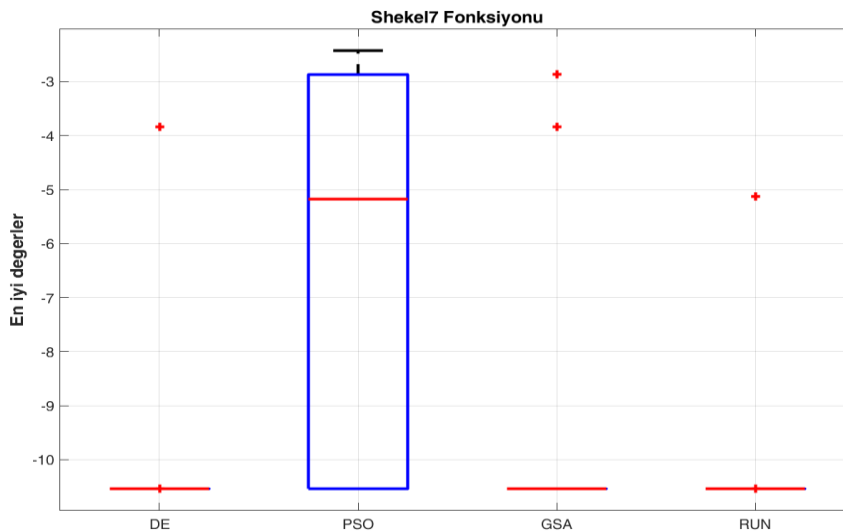
Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Shekel5 fonksiyonu için tüm algoritmaların optimum değeri yakaladığı, GSA algoritmasının yakınsama noktasının uzağında aşırı değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.42: f_{21} İçin Yakınsama Eğrileri



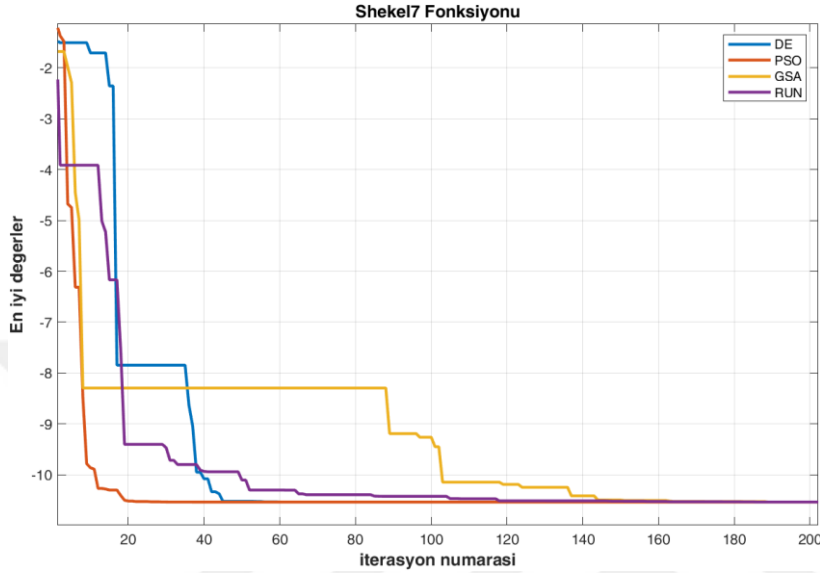
Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Shekel5 fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan -10,5364'ü yakaladığı, DE'nin en iyi değerine 1. iterasyonda, PSO algoritmasının 2. iterasyonda, GSA algoritmasının 14. iterasyonda, RUN algoritmasının 15. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması ulaşmıştır. En iyi çözümü ise tüm algoritmalar yakalamıştır.

Şekil 4.43: f_{22} İçin Kutu Grafiği



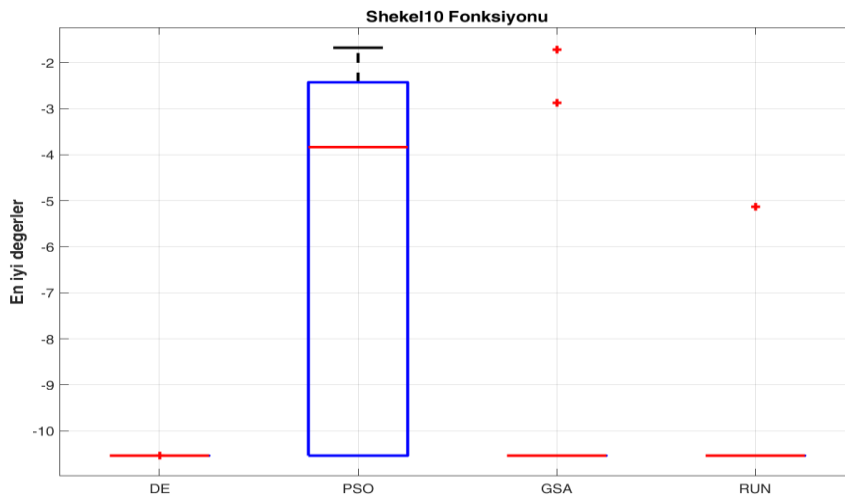
Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Shekel7 fonksiyonu için tüm algoritmaların optimum değeri yakaladığı, GSA algoritmasının yakınsama noktasının uzağında aşırı değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.44: f_{22} İçin Yakınsama Eğrileri



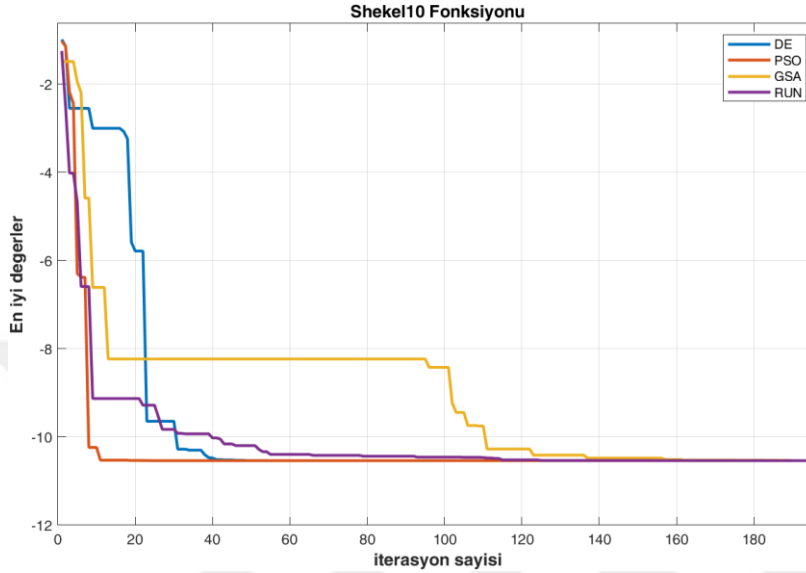
Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Shekel7 fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan -10,5364'ü yakaladığı, DE'nin en iyi değerine 4. iterasyonda, PSO algoritmasının 2. iterasyonda, GSA algoritmasının 15. iterasyonda, RUN algoritmasının 7. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması ulaşmıştır. En iyi çözümü ise tüm algoritmalar yakalamıştır.

Şekil 4.45: f_{23} İçin Kutu Grafiği



Yukarıdaki kutu grafiği incelendiğinde, Shekel10 fonksiyonu için tüm algoritmaların optimum değeri yakaladığı, GSA ve RUN algoritmasının yakınsama noktasının uzağında aşırı değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 4.46: f_{23} İçin Yakınsama Eğrileri



Yukarıdaki yakınsama eğrileri incelendiğinde, Shekel10 fonksiyonu için RUN, PSO, GSA ve DE algoritmasının fonksiyonun optimum değeri olan -10,5364'ü yakaladığı, DE'nin en iyi değerine 40. iterasyonda, PSO algoritmasının 15. iterasyonda, GSA algoritmasının 130. iterasyonda, RUN algoritmasının ise 115. iterasyonda en iyi sonuca yakınsadıkları görülmektedir. Çözüme en kısa sürede PSO algoritması ulaşmıştır. En iyi çözümü ise tüm algoritmalar yakalamıştır.

Sonuç olarak, tablolar incelendiğinde RUN algoritmasının Unimodal, Multimodal ve Sabit boyutlu multimodal test fonksiyonlarında en iyi sonuçlara ulaştığı fakat daha uzun sürelerde çözüme ulaştığı gözlemlenmiştir. Tabloda bulunan tüm fonksiyonlar incelendiğinde Unimodal ve Multimodal test fonksiyonlarında DE algoritmasının daha çok fonksiyonda en iyi sonuca ulaştığı görülmüştür. Sabit boyutlu multimodal test fonksiyonlarında ise PSO algoritmasının tüm fonksiyonlarda en iyi sonuca en hızlı şekilde ulaşan algoritma olduğu görülmüştür.



BEŞİNCİ BÖLÜM
VALF NOKTASI ETKİLİ EKONOMİK GÜÇ DAĞITIM PROBLEMLERİNİN
ÇÖZÜLMESİ

Elektrik güç sistemindeki optimizasyon problemlerinden biri olan EGD problemlerinin zorluk derecesi oldukça büyüktür. EGD problemlerini çözmenin temel amacı, tüm sistem kısıtlamalarını yerine getirirken gerekli yük talebini minimum üretim maliyetinde karşılamak için belirli bir süre içinde taahhüt edilen üretim birimleri arasında optimum üretimi elde etmektir. Genel olarak, geleneksel EGD probleminde, her üretici birimin bir maliyet fonksiyonu yaklaşık olarak tek bir ikinci dereceden maliyet fonksiyonu ile temsil edilmiştir ve valf noktası etkileri bu problemlerde dikkate alınmamıştır. Bu problemin çözümü sonucunda elde edilen ekonomik yük sonuçlarında yanlış maliyet bilgisi oluşabilir ve gerçek dünyadaki ekonomik yük sorunu için kabul edilebilir bir çözüm olarak kabul edilmeyebilir. Bu nedenle, valf noktası yükleme etkileri ve iletim hattı kayıpları, tek bir ikinci dereceden maliyet fonksiyonu içeren geleneksel EGD probleminden ziyade, doğrusal olmayan bir maliyet fonksiyonu olan ve daha gerçekçi bir şekilde parçalı ve sinüzoidal bir fonksiyon olarak gösterilen EGD problemine dahil edilmelidir. Bununla birlikte, özellikleri dışbükey ve düzgün olmayan maliyet fonksiyonu olan valf noktası yükleme ve sistem kayıpları hususları içeren EGD problemi, geleneksel EGD probleminden daha karmaşık ve çözülmesi daha zor bir problem haline gelir. Bu EGD probleminin global optimumunu bulmak için yüksek verimli optimizasyon yöntemleri gereklidir. Ayrıca, farklı EGD problemi tasarımlarında en verimli ve ekonomik kullanılan yakıtın belirlenmesine yol açan çoklu yakıt kaynakları kullanılarak birçok üretim ünitesi tedarik edilmektedir. Ünite çıktılarının programlanmasındaki iyileştirmeler, gerekli enerjinin üretilmesinde önemli maliyet tasarruflarına yol açabilir. İletim hatlarındaki aktif ve reaktif güçlerin iletimi, bara gerilimlerinin ve faz açılarının bulunması, iletim hatlarından geçen akıma göre enterkonnekte sistemde oluşan güç kayıplarını belirlemek için güç akış analizi de yapılmaktadır (Şengör ve Kaya, 2022).

Geçtiğimiz son on yılda, valf noktası yükleme hususları ile EGD probleminin küresel optimumuna yaklaşması için bir dizi optimizasyon algoritması uygulanmıştır. Bu çabalar, çeşitli matematiksel programlama ve optimizasyon yöntemlerini benimsemiştir. Ek olarak, EGD problemini valf noktası yüklemelerini de dikkate alınarak çözmek için farklı modern sezgisel optimizasyon teknikleri önerilmiştir ve bu yöntemler tam olarak matematiksel yöntemler değildir (Özyön vd., 2012).

Modern sezgisel optimizasyon teknikleri, doğrusal olmayan, dışbükey olmayan ve süreksiz fonksiyonlara uyum sağlama konusunda bariz bir yeteneğe sahiptirler.

Literatürde modern buluşsal optimizasyon tekniklerinden, genetik algoritma (GA), evrimsel programlama (EP), parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) gibi algoritmalar EGD problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir (Özyön vd., 2012).

Bu çalışmada generatörlere ait valf noktası etkilerinin de dikkate alındığı EGD problemini çözmek için RUN algoritması kullanılmıştır. Kullanılan Runge Kutta algoritması (RUN), matematiksel ve mühendislik alanlarındaki problemlere kolayca uyum sağlaması ve 4. Dereceden diferansiyel denklemleri çözmede başarılı sonuçlar veren optimizasyon tekniklerinden biridir. Ayrıca önerilen algoritma ile elde edilen çözümleri karşılaştırmak için, literatürde daha önce bu tür problemlerin çözümünde kullanıldığına rastlanan sezgisel algoritmalarından DE, PSO ve GSA ile aynı problemlerin çözümleri yapılmıştır.

Bu bölümde valf noktası etkileri, iletim hattı kayıpları vb. kısıtları da içeren EGD probleminin çözümleri; dört farklı sezgisel algoritma ile problemin formülasyonu ve örnek problemlerin çözümleri gibi alt başlıklar altında anlatılmıştır.

5.1. PROBLEMİN FORMÜLASYONU

Bir EGD problemi, belirli bir güç sisteminin işletim ve kontrol problemlerinden biridir. Amaç, tüm fiziksel ve operasyonel kısıtlamaları, yani güç dengesi, generatör güç çıkış limitleri ve valf noktası yükleme kısıtlamalarını karşılarken, güç dağıtım dönemleri boyunca üretimin toplam yakıt maliyetini en aza indirmek için tüm üretim birimlerinin sırayla optimum çıktı kombinasyonunu belirlemektir. Normal olarak, statik EGD probleminin matematiksel modeli aşağıdaki şekilde formüle edilebilir:

$$\min TYM = \sum_{i=1}^N F_i P_i, (R/h) \quad (5.1)$$

Denklemden $\min TYM$, güç dağıtım dönemleri boyunca (R/h) olarak tüm üretim birimlerinin toplam yakıt maliyetidir. $F_i(P_i)$ ise i . üretim biriminin (R/h) olarak yakıt maliyeti fonksiyonudur ve N üretimdeki generatörlerin sayısıdır.

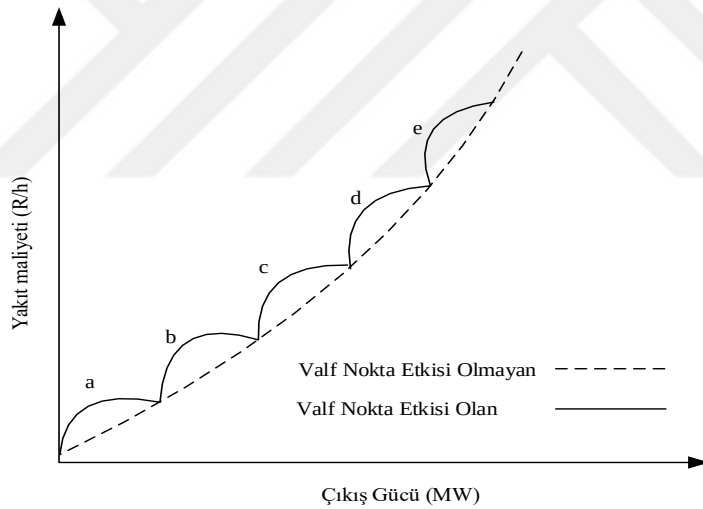
Konveks olamayan (valf noktalarının etkisi ihmal edilen) maliyet fonksiyonunu dikkate alan EGD probleminde, generatörün (5.1)'deki yakıt maliyeti fonksiyonu genellikle (5.2)'de gösterildiği gibi gerçek güç üretiminin tek bir ikinci dereceden maliyet fonksiyonu olarak ifade edilir.

$$F_i(P_i) = \sum_{i=1}^n (a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i), (R/h) \quad (5.2)$$

Bununla birlikte, pratikte, büyük termik üretim birimlerinin güç çıkışlarını kontrol etmek için benimsenen problemde çok sayıda buhar giriş valfi bulunmaktadır. Büyük termik üretim birimlerinin maliyet fonksiyonları, valf noktası yüklemesinin etkilerinden dolayı oldukça doğrusal olmayan hale gelir. Valf noktası etkilerini dikkate alan düzgün olmayan maliyet fonksiyonu Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Valf noktası etkilerini hesaba katmak için, ikinci dereceden maliyet fonksiyonuna sinüzoidal fonksiyonlar eklenir. Bu nedenle, (5.1)’deki her bir güç üretici birimin yakıt maliyeti fonksiyonu aşağıdaki şekilde modellenebilir.

$$F_i(P_i) = \sum_{i=1}^n (a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 + |e_i \sin(f_i(P_i^{\min} - P_i))|), (R/h) \quad (5.3)$$

Şekil 5.1: Valf Noktası Etkilerinin Dikkate Alındığı Yakıt Maliyet Fonksiyonu



Denklem 5.2 ve 5.3’de yer alan değişkenlerden a_i , b_i ve c_i sırasıyla i . generatörün yakıt maliyet katsayılarıdır ve e_i ve f_i ise valf noktası etkileri dikkate alındığında matematiksel modele eklenen i . generatörün yakıt maliyet katsayılarıdır.

Toplam üretim maliyetini en aza indirirken, aşağıda verilen eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarının da sağlanması gerekmektedir.

Güç dengesi kısıtı yani güç eşitliği kısıtı eşitlik (5.4)’de verilmiştir. Yani sistemdeki n adet üretim birimi tarafından üretilen toplam güç, toplam yük talebi ve hat kayıplarının toplamını karşılamalıdır.

$$\sum_{i=1}^n P_i - P_{yük} - P_{kayıp} = 0 \quad (5.4)$$

Eşitlikte $P_{yük}$ sistemin toplam MW cinsinde yük talebidir. $P_{kayıp}$ ise sistemde MW olarak toplam hat kayıplarını temsil etmektedir (Neyestani vd., 2010; Safari vd., 2011; Özyön vd., 2012).

Her bir üretim biriminin gücü, eşitlik (4.3)'te verilen maksimum ve minimum çalışma sınır değerleri arasında olmalıdır.

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad (5.5)$$

5.2. ALGORİTMALARIN EGD PROBLEMİNE UYGULANMASI

Algoritmalar (RUN, DE, PSO ve GSA) valf noktası etkili EGD problemine uygulanabilmesi ve uygun optimal çözümlerin elde edilebilmesi için eşitlik (5.6) ve (5.7) kısıtlarının sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada valf noktası etkili EGD probleminin optimal çözümünde tüm kısıtların sağlanabilmesi için ceza fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır.

$$P_{GT,i}^{\min} \leq P_{GT,i} \leq P_{GT,i}^{\max}, \quad i \in n \quad (5.6)$$

$$Q_{GT,i}^{\min} \leq Q_{GT,i} \leq Q_{GT,i}^{\max}, \quad i \in n \quad (5.7)$$

RUN, DE, PSO ve GSA'dan herhangi biriyle çözüme başlarken algoritmalara ait veriler (popülasyon sayısı, iterasyon sayısı, algoritmalara özgü parametreler ve ilgilenilen probleme ait diğer veriler) girilir veya veri dosyasından okutulur. Programda ilk adımda $P_{GT,i}$ ve $Q_{GT,i}$ değerleri eşitlik (5.6) ve (5.7) kısıtları sağlanacak şekilde rassal olarak sırasıyla eşitlik (5.8) ve (5.9) kullanılarak atanır. Bu işleme popülasyondaki belirlenen sayı tamamlanıncaya kadar devam edilir. Bu durumda oluşturulan popülasyondaki her bir ajan/birey problemin olası bir çözümü haline gelir (Özyön, 2018; Özyön vd., 2018).

$$P_{GT,i} = P_{GT,i}^{\min} + rand[0,1].(P_{GT,i}^{\max} - P_{GT,i}^{\min}), \quad i \neq \text{salınım}, \quad i \in n \quad (5.8)$$

$$Q_{GT,i} = Q_{GT,i}^{\text{baş}}, \quad i \neq \text{salınım}, \quad i \in n \quad (5.9)$$

Atama işleminden sonra eğer kayıplı bir sistem üzerinde çalışılıyorsa ya B kayıp matrisi yöntemi ile ya da yük akışı yapılarak salınım barasının aktif ve reaktif güç

değerleri, tüm hatlardan akan güçler ile sistemdeki güç kayıpları hesaplanır. Tüm üretim birimlerine ait çıkış güçleri belli olduğundan eşitlik (5.1)'den TYM değeri hesaplanır. Algoritma tarafından hesaplanan bu değerlerin salınım barası için eşitlik (5.6)'daki kısıtı sağlayıp sağlamadığı test edilir. Eğer söz konusu kısıt sağlanmıyorsa, kısıt için ceza fonksiyonu oluşturulur ve bu değerler eşitlik (5.1)'deki TYM 'ye eklenir. Bu şekilde oluşan fonksiyona amaç fonksiyonu adı ($AFnk$) verilir. Dolayısıyla eşitlik (5.6)'daki kısıt, programda amaç fonksiyonu yardımıyla sağlanmaya çalışılır. Bu nedenle uygun optimal çözüm elde etmek için amaç fonksiyonu olarak eşitlik (5.1)'deki TYM yerine eşitlik (5.10)'daki $AFnk$ kullanılır (Özyön, 2018, Özyön vd., 2018).

$$AFnk = TYM + CF_{sal} \quad (5.10)$$

Eşitlikteki CF_{sal} , değeri salınım barasının değerini kısıtlara uygun hale getirmek için eklenen ceza fonksiyonunu göstermektedir. Problemin önerilen herhangi bir çözümü, öngörülen kısıtı ihlal ettiğinde ceza fonksiyonu yardımıyla cezalandırılmaktadır. Bu öngörülen kısıtı sağlamak için CF_{sal} salınım barası cezası şeklinde belirlenmiştir. Bu nedenle CF_{sal} değeri salınım barasının minimum ve maksimum üretim sınır değerlerine göre eşitlik (5.11)'den hesaplanmaktadır (Özyön, 2018, Özyön vd., 2018).

$$CF_{sal} = \begin{cases} KCF_{sal} (P_{GT,salj} - P_{GT,sal}^{\min})^2 & \text{eğer } P_{GT,salj} < P_{GT,sal}^{\min} \\ KCF_{sal} (P_{GT,sal}^{\max} - P_{GT,salj})^2 & \text{eğer } P_{GT,salj} > P_{GT,sal}^{\max} \\ 0 & \text{eğer } P_{GT,sal}^{\min} \leq P_{GT,salj} \leq P_{GT,sal}^{\max} \end{cases} \quad (5.11)$$

Eşitlikte verilen $P_{GT,sal}^{\min}$ ve $P_{GT,sal}^{\max}$ şeklindeki salınım barasının değerleri sırasıyla üretimin alt ve üst üretim sınırlarını göstermektedir. Eşitlik (5.11)'de yer alan KCF_{sal} değerleri, ceza fonksiyonuna ait sabit olup değeri kullanıcı tarafından belirlenir.

Bu işlemler tamamlandığında eşitlik (5.10)'daki $AFnk$ amaç fonksiyonu hesaplanır ve bu işlemin sonucunda birinci iterasyon tamamlanmış olup ikinci iterasyona geçilir. İkinci iterasyonda salınım barası ve $Q_{GT,i}$ değerleri hariç, $P_{GT,i}$ değerleri kullanılan algoritma tarafından güncellenir. Yeni değerlerle eğer kayıplı bir sistem üzerinde çalışılıyorsa ya B kayıp matrisi yöntemi ile ya da yeniden yük akışı yapılarak salınım barasının aktif ve reaktif güç değerleri, tüm hatlardan akan güçler ile sistemdeki

güç kayıpları tekrar hesaplanır. Bulunan bu optimal çözümün kısıtlara uyup uymadığı tekrar kontrol edilir ve her bir kısıt için belirlenen bu güncellenmiş CF_{sal} değeri TYM 'ye eklenerek $AFnk$ amaç fonksiyonunun yeni değeri bulunur. Bu işlemler algoritmada benzer şekilde durma kriteri (iterasyon sayısı) sağlanıncaya kadar tekrarlanır. Durma kriterine ulaşıldığında ise tüm kısıtların sağlandığı (ki bu durumda CF_{sal} değeri sıfıra yakınsamış olur) elde edilen uygun optimal çözüm kaydedilerek işlem tamamlanır (Özyön, 2018, Özyön vd., 2018).

Bu çalışmada sadece aktif güç optimizasyonu yapıldığı için üretim birimlerine ait reaktif güçler başlangıçta seçilen değerlerinde kalmaktadır. Eğer kayıplı bir sistem üzerinde çalışılıyorsa, ya B kayıp matrisi yöntemi ile ya da yük akışı sonucunda aktif güçlerin yanı sıra salınım barasına ait reaktif güç $Q_{GT,sal}$ değerleri hesaplanmaktadır.

5.3. ÖRNEK PROBLEMLERİN ÇÖZÜMLERİ

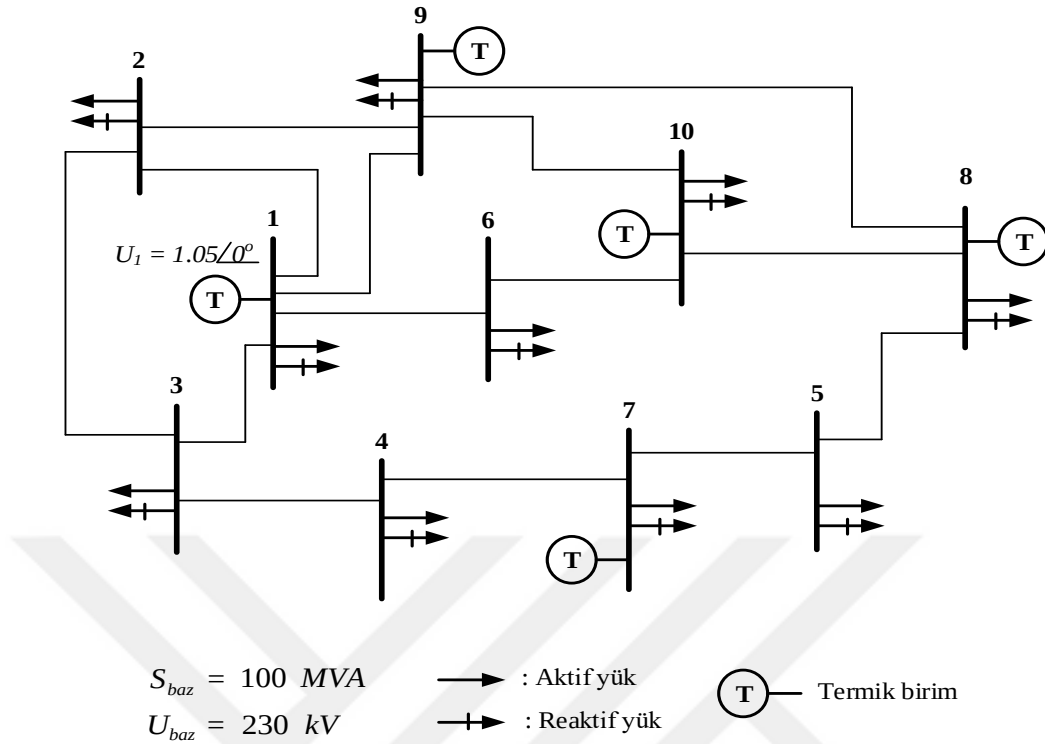
Bu bölümde termik üretim birimlerinden oluşan iki farklı modifiye edilmiş örnek güç test sisteminin dört farklı algoritma (RUN, DE, PSO ve GSA) ile çözümleri ele alınmıştır. Örnek olarak belirlenen on baralı ve otuz baralı test sistemleri iletim hattı kayıpları ihmal edilerek (kayıpsız) ve dahil edilerek (kayıplı olarak) iki farklı şekilde çözülmüştür. İletim hattı kayıpları dahil edilerek yapılan çözümlerde ise sistemdeki iletim kayıpları hem B kayıp matrisleri kullanılarak hem de yük akışı metoduyla ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu nedenlerle bu bölüm 10 ve 30 baralı test sistemleri ana alt başlıkları altında anlatılmıştır.

Bu çalışmada algoritmaların modifiye edilmiş 10 ve 30 baralı örnek güç test sistemlerinin çözümleri için MATLAB R2022b'de bir program geliştirilmiş ve bu program Intel(R) Core (TM) i7-10700K 3.80 GHz işlemcili ve 64 GB RAM bellekli bilgisayar kullanılarak çalıştırılmıştır.

5.3.1. On Baralı Örnek Güç Sisteminin Çözümü

Bu bölümde seçilen örnek güç sistemine ait modifiye edilmiş tek hat şeması Şekil 5.2'de ve sistemin özelliklerine ait değerler aşağıda sırasıyla tablolar halinde verilmiştir.

Şekil 5.2: On Baralı Modifiye Edilmiş Test Sistemine Ait Tek Hat Şeması



Şekilde verilen tek hat şemasındaki 1, 7, 8, 9 ve 10 nolu baralara termik üretim birimleri bağlanmıştır ve 1 nolu bara salınım barası olup gerilimi $1,05\angle 0^\circ \text{ pu}$ 'dur. Sistemdeki baz değerleri $S_{baz}=100 \text{ MVA}$, $U_{baz}=230 \text{ kV}$ olarak alınmıştır.

Bu modifiye edilmiş test sistemine ait konveks olmayan yakıt maliyetlerine ait fonksiyon katsayıları ve generatör çıkış gücü değerleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Test sistemine ait aktif ve reaktif yük değerleri ise Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Konveks Olmayan Yakıt Maliyeti Fonksiyon Katsayıları ve Generatör Çıkış Gücü Sınır Değerleri

Bara No	a	b	c	d	e	P_{min} (MW)	P_{max} (MW)
1	27,0	$6,0 \times 10^{-02}$	$1,0 \times 10^{-04}$	15	0,06283	5	150
7	35,0	$1,0 \times 10^{-01}$	$1,0 \times 10^{-04}$	10	0,08976	5	150
8	29,0	$5,0 \times 10^{-02}$	$5,0 \times 10^{-05}$	10	0,014784	5	150
9	31,0	$8,0 \times 10^{-02}$	$1,0 \times 10^{-04}$	5	0,020944	5	150
10	28,0	$6,0 \times 10^{-02}$	$5,0 \times 10^{-05}$	5	0,025133	5	150

Tablo 5.2: On Baralı Güç Sisteminin Aktif Ve Reaktif Yük Değerleri (Pu)

Yük (pu)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Toplam Yük (pu)
$P_{yük}$	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,15	0,2	0,2	0,2	2,25
$Q_{yük}$	0,145	0,097	0,145	0,097	0,145	0,097	0,0726	0,097	0,097	0,097	1,0896

Bu bölümde örnek test sistemine ait bilgilerin verildiği on baralı modifiye edilmiş test sisteminin çözümü kayıpsız ve kayıplı olarak iki alt başlık halinde verilmiştir.

5.3.1.1. İletim Hattı Kayıpları İhmal Edilerek (Kayıpsız-10 Bara)

Bu bölümde dört farklı (*DE*, *PSO*, *GSA* ve *RUN*) algoritmayla modifiye edilmiş 10 baralı test sistemine ait kayıpsız olarak EGD problemi hem valf noktası etkisiz hem de valf noktası etkili olmak üzere iki farklı şekilde çözülmüştür. Her bir algoritmayla 30'ar kez çözüm yapılmıştır.

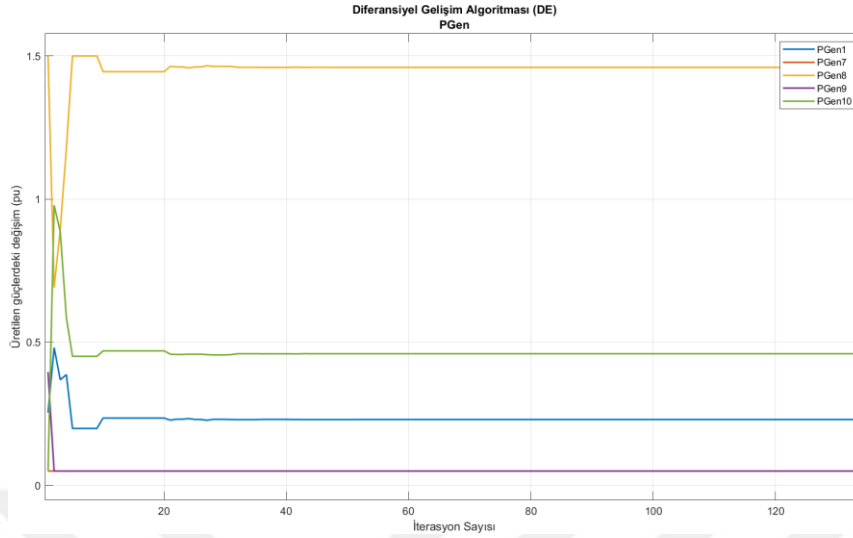
İlk olarak EGD probleminin kayıpsız olarak çözümü için önce Tablo 5.1'deki üretim birimlerine ait değerler ile Tablo 5.2'teki sadece $P_{yük}=2,25\text{ pu}$ alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.1'deki değerler ile Tablo 5.2'teki sadece $P_{yük}=2,25\text{ pu}$ alınarak valf noktası etkili olarak DE algoritması ile iki kez çözülmüştür. DE algoritmasıyla valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan 30 farklı çözümden elde edilen eniyi maliyet değerine ait çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.3'de verilmiştir. Tabloda *i*. termik üretim birimlerinin *pu* olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (*R/h*) olarak toplam yakıt maliyeti (*TYM*) ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.3: On Baralı Güç Sisteminin DE Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	Valf Noktası Etkisiz	Valf Noktası Etkili
$P_{GT,1(salınım)}$	0,230000	0,050000
$P_{GT,7}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,8}$	1,460000	1,500000
$P_{GT,9}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,10}$	0,460000	0,600000
<i>TYM (R/h)</i>	163,569500	163,895965
<i>Süre (s)</i>	1,49296213	1,52215219

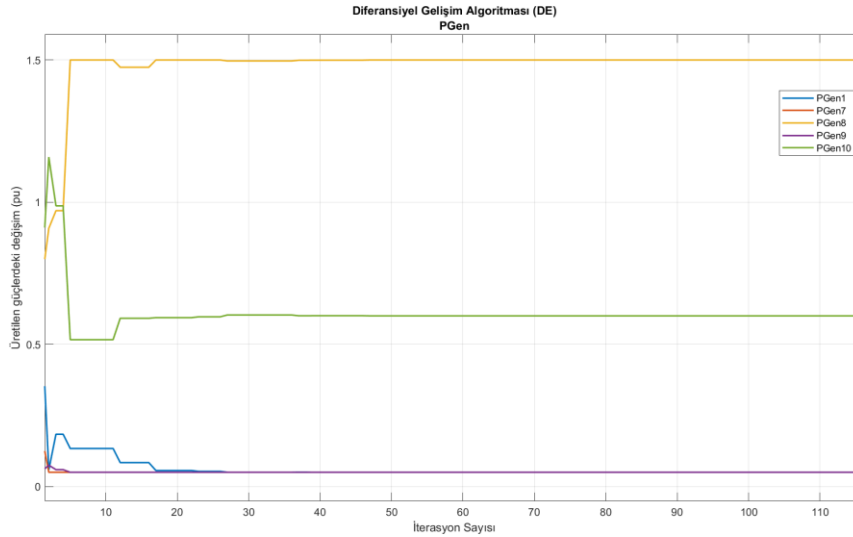
Problemin valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek DE algoritması ile yapılan çözümlerdeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil 5.3 ve 5.4'te verilmiştir.

Şekil 5.3: Valf Noktası Etkisiz DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.3'te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,8}$ 'in 35., $P_{GT,10}$ 'un 32., $P_{GT,1}$ 'in 30., $P_{GT,9}$ yaklaşık 3., $P_{GT,7}$ 'nin 5. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 3. iterasyon ile 35. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.4: Valf Noktası Etkili DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.4'te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ 'in 27., $P_{GT,7}$ 'nin 2., $P_{GT,8}$ 'in 17., $P_{GT,9}$ 'un 5., $P_{GT,10}$ 'un 27. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 2. iterasyon ile 27. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

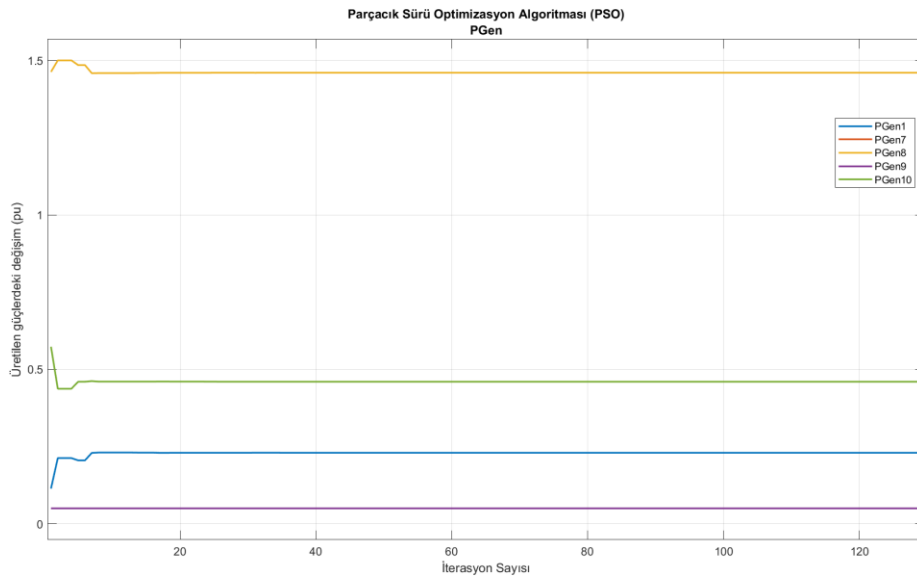
İkinci olarak EGD probleminin kayıpsız olarak çözümü için önce Tablo 5.1'deki üretim birimlerine ait değerler ile Tablo 5.2'teki sadece $P_{yük}=2,25 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.1'deki değerler ile Tablo 5.2'teki sadece $P_{yük}=2,25 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkili olarak PSO algoritması ile iki kez çözülmüştür. PSO algoritmasıyla valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen eniyi sonuçlar Tablo 5.4'de verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM) ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.4: On Baralı Güç Sisteminin PSO Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
$P_{GT,1(salınım)}$	0,230000	0,0500
$P_{GT,7}$	0,050000	0,0500
$P_{GT,8}$	1,460000	1,5000
$P_{GT,9}$	0,050000	0,0500
$P_{GT,10}$	0,460000	0,6000
$TYM (R/h)$	163,569500	163,895965
<i>Süre (s)</i>	1,6707951	2,17917239

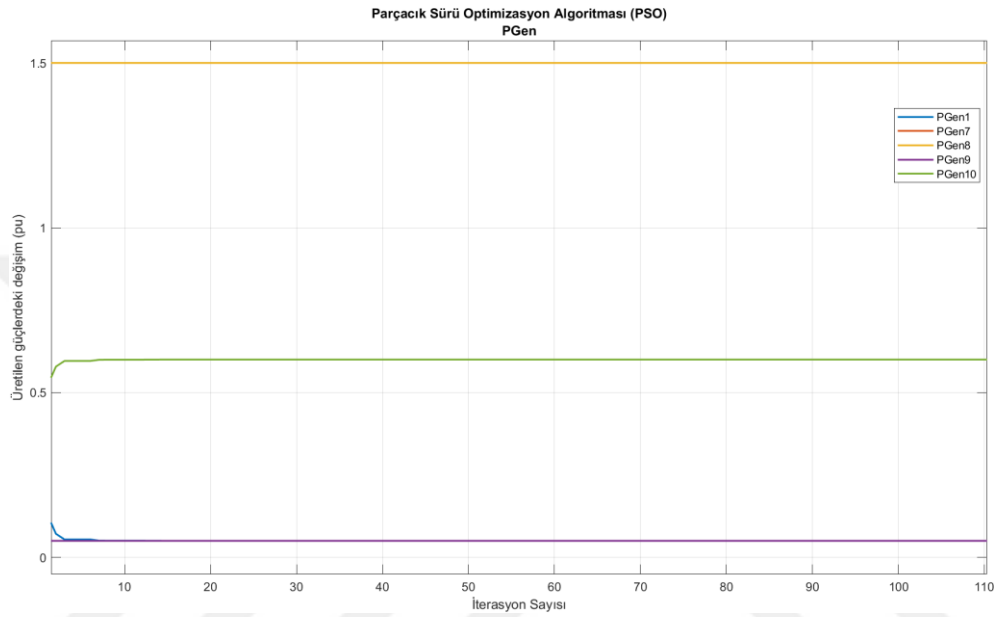
Problemin valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek PSO algoritması ile yapılan çözümlerdeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.5 ve 5.6'da verilmiştir.

Şekil 5.5: Valf Noktası Etkisiz PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.5’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 9., $P_{GT,7}$ ’nin 8., $P_{GT,8}$ ’in 8., $P_{GT,9}$ ’un 1., $P_{GT,10}$ ’un 5. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 1. iterasyon ile 9. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.6: Valf Noktası Etkili PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



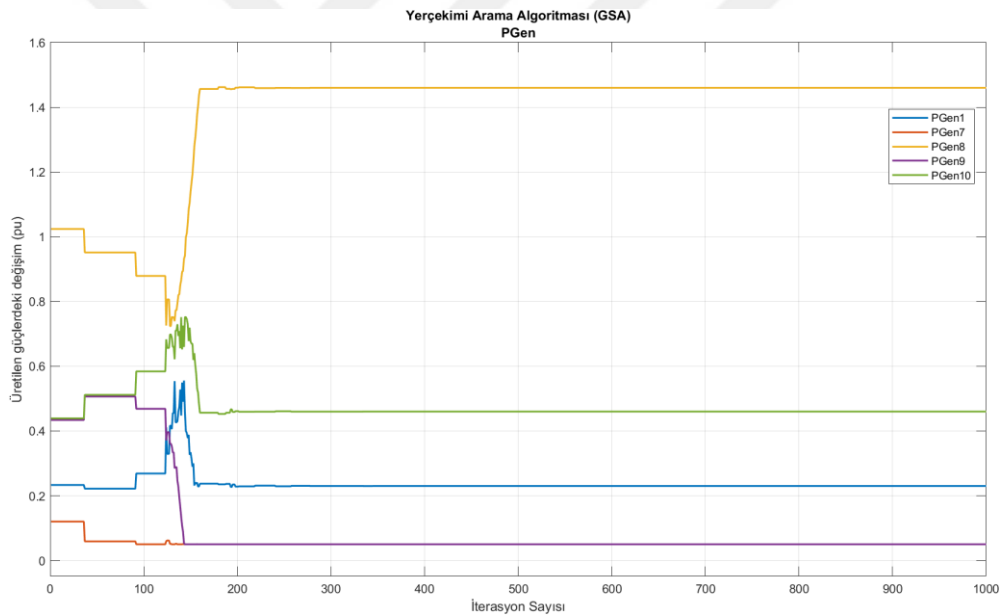
Şekil 5.6’da verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 3., $P_{GT,7}$ ’nin 3., $P_{GT,8}$ ’in 1., $P_{GT,9}$ ’un 1., $P_{GT,10}$ ’un 3. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 1. iterasyon ile 3. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Üçüncü olarak EGD probleminin kayıpsız olarak çözümü için önce Tablo 5.1’deki üretim birimlerine ait değerler ile Tablo 5.2’teki sadece $P_{yük}=2,25 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.1’deki değerler ile Tablo 5.2’teki sadece $P_{yük}=2,25 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkili olarak GSA algoritması ile iki kez çözülmüştür. GSA algoritmasıyla valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.5’de verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM) ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.5: On Baralı Güç Sisteminin GSA İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

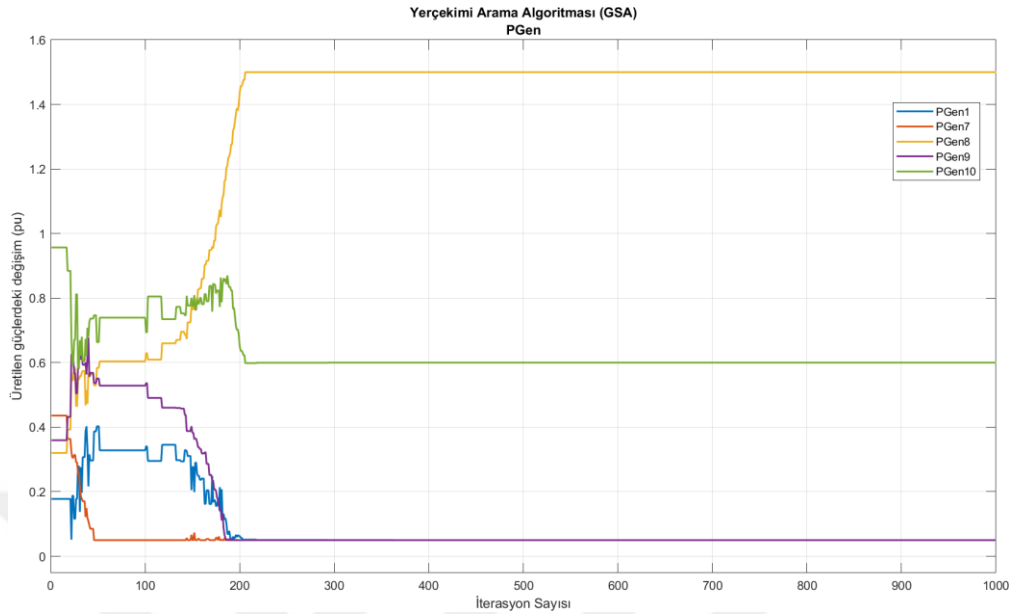
(pu)	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
$P_{GT,1(salınım)}$	0,230000	0,050000
$P_{GT,7}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,8}$	1,460000	1,500000
$P_{GT,9}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,10}$	0,460000	0,600000
$TYM (R/h)$	163,569500	163,895965
<i>Süre (s)</i>	4,3453272	4,41715598

Problemin valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek GSA ile yapılan çözümlerdeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.7 ve 5.8’de verilmiştir.

Şekil 5.7: Valf Noktası Etkisiz GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi

Şekil 5.7’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 198., $P_{GT,7}$ ’nin 130., $P_{GT,8}$ ’in 160., $P_{GT,9}$ ’un 140., $P_{GT,10}$ ’un 199. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 130. iterasyon ile 199. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.8: Valf Noktası Etkili GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



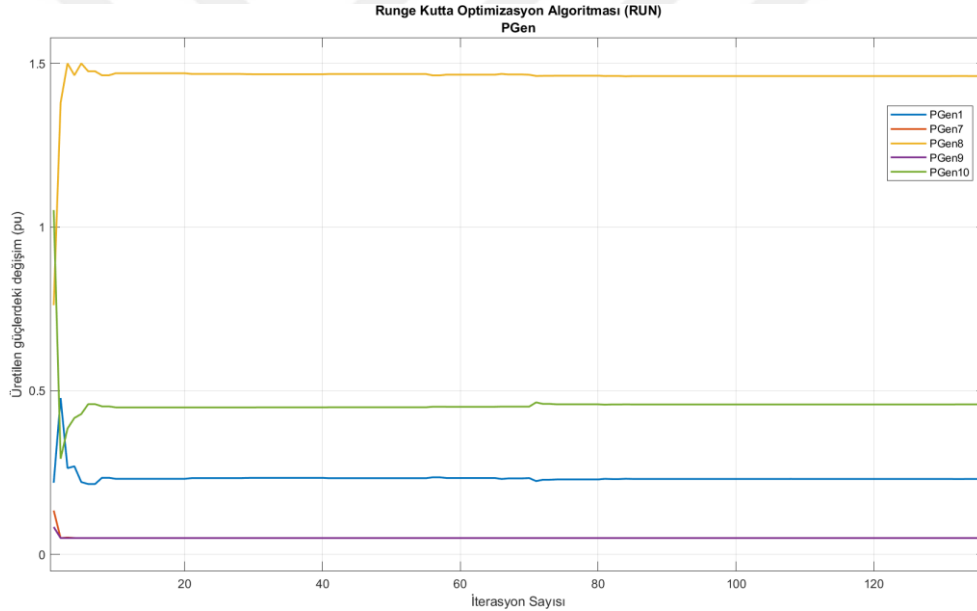
Şekil 5.8’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 205., $P_{GT,7}$ ’nin 198., $P_{GT,8}$ ’in 203., $P_{GT,9}$ ’un 200., $P_{GT,10}$ ’un 198. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 198. iterasyon ile 205. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Son olarak EGD probleminin kayıpsız olarak çözümü için önce Tablo 5.1’deki üretim birimlerine ait değerler ile Tablo 5.2’teki sadece $P_{yük}=2,25 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.1’deki değerler ile Tablo 5.2’teki sadece $P_{yük}=2,25 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkili olarak RUN algoritması ile iki kez çözülmüştür. DE algoritmasıyla valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.6’de verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM) ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.6: On Baralı Güç Sisteminin RUN İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

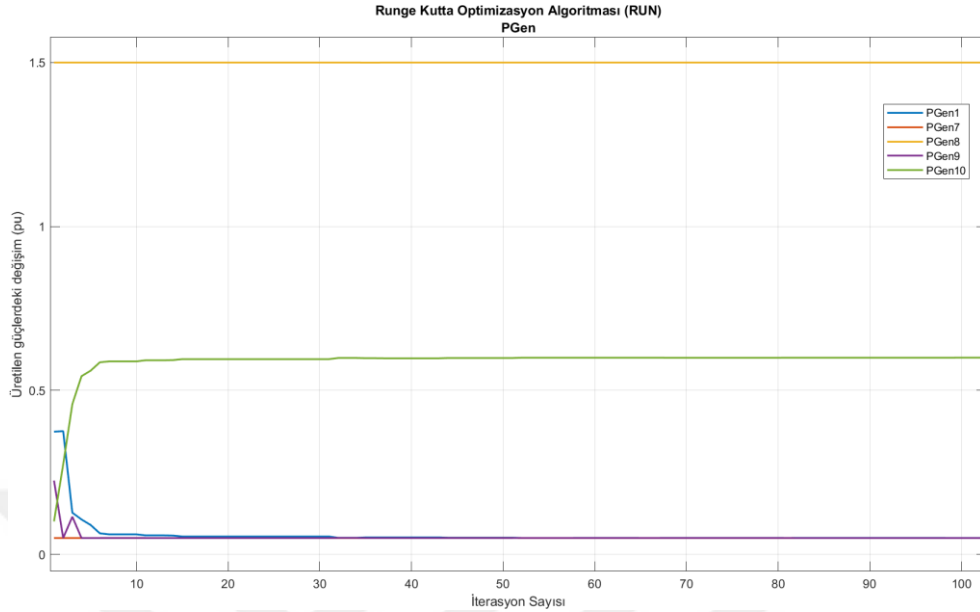
(pu)	Valf Noktası Etkisiz	Valf Noktası Etkili
$P_{GT,1(salınım)}$	0,230000	0,050000
$P_{GT,7}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,8}$	1,460000	1,500000
$P_{GT,9}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,10}$	0,460000	0,600000
TYM (R/h)	163,569500	163,895965
Süre (s)	2,72398662	2,77862321

Problemin valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek RUN ile yapılan çözümlerdeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil 5.9 ve 5.10’da verilmiştir.

Şekil 5.9: Valf Noktası Etkisiz RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi

Şekil 5.9’da verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 70., $P_{GT,7}$ ’nin 2, $P_{GT,8}$ ’in 72., $P_{GT,9}$ ’un 2., $P_{GT,10}$ ’un 75. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 2. iterasyon ile 75. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.10: Valf Noktası Etkili RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.10’da verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 15., $P_{GT,7}$ ’nin 1., $P_{GT,8}$ ’in 1., $P_{GT,9}$ ’un 4., $P_{GT,10}$ ’un 7. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 1. iterasyon ile 15. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

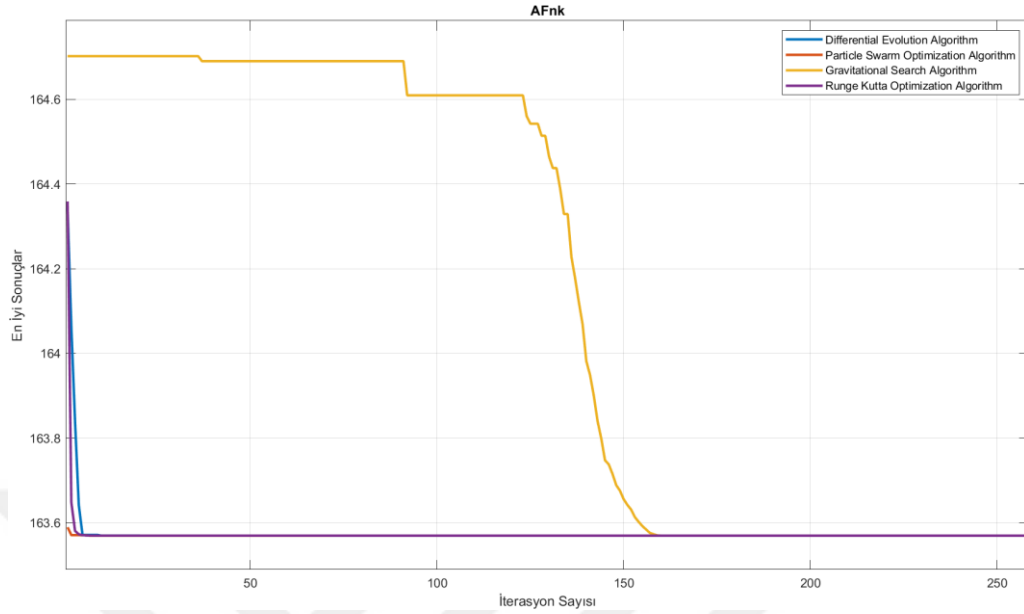
Farklı algoritmalarla (DE, PSO, GSA ve RUN) çözümü yapılan valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek kayıpsız güç dağıtım problemlerinin çözümlerinden 30 çalışmada elde edilen eniyi maliyet değerleri Tablo 5.7’de verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde valf noktası etkisiz ve valf noktası etkili tüm algoritmaların aynı değere yakınsadığı görülmektedir.

Tablo 5.7: Farklı Algoritmalarla Göre Toplam Yakıt Maliyeti Değerlerinin Karşılaştırılması

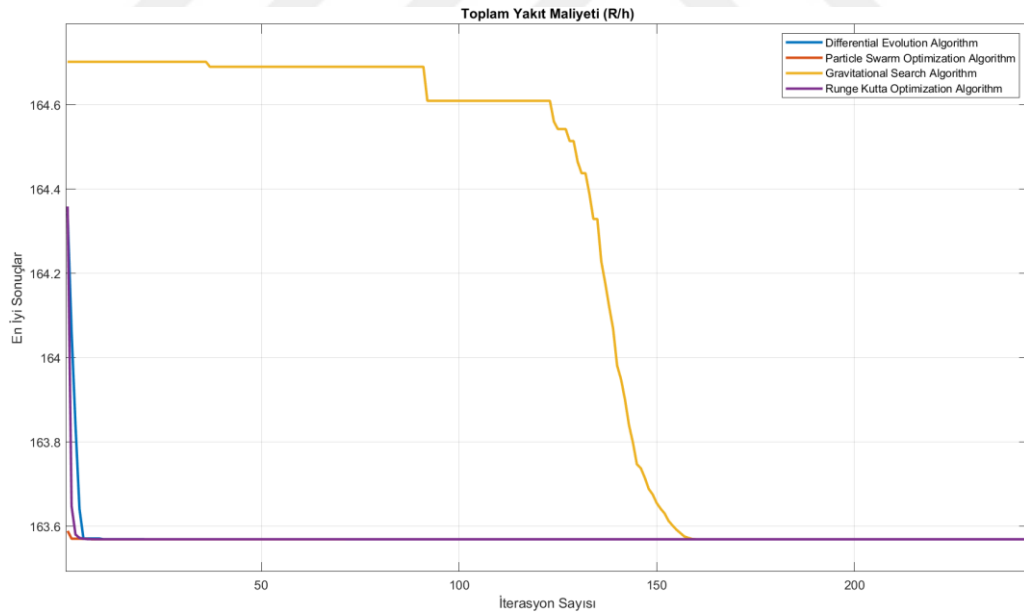
Algoritmalar	TYM (R/h)			
	DE	PSO	GSA	RUN
Valf Noktası Etkisiz	163,569500	163,569500	163,569500	163,569500
Valf Noktası Etkili	163,895965	163,895965	163,895965	163,895965

Valf noktası etkisiz ve kayıpsız ekonomik güç dağıtım probleminin dört farklı algoritma ile çözümünden eşitlik (5.11)’den hesaplanan amaç fonksiyonlarının ($AFnk$) iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.11’de, toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.12’de ve toplam yakıt maliyetinin kutu grafikleri ise Şekil 5.13’te verilmiştir.

Şekil 5.11: Valf Noktası Etkisiz Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünde Amaç Fonksiyonlarının (*Afnk*) İterasyonlara Göre Değişimi

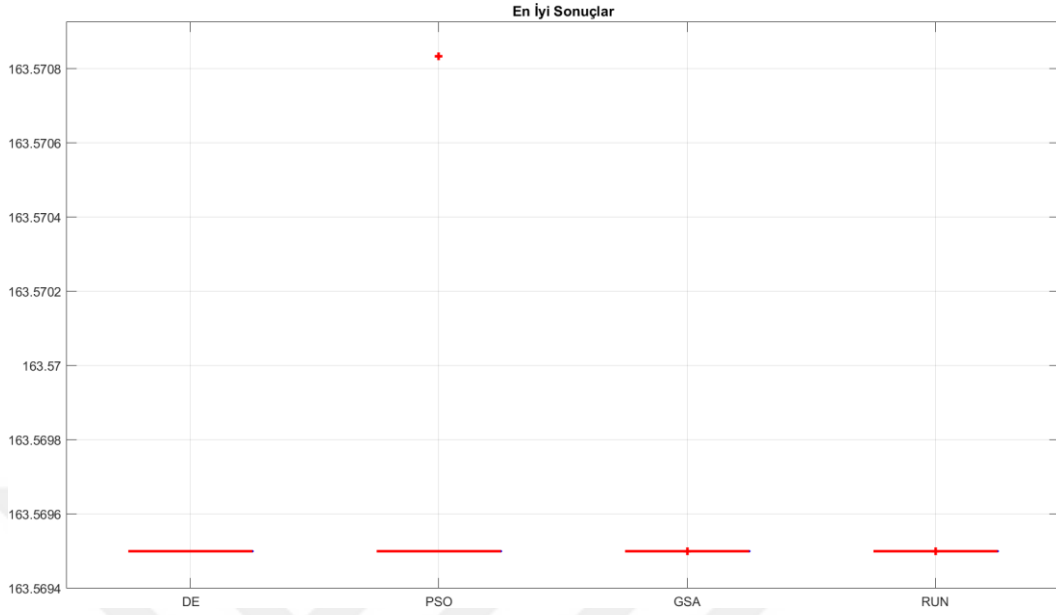


Şekil 5.12: Valf Noktası Etkisiz Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.11 de bulunan amaç fonksiyonu ve Şekil 5.12’de bulunan yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişim grafikleri cezalar sıfıra gittiği için birbirine eşittir. Buna göre grafiklere göre DE 7. iterasyonda, PSO 3.iterasyonda, GSA 163. iterasyonda, RUN 5. iterasyonda toplam yakıt maliyetinin en iyi değerine ulaştıkları görülmektedir.

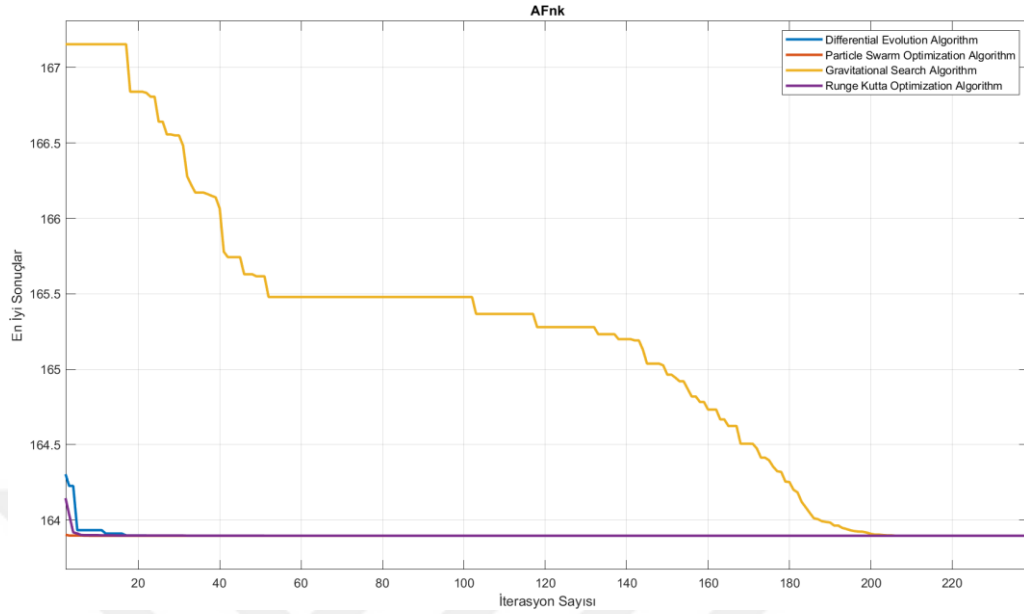
Şekil 5.13: Valf Noktası Etkisiz Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünden Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri



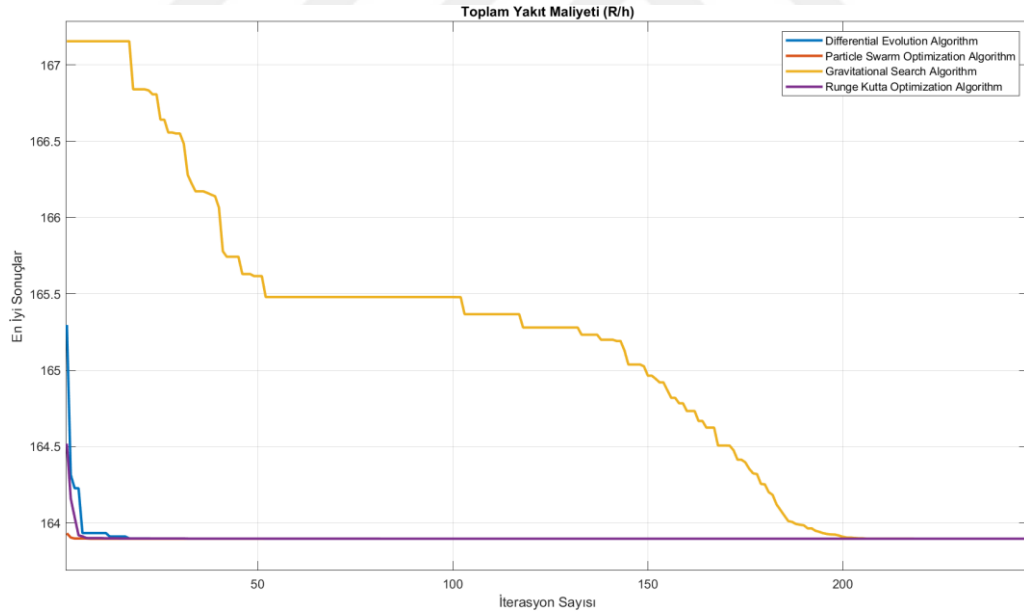
Şekil 5.13'te verilen kutu grafiğinde her algoritma için 30 kez yapılan çözüme göre DE, RUN ve GSA algoritmalarında toplam yakıt maliyeti en iyi değere ulaşılmıştır ve bu algoritmalar kararlı oldukları görülmektedir. PSO toplam yakıt maliyetinde en iyi değere ulaşmıştır fakat kararlılık olarak diğer algoritmalarından daha kararsızdır ve bir adet sapan değer bulunmaktadır.

Valf noktası etkili ekonomik güç dağıtım probleminin dört farklı algoritma ile çözümünden eşitlik (5.11)'den hesaplanan amaç fonksiyonlarının ($AFnk$) iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.14'te, toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.15'te ve toplam yakıt maliyetinin kutu grafikleri ise Şekil 5.16'de verilmiştir.

Şekil 5.14: Valf Noktası Etkili Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümündeki Amaç Fonksiyonlarının (*Af_{nk}*) İterasyonlara Göre Değişimi

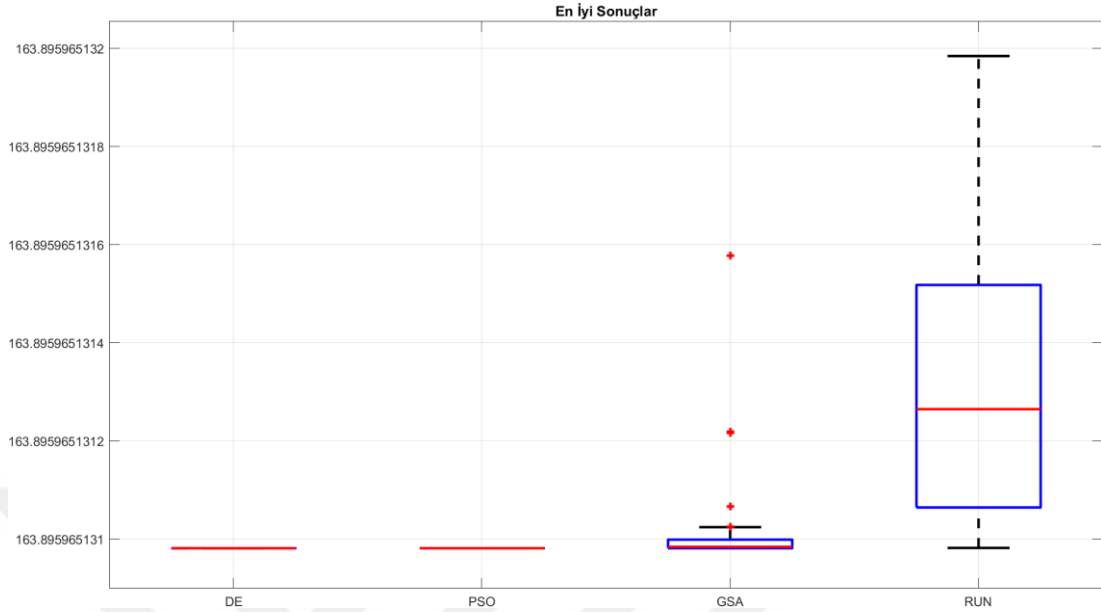


Şekil 5.15: Valf Noktası Etkili Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümündeki Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.14 te bulunan amaç fonksiyonu ve şekil 5.15'te bulunan yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişim grafikleri cezalar sıfıra gittiği için birbirine eşittir. Buna göre grafiklere göre DE 18. iterasyonda, PSO 3.iterasyonda, GSA 201. iterasyonda, RUN 8. iterasyonda toplam yakıt maliyetinin en iyi değerine ulaştıkları görülmektedir.

Şekil 5.16: Valf Noktası Etkili Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünden Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri



Şekil 5.16’da verilen kutu grafiğinde her algoritma için 30 kez yapılan çözüme göre DE, PSO, RUN ve GSA algoritmalarında toplam yakıt maliyeti en iyi değere ulaşılmıştır fakat GSA’da 3 adet sapan değer bulunmaktadır. GSA ve RUN algoritmalarının daha kararsız olduğu görülmektedir.

5.3.1.2. İletim Hattı Kayıpları Dahil Edilerek B Kayıp Matrisi Yöntemiyle Çözülmesi (10 Bara)

Bu bölümde dört farklı (*DE*, *PSO*, *GSA* ve *RUN*) algoritmayla modifiye edilmiş 10 baralı test sistemine ait B kayıp matrisi ile kayıplı olarak ekonomik güç dağıtım problemi hem valf noktası etkisiz hem de valf noktası etkili olmak üzere iki farklı şekilde çözülmüştür. Valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek her bir algoritmayla 30’ar kez programlar çalıştırılmıştır.

İletim hatlarında meydana gelen kayıpları, yaklaşık olarak ekonomik güç dağıtım problemine dahil etmek için, 1950’li yılların başlarında Kron tarafından bulunan B kayıp matrisi formülü kullanılmıştır. Burada yaklaşık kayıplar *MW* olarak eşitlik (4.14)’den hesaplanmıştır (Wood vd., 1996, Özyön vd., 2012, Abbas vd., 2017)

$$P_{kayıp} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i \cdot B_{ij} \cdot P_j + \sum_{i=1}^n B_{0i} \cdot P_i + B_{00} \quad (5.13)$$

Eşitlikte B_{ij} ; kayıp kare matrisinin katsayılarının ij . elemanı, B_{0i} ; kayıp katsayı vektörünün i . elemanı, B_{00} ; kayıp katsayı sabitini ifade etmektedir.

İlk olarak EGD probleminin kayıplı olarak çözümü için önce Tablo 5.1'deki üretim birimlerine ait değerler alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.1'deki değerler ile Tablo 5.2'deki sadece $P_{yük}=2,25 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkili olarak DE algoritması ile iki kez çözülmüştür. On baralı modifiye edilmiş test sisteminin iletim hatları ait B kayıp matrisi değerleri Tablo 5.8'de verilmiş olup eşitlik (5.13)'ten kayıpların hesaplanabilmesi için bu değerler kullanılmıştır. DE algoritmasıyla valf noktası dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.9'da verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM), pu olarak iletim hatlarında meydana gelen toplam kayıplar $P_{kayıp}$ ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.8: On Baralı Test Sistemine Ait B Kayıp Matrisi Değerleri

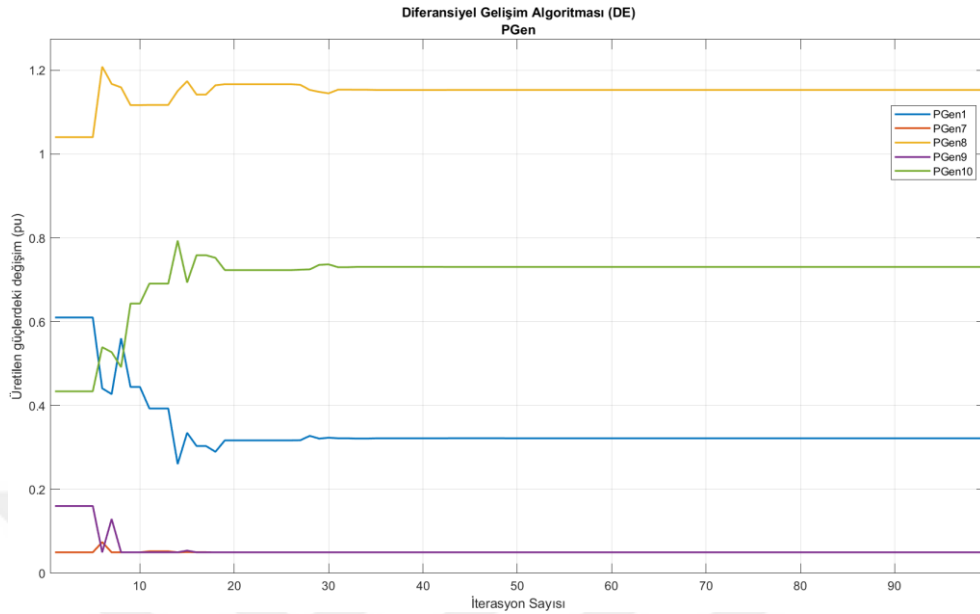
B Kayıp Matrisi Değerleri					
[B]	2,24E-02	1,03E-02	1,60E-03	-5,30E-03	9,00E-04
	1,03E-02	1,58E-02	1,00E-03	-7,40E-03	7,00E-04
	1,60E-03	1,00E-03	4,74E-02	-6,87E-02	-6,00E-03
	-5,30E-03	-7,40E-03	-6,87E-02	3,46E-01	1,05E-02
	9,00E-04	7,00E-04	-6,00E-03	1,05E-02	1,19E-02
[B ₀]	-5,00E-04	1,60E-03	-2,90E-03	6,00E-03	1,40E-03
[B ₀₀]	1,10E-03				

Tablo 5.9: On Baralı Güç Sisteminin DE Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	Valf Noktası Etkisiz	Valf Noktası Etkili
$P_{GT,1(salınım)}$	0,322149	0,050750
$P_{GT,7}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,8}$	1,153203	1,253572
$P_{GT,9}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,10}$	0,730903	0,909187
$TYM (R/h)$	164,025155	164,420680
$P_{kayıp}$	0,056255	0,063508
$Süre (s)$	1,79131216	1,78179253

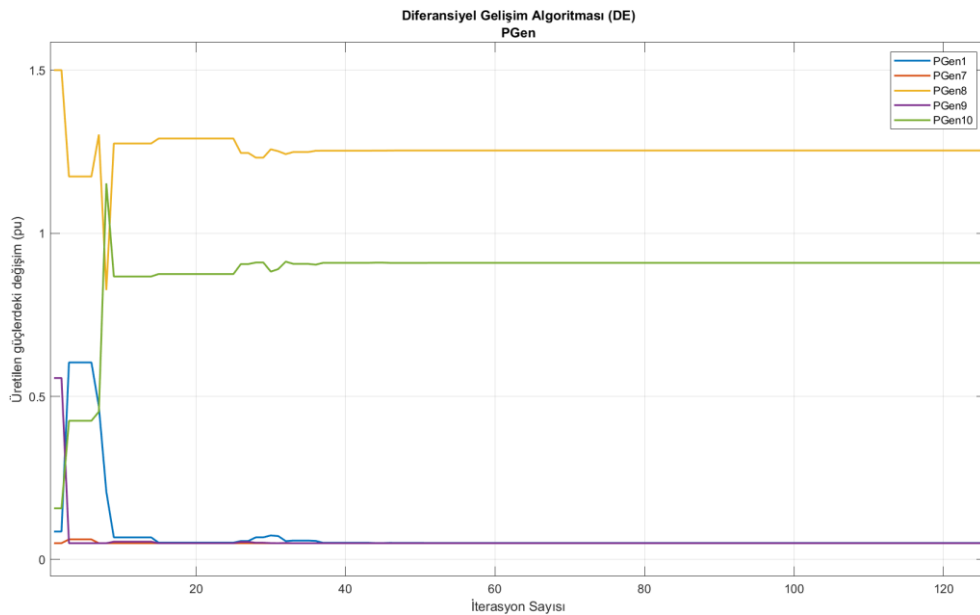
İletim hattı kayıplarının B kayıp matrisi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek DE algoritmasıyla yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.17 ve 5.18'de verilmiştir.

Şekil 5.17: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.17’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 30. , $P_{GT,7}$ ’nin 7., $P_{GT,8}$ ’in 32., $P_{GT,9}$ ’un 17., $P_{GT,10}$ ’un 31. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 7. iterasyon ile 32. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.18: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.18’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 37., $P_{GT,7}$ ’nin 27., $P_{GT,8}$ ’in 35., $P_{GT,9}$ ’un 2., $P_{GT,10}$ ’un 36. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani

generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 2. iterasyon ile 37. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

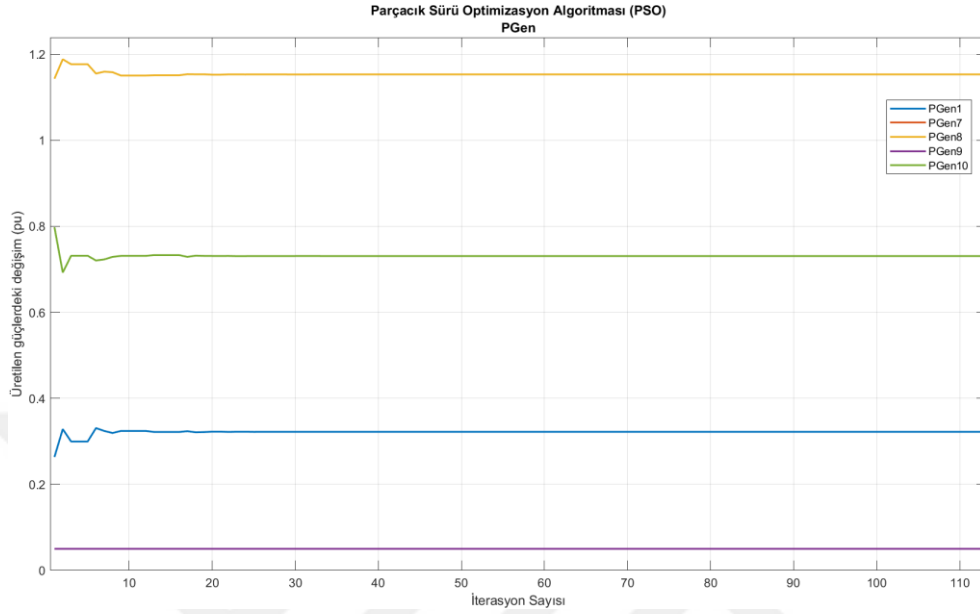
İkinci olarak bu bölümde EGD probleminin kayıplı olarak çözümü için önce Tablo 5.1'deki üretim birimlerine ait değerler alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.1'deki değerler ile Tablo 5.2'deki sadece $P_{yük}=2,25\ pu$ alınarak valf noktası etkili olarak PSO algoritması ile iki kez çözülmüştür. On baralı modifiye edilmiş test sisteminin iletim hatları ait B kayıp matrisi değerleri Tablo 5.8'de verilmiş olup eşitlik (5.13)'ten kayıpların hesaplanabilmesi için bu değerler kullanılmıştır. DE algoritmasıyla valf noktası dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.10'da verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM), pu olarak iletim hatlarında meydana gelen toplam kayıplar $P_{kayıp}$ ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.10: On Baralı Güç Sisteminin PSO Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
$P_{GT,1(salınım)}$	0,322149	0,050750
$P_{GT,7}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,8}$	1,153203	1,253572
$P_{GT,9}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,10}$	0,730903	0,909187
$TYM (R/h)$	164,025155	164,420680
$P_{kayıp}$	0,056255	0,063508
$Süre (s)$	1,98595331	1,95276247

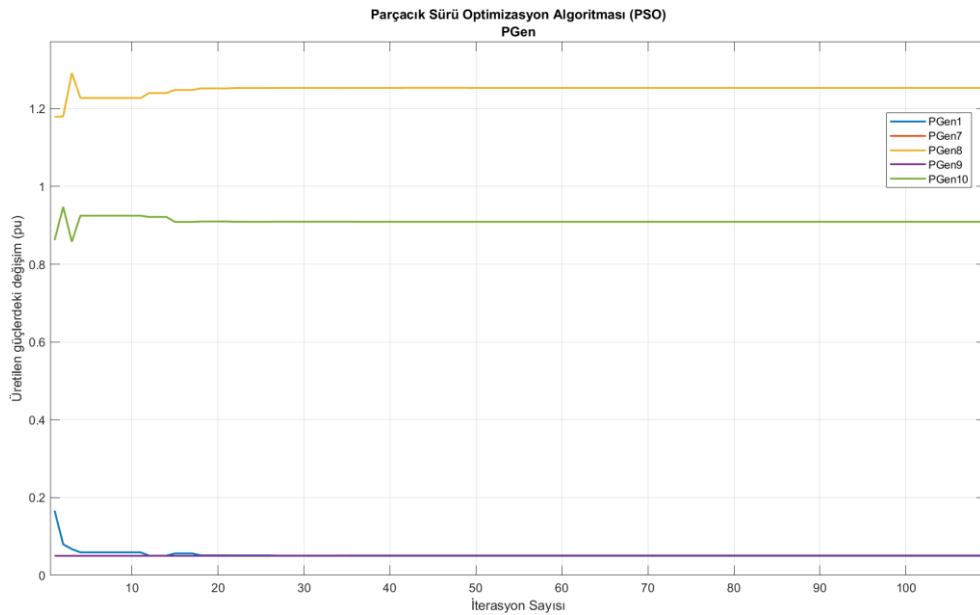
İletim hattı kayıplarının B kayıp matrisi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek PSO algoritmasıyla yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.19 ve 5.20'de verilmiştir.

Şekil 5.19: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.19’da verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 19., $P_{GT,7}$ ’nin 1, $P_{GT,8}$ ’in 9., $P_{GT,9}$ ’un 1., $P_{GT,10}$ ’un 18. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 1. iterasyon ile 19. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.20: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.20’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 17., $P_{GT,7}$ ’nin 1., $P_{GT,8}$ ’in 20., $P_{GT,9}$ ’un 1., $P_{GT,10}$ ’un 15. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 1. iterasyon ile 20. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

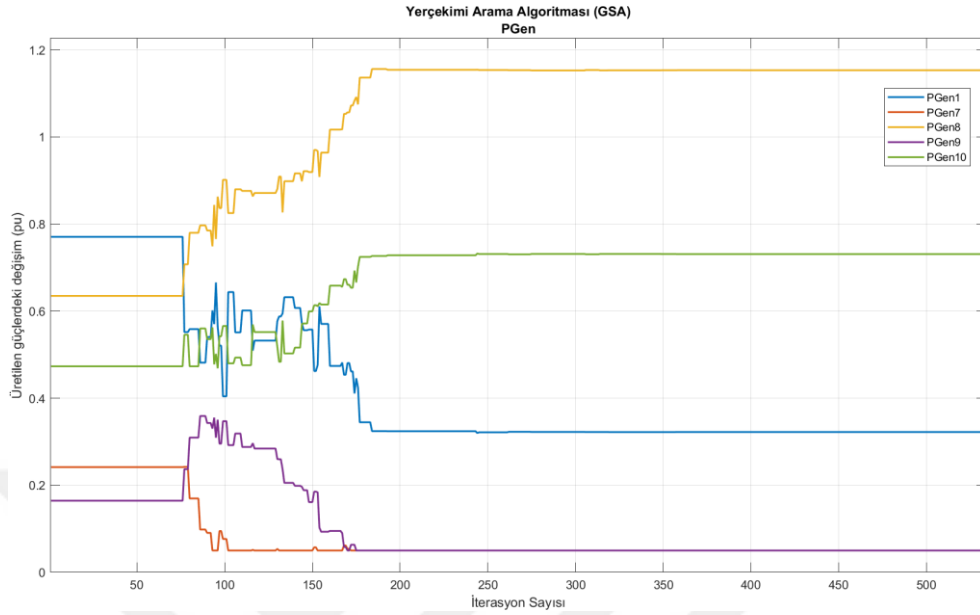
Üçüncü olarak EGD probleminin kayıplı olarak çözümü için Tablo 5.1’deki üretim birimlerine ait değerler alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.1’deki değerler ile Tablo 5.2’deki sadece $P_{yük}=2,25 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkili olarak GSA algoritması ile iki kez çözülmüştür. On baralı modifiye edilmiş test sisteminin iletim hatları ait B kayıp matrisi değerleri Tablo 5.8’de verilmiş olup eşitlik (5.13)’ten kayıpların hesaplanabilmesi için bu değerler kullanılmıştır. DE algoritmasıyla valf noktası dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.11’de verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM), pu olarak iletim hatlarında meydana gelen toplam kayıplar $P_{kayıp}$ ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.11: On Baralı Güç Sisteminin GSA İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
$P_{GT,1(salınım)}$	0,322149	0,050750
$P_{GT,7}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,8}$	1,153203	1,253572
$P_{GT,9}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,10}$	0,730903	0,909187
$TYM (R/h)$	164,025155	164,420680
$P_{kayıp}$	0,056255	0,063508
$Süre (s)$	4,74689479	4,65067536

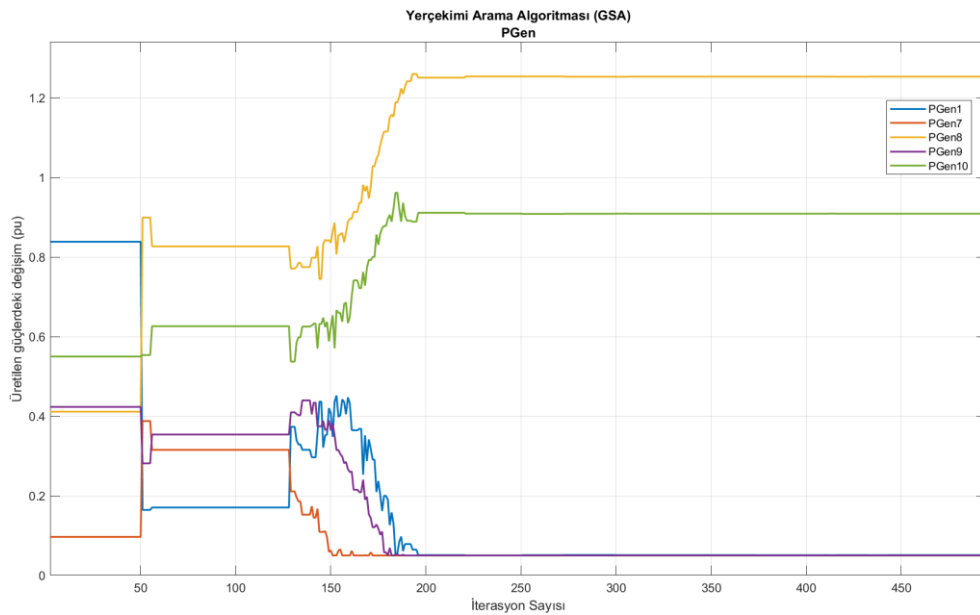
İletim hattı kayıplarının B kayıp matrisi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek GSA ile yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.21 ve 5.22’de verilmiştir.

Şekil 5.21: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.21’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 246., $P_{GT,7}$ ’nin 175., $P_{GT,8}$ ’in 182., $P_{GT,9}$ ’un 177., $P_{GT,10}$ ’un 248. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 175. iterasyon ile 248. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.22: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.22’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 195., $P_{GT,7}$ ’nin 171, $P_{GT,8}$ ’in 232., $P_{GT,9}$ ’un 181., $P_{GT,10}$ ’un 238. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 171. iterasyon ile 238. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

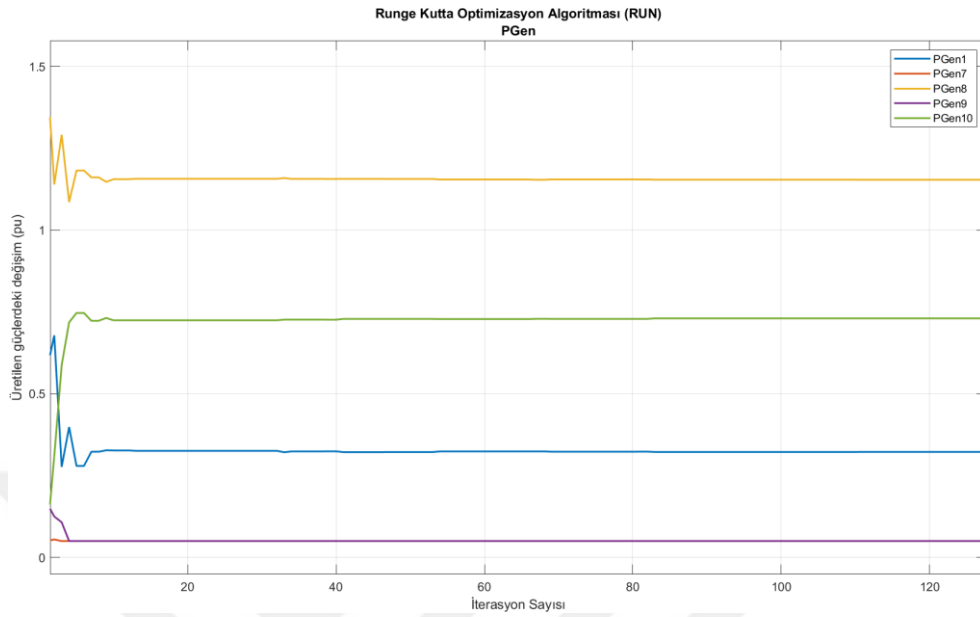
Bu bölümde ekonomik güç dağıtım probleminin kayıplı olarak çözümü için Tablo 5.1’deki üretim birimlerine ait değerler alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.1’deki değerler ile Tablo 5.2’deki sadece $P_{yük}=2,25\ pu$ alınarak valf noktası etkili olarak RUN algoritması ile iki kez çözülmüştür. On baralı modifiye edilmiş test sisteminin iletim hatları ait B kayıp matrisi değerleri Tablo 5.8’de verilmiş olup eşitlik (5.13)’ten kayıpların hesaplanabilmesi için bu değerler kullanılmıştır. DE algoritmasıyla valf noktası dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.12’de verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM), pu olarak iletim hatlarında meydana gelen toplam kayıplar $P_{kayıp}$ ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.12: On Baralı Güç Sisteminin RUN İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
$P_{GT,1(salınım)}$	0,322149	0,050750
$P_{GT,7}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,8}$	1,153203	1,253572
$P_{GT,9}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,10}$	0,730903	0,909187
$TYM (R/h)$	164,025155	164,420680
$P_{kayıp}$	0,056255	0,063508
$Süre (s)$	3,11293765	3,10754309

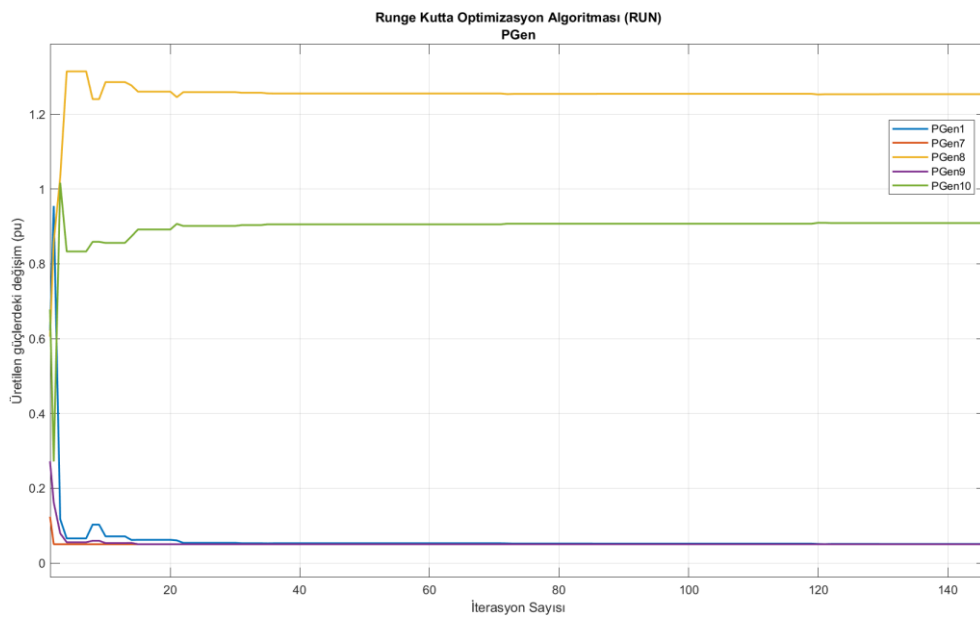
İletim hattı kayıplarının B kayıp matrisi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek RUN ile yapılan çözümlerinde üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil 5.23 ve 5.24’te verilmiştir.

Şekil 5.23: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.23'te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ 'in 33., $P_{GT,7}$ 'nin 2., $P_{GT,8}$ 'in 32., $P_{GT,9}$ 'un 4., $P_{GT,10}$ 'un 8. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 2. iterasyon ile 33. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.24: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde SMA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.24'te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ 'in 22., $P_{GT,7}$ 'nin 1., $P_{GT,8}$ 'in 22., $P_{GT,9}$ 'un 8., $P_{GT,10}$ 'un 23. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 1. iterasyon ile 23. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

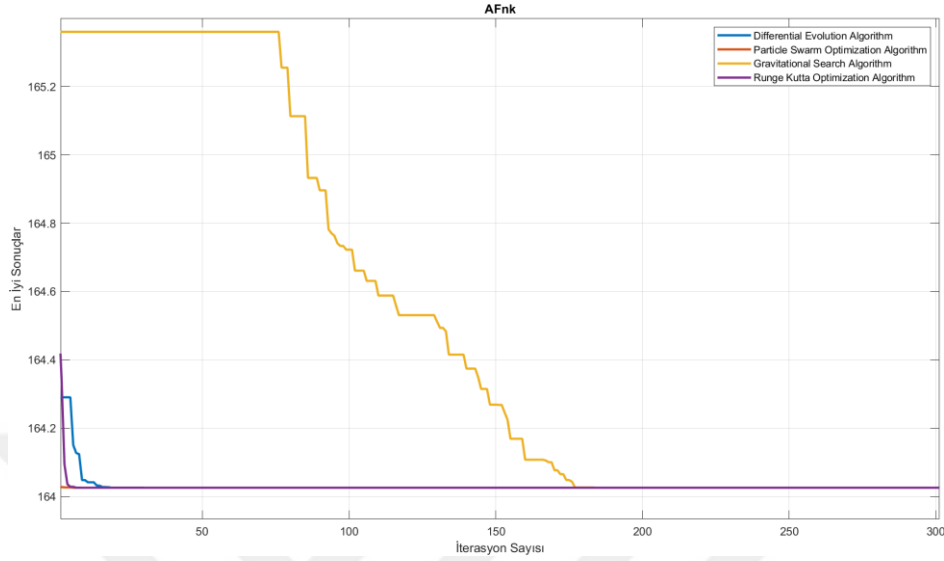
Farklı algoritmalarla (DE, PSO, GSA ve RUN) çözümü yapılan valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek B kayıp matrisi ile hesaplanan kayıplı güç dağıtım problemlerinin çözümlerinden elde edilen toplam yakıt maliyeti değerleri Tablo 5.13'te verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde valf noktası etkisiz ve valf noktası etkili tüm algoritmaların aynı değere yakınsamışlardır. Valf noktası etkili modifiye edilmiş 10 baralı test sisteminin RUN ile çözümü $164.420680 R/h$ ile en iyi değere yakınsamıştır.

Tablo 5.13: Farklı Algoritmalarla Göre Toplam Yakıt Maliyeti Değerlerinin Karşılaştırılması

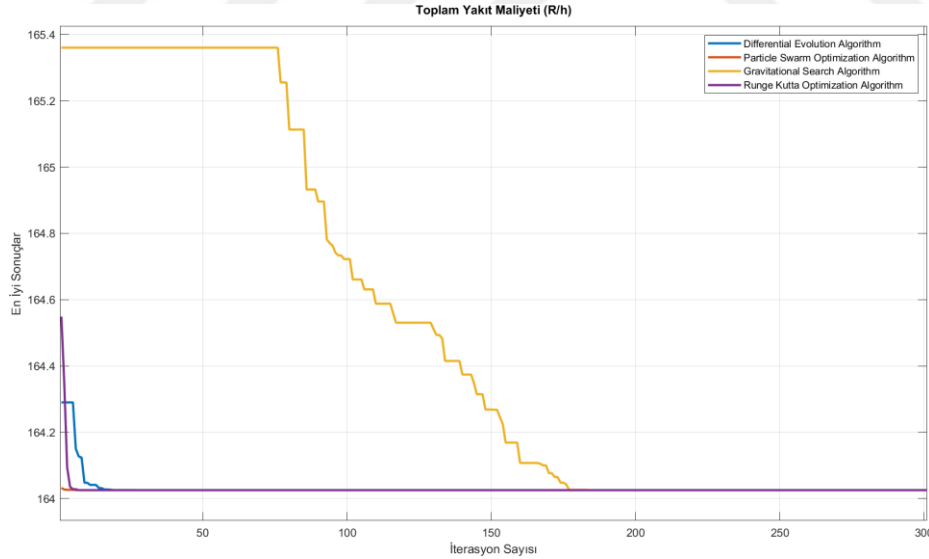
<i>Algoritmalar</i>	<i>TYM (R/h)</i>			
	<i>DE</i>	<i>PSO</i>	<i>GSA</i>	<i>RUN</i>
<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	164,025155	164,025155	164,025155	164,025155
<i>Valf Noktası Etkili</i>	164,420680	164,420680	164,420680	164,420680

Valf noktası etkisiz kayıplı ekonomik güç dağıtım probleminin dört farklı algoritma ile B kayıp matrisi kullanılarak bulunan çözümündeki eşitlik (5.11)'den hesaplanan amaç fonksiyonlarının (AF_{nk}) iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.25'te, toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.26'da, iletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.27'de ve toplam yakıt maliyetinin kutu grafikleri ise Şekil 5.28'de verilmiştir.

Şekil 5.25: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Amaç Fonksiyonlarının (Af_{nk}) İterasyonlara Göre Değişimi

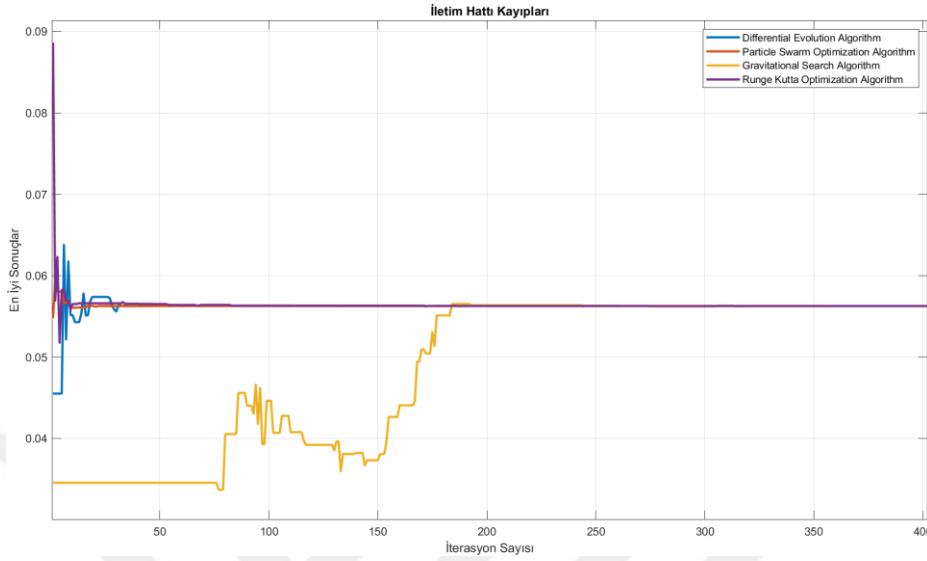


Şekil 5.26: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi

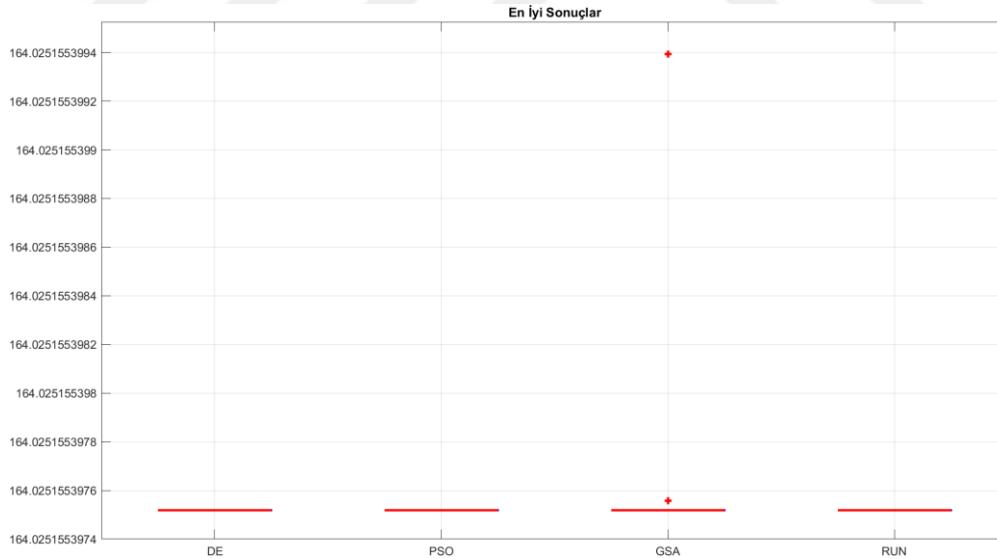


Şekil 5.25'te bulunan amaç fonksiyonu ve şekil 5.26'da bulunan toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişim grafikleri cezalar sıfıra gittiği için birbirlerine eşittir. Bu durumda grafiklere göre DE algoritması 18, PSO 3., GSA 178., RUN ise 8. iterasyonda toplam yakıt maliyetinin en iyi değerine ulaştıkları görülmektedir. Şekil 5.27'de tüm algoritmaların iletim hattının kayıpları verilmiştir. Bu grafiğe göre 190. iterasyondan sonra kayıplar sabitlenmiş ve 0,056255 *pu* değerine oturmuştur.

Şekil 5.27: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi



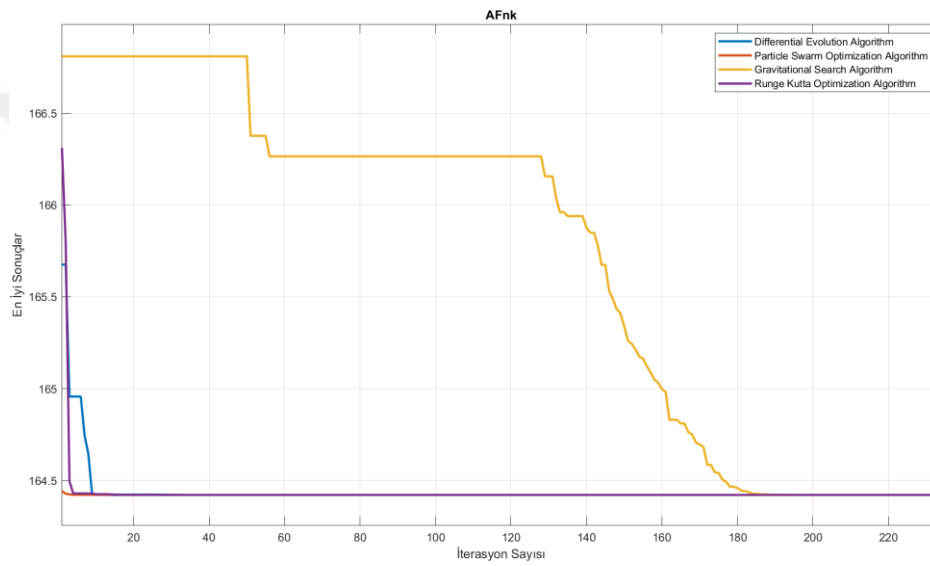
Şekil 5.28: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri



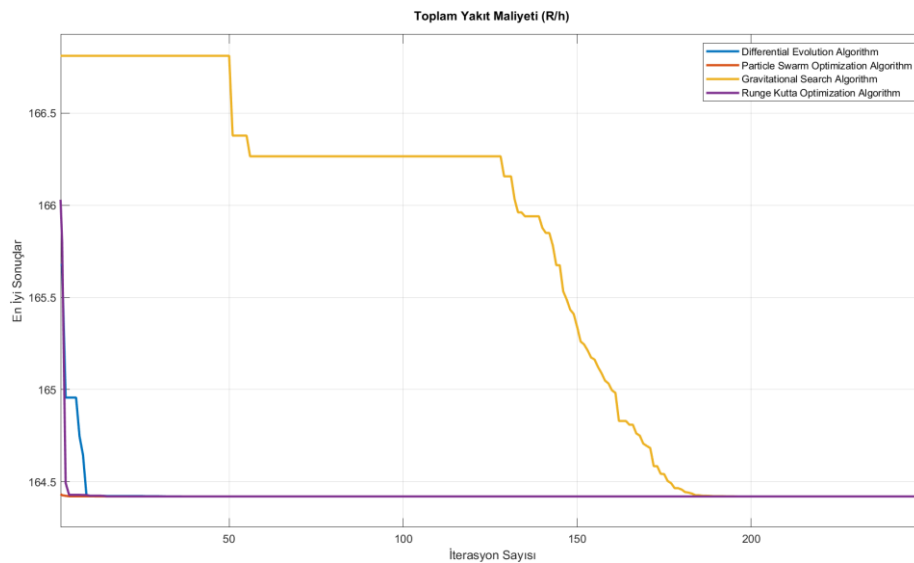
Şekil 5.28’de verilen kutu grafiğinde her algoritma için 30 kez yapılan çözüme göre DE, PSO ve RUN’da toplam yakıt maliyeti en iyi değere ulaşılmıştır ve bu algoritmaların kararlı oldukları görülmektedir. GSA ise toplam yakıt maliyetinde minimum sonucu bulmuştur, fakat iki adet sapan değeri görülmektedir.

Valf noktası etkili kayıplı ekonomik güç dağıtım probleminin dört farklı algoritma ile B kayıp matrisi kullanılarak bulunan çözümündeki eşitlik (5.10)'dan hesaplanan amaç fonksiyonlarının (AF_{nk}) iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.29'da, toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.30'da, iletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.31'de ve toplam yakıt maliyetinin kutu grafikleri ise Şekil 5.32'de verilmiştir.

Şekil 5.29: Valf Noktası Etkili Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Amaç Fonksiyonlarının (AF_{nk}) İterasyonlara Göre Değişimi

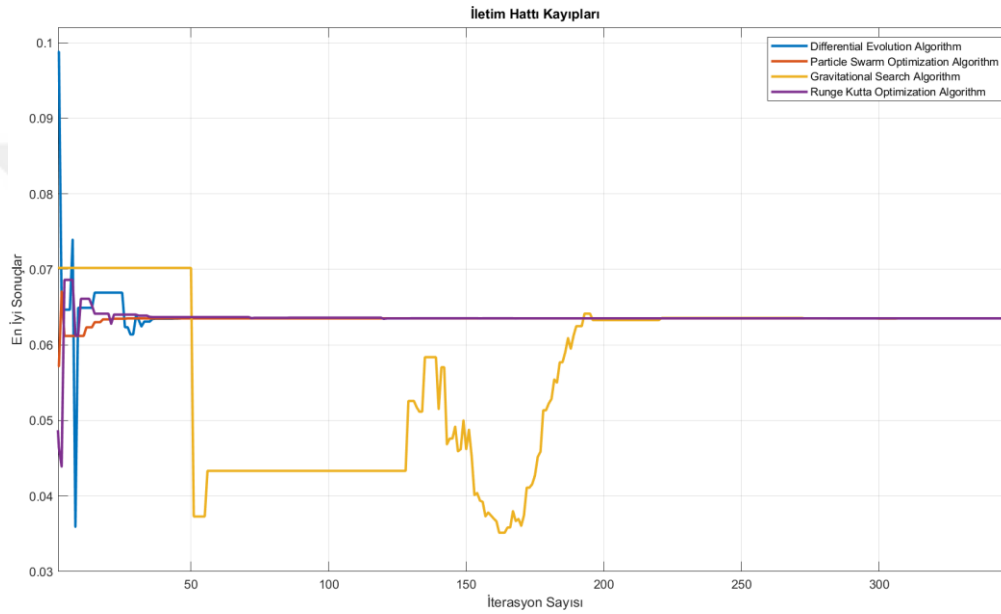


Şekil 5.30: Valf Noktası Etkili Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi



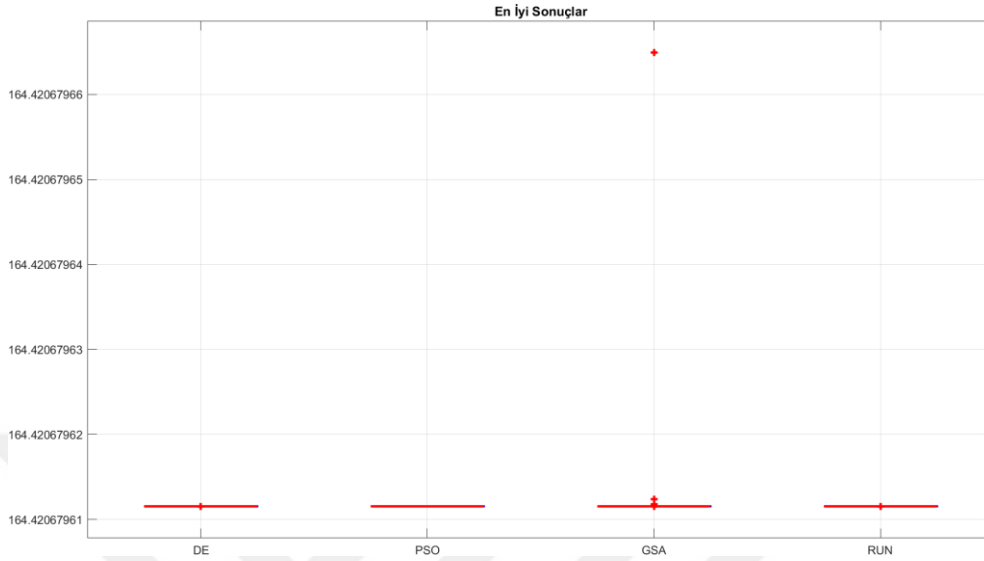
Şekil 5.29 da bulunan amaç fonksiyonu ve şekil 5.30.da bulunan yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişim grafikleri birbirine eşittir. Buna göre grafiklere göre DE 11. iterasyonda, PSO 1.iterasyonda, GSA 182. iterasyonda $164,421 R/h$ yakıt maliyeti değerine, RUN 5. İterasyonda $164,420680$ yakıt maliyeti değerine ulaştıkları görülmektedir. Bu durumda RUN diğer algoritmalar gibi eniyi sonucu bulmuştur.

Şekil 5.31: Valf Noktası Etkili Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.31’de tüm algoritmaların iletim hattının kayıpları verilmiştir. Bu grafiğe göre DE, PSO ve RUN’daki iletim hattı kaybı 120. iterasyondan sonra sabitlenmiş, GSA’da ise 220. iterasyondan sonra sabitlenmiş ve $0,063508 pu$ değerine gelmiştir.

Şekil 5.32: Valf Noktası Etkili Kayıplı EGD Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri



Şekil 5.32’de verilen kutu grafiğinde her algoritma için 30 kez yapılan çözüme göre DE, PSO, GSA ve RUN toplam yakıt maliyeti için en iyi değere ulaşılmıştır ve bu algoritmaların kararlı oldukları görülmektedir. GSA’da diğer algoritmalara göre üç adet sapan değer bulmuştur.

5.3.1.3. İletim Hattı Kayıpları Dahil Edilerek AC Yük Akışı Yöntemiyle Çözülmesi (10 Bara)

Bu bölümde dört farklı (*DE*, *PSO*, *GSA* ve *RUN*) algoritmayla modifiye edilmiş 10 baralı test sistemine ait kayıplı olarak ekonomik güç dağıtım problemi AC güç akışı yöntemiyle hem valf noktası etkisiz hem de valf noktası etkili olmak üzere iki farklı şekilde çözülmüştür. Valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek her bir algoritmayla 30’ar kez programlar çalıştırılmıştır. On baralı modifiye edilmiş test sistemine ait iletim hatlarının kayıpları, ikinci bölümde anlatılan Newton Raphson güç akış yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Ekonomik güç dağıtım probleminin kayıplı olarak çözümü için önce Tablo 5.1’deki üretim birimlerine ait değerler, Tablo 5.2’teki aktif ve reaktif yük değerleri, iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametrelerinin verildiği Tablo 5.14’teki değerler kullanılarak valf noktası etkisiz ve sonra Tablo 5.1’deki değerler ve Tablo 5.2’deki aktif ve reaktif yük değerleri, Tablo 5.14’teki iletim hatlarının eşdeğer π

devresine ait parametreleri kullanılarak valf noktası etkili olarak DE algoritması ile iki kez çözülmüştür. On baralı modifiye edilmiş test sisteminde AC yük akışı ile kayıpları hesaplayabilmek için üretim birimlerine ait Tablo 5.15’de verilen başlangıç reaktif güç üretim değerleri kullanılmıştır.

Tablo 5.14: On Baralı Güç Sistemine Ait İletim Hatlarının Eşdeğer II Devresi Parametreleri

Sistemin İletim Hat Bilgileri (pu)				
Baradan	Baraya	R	X	B
1	2	0,06	0,24	0,02
1	3	0,06	0,24	0,02
1	6	0,04	0,16	0,015
1	9	0,01	0,04	0,01
2	3	0,02	0,08	0,03
2	9	0,04	0,16	0,015
3	4	0,06	0,24	0,02
4	7	0,06	0,24	0,02
5	7	0,04	0,16	0,015
5	8	0,06	0,24	0,02
6	10	0,06	0,24	0,02
8	9	0,08	0,32	0,025
8	10	0,04	0,16	0,015

Tablo 5.15: On Baralı Güç Sistemindeki Üretim Birimlerine Ait Başlangıç Reaktif Güç Üretim Değerleri

Termik üretim birimlerinin bağlı olduğu baralar				
i	7	8	9	10
$Q_{GT,i}^{baş} (pu)$	0,2	0,2	0,2	0,2

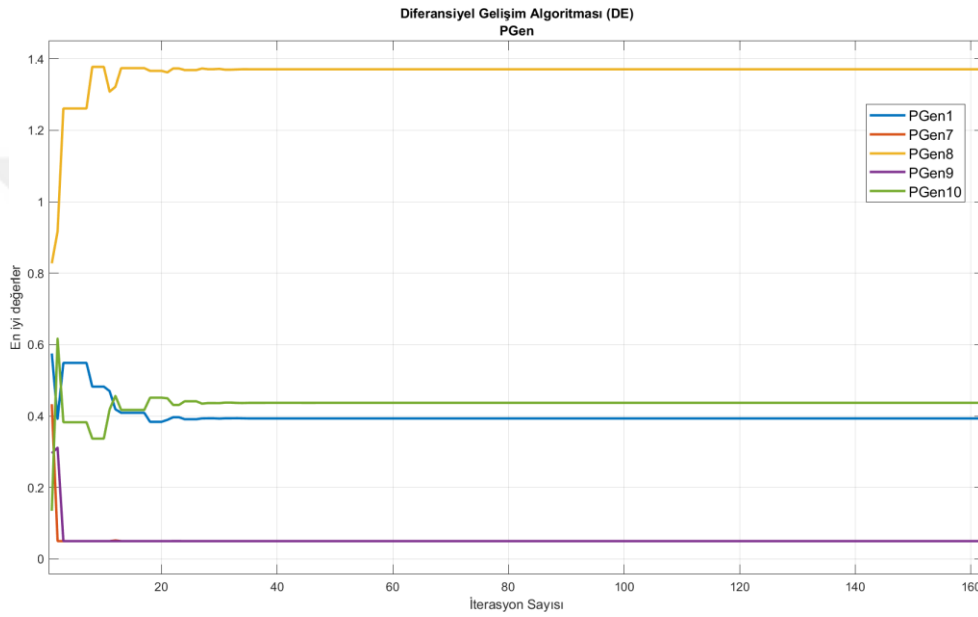
DE algoritmasıyla valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.16’de verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM), pu olarak iletim hatlarında meydana gelen toplam kayıplar $P_{kayıp}$ ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.16: On Baralı Güç Sisteminin DE Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	Valf Noktası Etkisiz	Valf Noktası Etkili
$P_{GT,1(salınım)}$	0,393327	0,138190
$P_{GT,7}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,8}$	1,370913	1,500000
$P_{GT,9}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,10}$	0,437038	0,580940
$TYM (R/h)$	163,931663	164,396807
$P_{kayıp}$	0,051278	0,069130
$Süre (s)$	23,55086	21,8926466

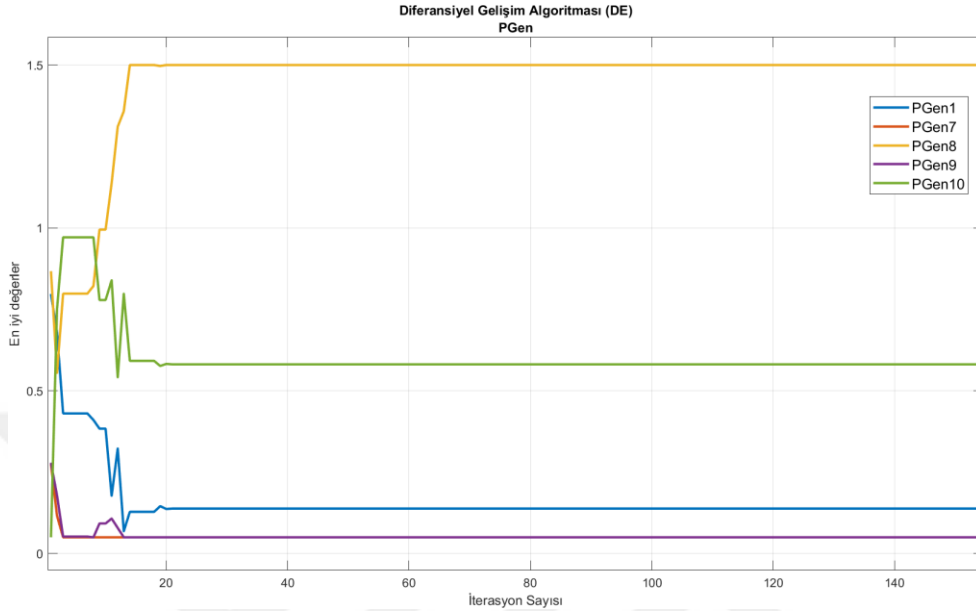
İletim hattı kayıplarının Newton Raphson güç akış yöntemi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek DE algoritmasıyla yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.33 ve 5.34’de verilmiştir.

Şekil 5.33: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.33’te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 27., $P_{GT,7}$ ’nin 2., $P_{GT,8}$ ’in 30., $P_{GT,9}$ ’un 4., $P_{GT,10}$ ’un 27. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 2. iterasyon ile 30. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.34: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.34'te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ 'in 21., $P_{GT,7}$ 'nin 3., $P_{GT,8}$ 'in 19., $P_{GT,9}$ 'un 14., $P_{GT,10}$ 'un 20. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 3. iterasyon ile 20. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

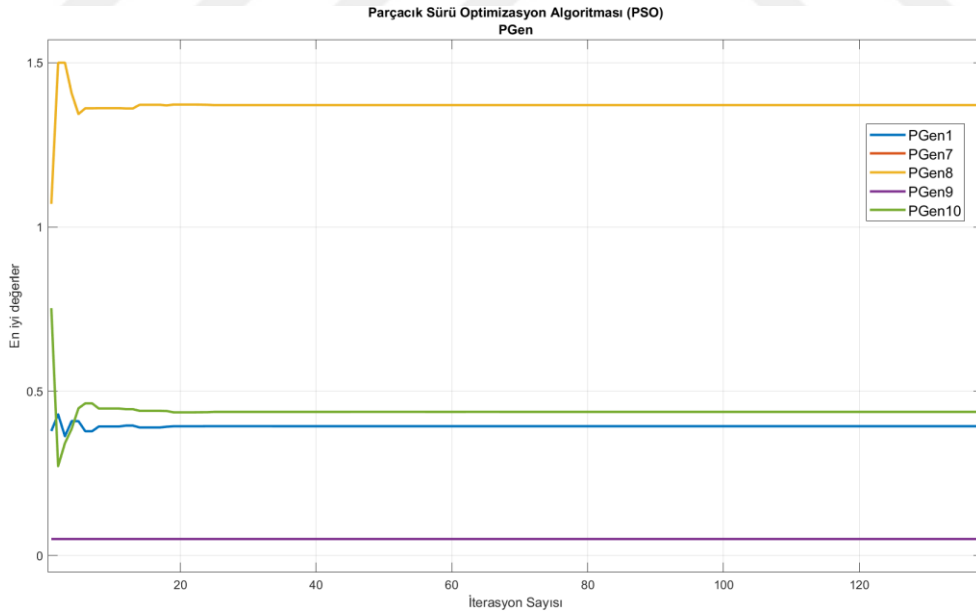
Ekonomik güç dağıtım probleminin kayıplı olarak çözümü için önce Tablo 5.1'deki üretim birimlerine ait değerler, Tablo 5.2'teki aktif ve reaktif yük değerleri, iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametrelerinin verildiği Tablo 5.14'teki değerler kullanılarak valf noktası etkisiz ve sonra Tablo 5.1'deki değerler ve Tablo 5.2'deki aktif ve reaktif yük değerleri, Tablo 5.14'teki iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametreleri kullanılarak valf noktası etkili olarak PSO algoritması ile iki kez çözülmüştür. On baralı modifiye edilmiş test sisteminde AC yük akışı ile kayıpları hesaplayabilmek için üretim birimlerine ait Tablo 5.15'da verilen başlangıç reaktif güç üretim değerleri kullanılmıştır.

Tablo 5.17: On Baralı Güç Sisteminin PSO Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	Valf Noktası Etkisiz	Valf Noktası Etkili
$P_{GT,1(salınım)}$	0,393327	0,138190
$P_{GT,7}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,8}$	1,370913	1,500000
$P_{GT,9}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,10}$	0,437038	0,580940
TYM (R/h)	163,931663	164,396807
Pkayıp	0,051278	0,069130
Süre (s)	23,34362	23,3050249

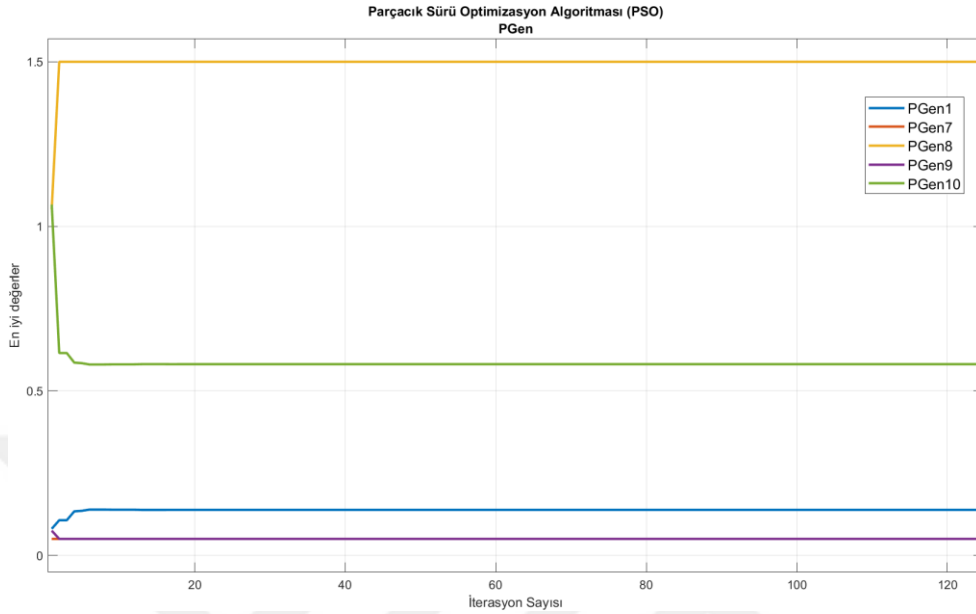
İletim hattı kayıplarının Newton Raphson güç akış yöntemi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek PSO algoritmasıyla yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.35 ve 5.36’da verilmiştir.

Şekil 5.35: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.35’te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 13., $P_{GT,7}$ ’nin 1, $P_{GT,8}$ ’in 15., $P_{GT,9}$ ’un 1., $P_{GT,10}$ ’un 18. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 1. iterasyon ile 18. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.36: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



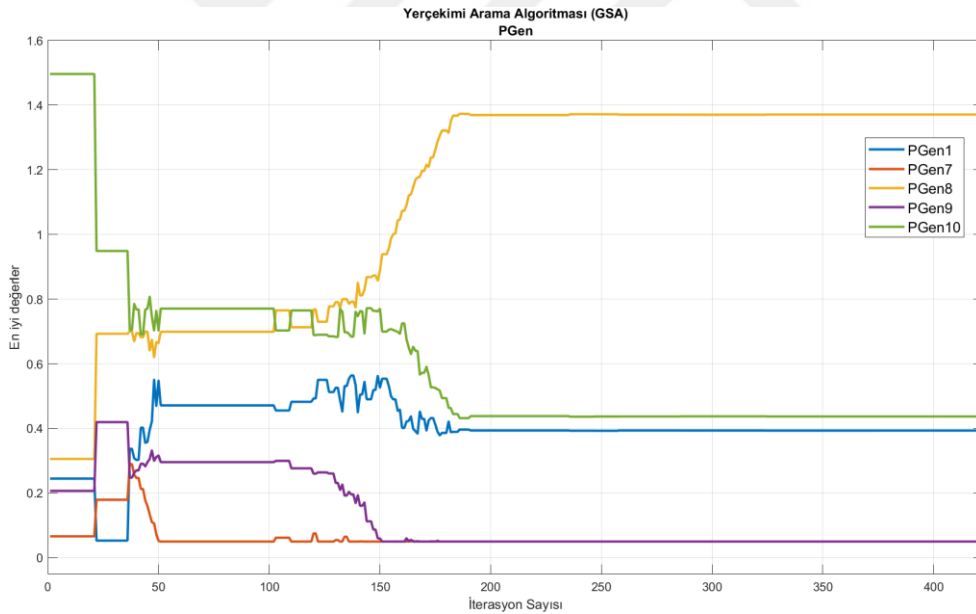
Şekil 5.36’da verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 5., $P_{GT,7}$ ’in 1., $P_{GT,8}$ ’in 2., $P_{GT,9}$ ’un 2., $P_{GT,10}$ ’un 6. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 1. iterasyon ile 6. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Bu bölümde ekonomik güç dağıtım probleminin kayıplı olarak çözümü için önce Tablo 5.1’deki üretim birimlerine ait değerler, Tablo 5.2’teki aktif ve reaktif yük değerleri, iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametrelerinin verildiği Tablo 5.14’teki değerler kullanılarak valf noktası etkisiz ve sonra Tablo 5.1’deki değerler ve Tablo 5.2’deki aktif ve reaktif yük değerleri, Tablo 5.14’teki iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametreleri kullanılarak valf noktası etkili olarak GSA algoritması ile iki kez çözülmüştür. On baralı modifiye edilmiş test sisteminde AC yük akışı ile kayıpları hesaplayabilmek için üretim birimlerine ait Tablo 5.15’da verilen başlangıç reaktif güç üretim değerleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.18’de verilmiştir.

Tablo 5.18: On Baralı Güç Sisteminin GSA İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

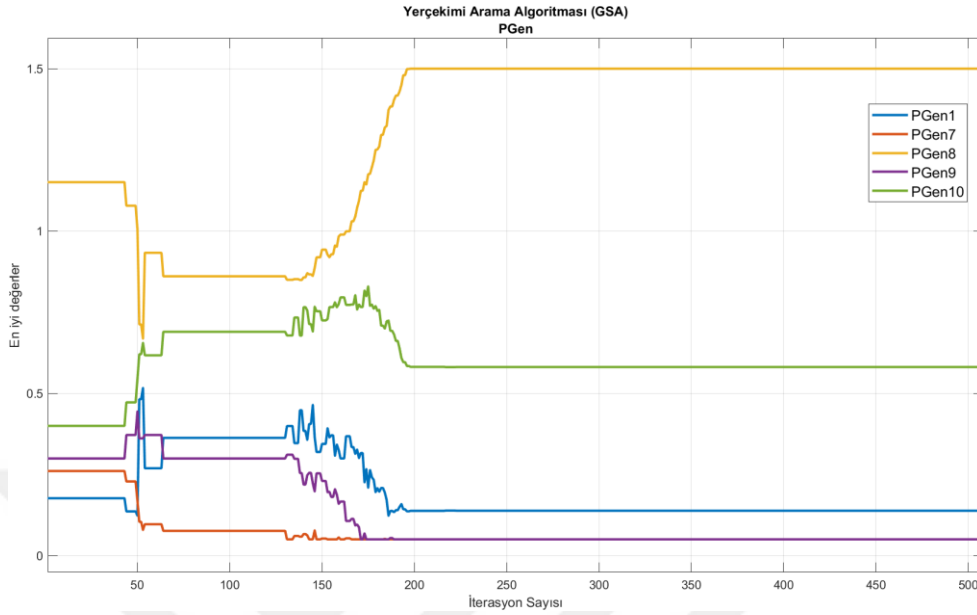
(pu)	Valf Noktası Etkisiz	Valf Noktası Etkili
$P_{GT,1(salınım)}$	0,393327	0,138190
$P_{GT,7}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,8}$	1,370913	1,500000
$P_{GT,9}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,10}$	0,437038	0,580940
$TYM (R/h)$	163,931663	164,396807
$P_{kayıp}$	0,051278	0,069130
$Süre (s)$	25,7916027	25,5629038

İletim hattı kayıplarının Newton Raphson güç akış yöntemi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, yasak işletim bölgeleri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek GSA ile yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.37 ve 5.38’de verilmiştir.

Şekil 5.37: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi

Şekil 5.37’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 191., $P_{GT,7}$ ’in 142., $P_{GT,8}$ ’in 182., $P_{GT,9}$ ’un 170., $P_{GT,10}$ ’un 190. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 142. iterasyon ile 191. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.38: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.38’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 198., $P_{GT,7}$ ’in 175., $P_{GT,8}$ ’in 198., $P_{GT,9}$ ’un 181., $P_{GT,10}$ ’un 199. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 175. iterasyon ile 199. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

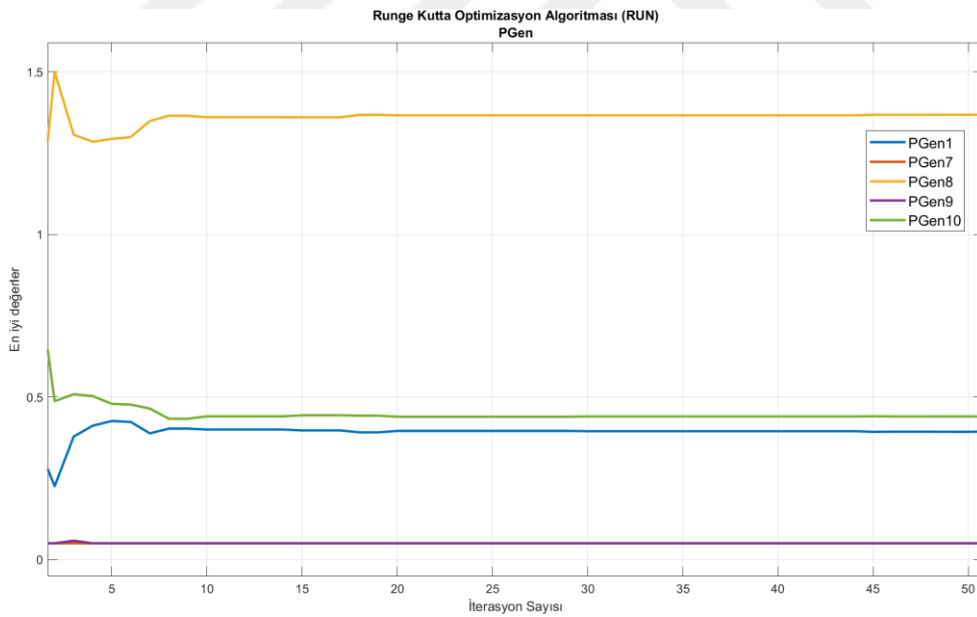
Bu bölümde ekonomik güç dağıtım probleminin kayıplı olarak çözümü için önce Tablo 5.1’deki üretim birimlerine ait değerler, Tablo 5.2’teki aktif ve reaktif yük değerleri, iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametrelerinin verildiği Tablo 5.14’teki değerler kullanılarak valf noktası etkisiz ve sonra Tablo 5.1’deki değerler ve Tablo 5.2’deki aktif ve reaktif yük değerleri, Tablo 5.14’teki iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametreleri kullanılarak valf noktası etkili olarak RUN algoritması ile iki kez çözülmüştür. On baralı modifiye edilmiş test sisteminde AC yük akışı ile kayıpları hesaplayabilmek için üretim birimlerine ait Tablo 5.15’da verilen başlangıç reaktif güç üretim değerleri kullanılmıştır. RUN ile valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.19’da verilmiştir.

Tablo 5.19: On Baralı Güç Sisteminin RUN İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	Valf Noktası Etkisiz	Valf Noktası Etkili
$P_{GT,1(salınım)}$	0,393327	0,138190
$P_{GT,7}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,8}$	1,370913	1,500000
$P_{GT,9}$	0,050000	0,050000
$P_{GT,10}$	0,437038	0,580940
TYM (R/h)	163,931663	164,396807
Pkayıp	0,051278	0,069130
Süre (s)	34,6427914	34,7542335

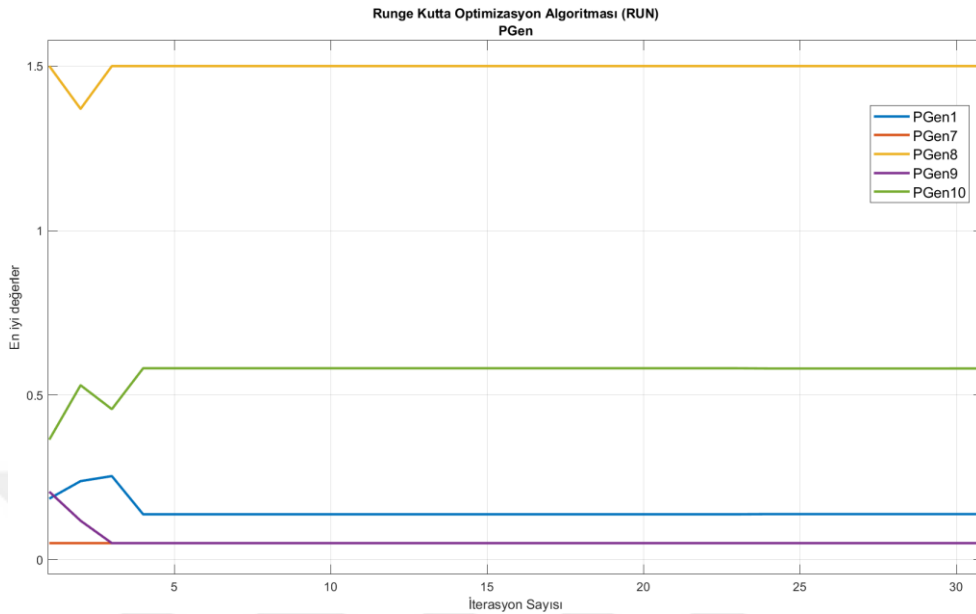
İletim hattı kayıplarının Newton Raphson güç akış yöntemi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, yasak işletim bölgeleri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek RUN ile yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.39 ve 5.40’da verilmiştir.

Şekil 5.39: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.39’da verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 18., $P_{GT,7}$ ’in 4., $P_{GT,8}$ ’in 17., $P_{GT,9}$ ’un 4., $P_{GT,10}$ ’un 14. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 1. iterasyon ile 14. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.40: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.40'ta verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ 'in 4., $P_{GT,7}$ 'in 1., $P_{GT,8}$ 'in 3., $P_{GT,9}$ 'un 3., $P_{GT,10}$ 'un 4. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 1. iterasyon ile 4. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Farklı algoritmalarla (DE, PSO, GSA ve RUN) çözümü yapılan valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek AC güç akışı yöntemiyle kayıplı güç dağıtım problemlerinin çözümlerinden elde edilen toplam yakıt maliyeti değerleri Tablo 5.20'de verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde yasak işletim bölgesiz tüm algoritmaların aynı değere yakınsadığı ve yasak işletim bölgesi ise RUN hariç diğerleri yine aynı değere yakınsamışlardır. Yasak işletim bölgesi 10 baralı modifiye edilmiş test sisteminin RUN ile çözümü $164.435346 R/h$ ile en kötü değere yakınsamıştır.

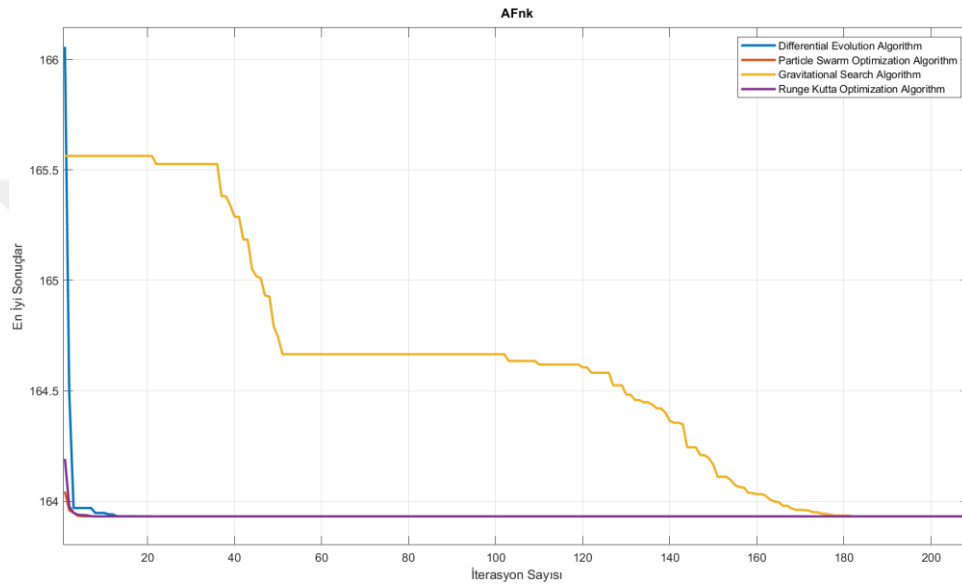
Tablo 5.20: Farklı Algoritmalarla Göre Toplam Yakıt Maliyeti Değerlerinin Karşılaştırılması

Algoritmalar	TYM (R/h)			
	DE	PSO	GSA	RUN
<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	163,931663	163,931663	163,931663	163,931663
<i>Valf Noktası Etkili</i>	164,396807	164,396807	164,396807	164,396807

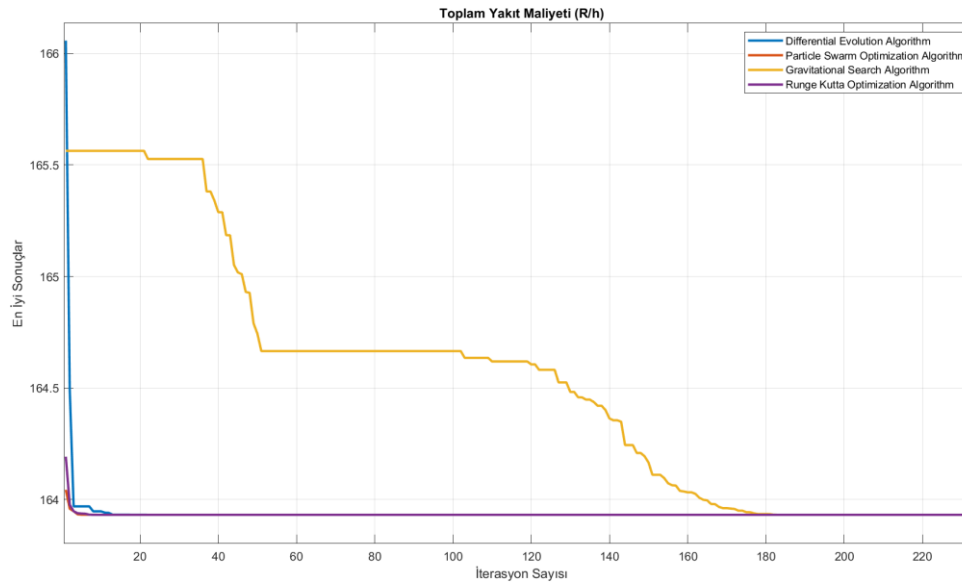
Valf noktası etkisiz kayıplı ekonomik güç dağıtım probleminin dört farklı algoritma ile AC güç akışı yöntemi kullanılarak bulunan çözümündeki eşitlik (5.11)'den

hesaplanan amaç fonksiyonlarının (AF_{nk}) iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.41’de, toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.42’de, iletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.43’te ve toplam yakıt maliyetinin kutu grafikleri ise Şekil 5.44’te verilmiştir.

Şekil 5.41: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Amaç Fonksiyonlarının (AF_{nk}) İterasyonlara Göre Değişimi

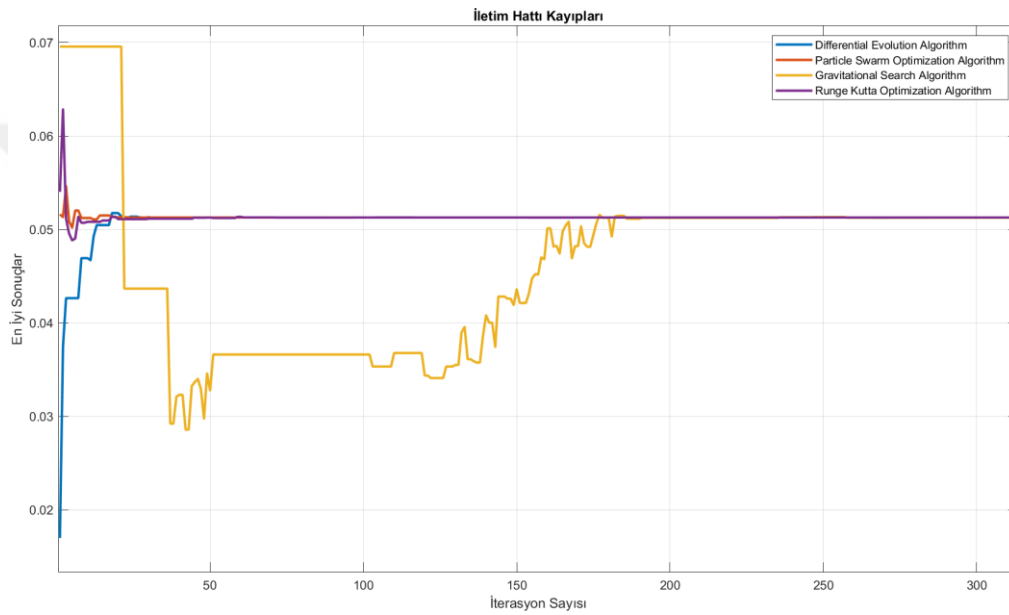


Şekil 5.42: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi



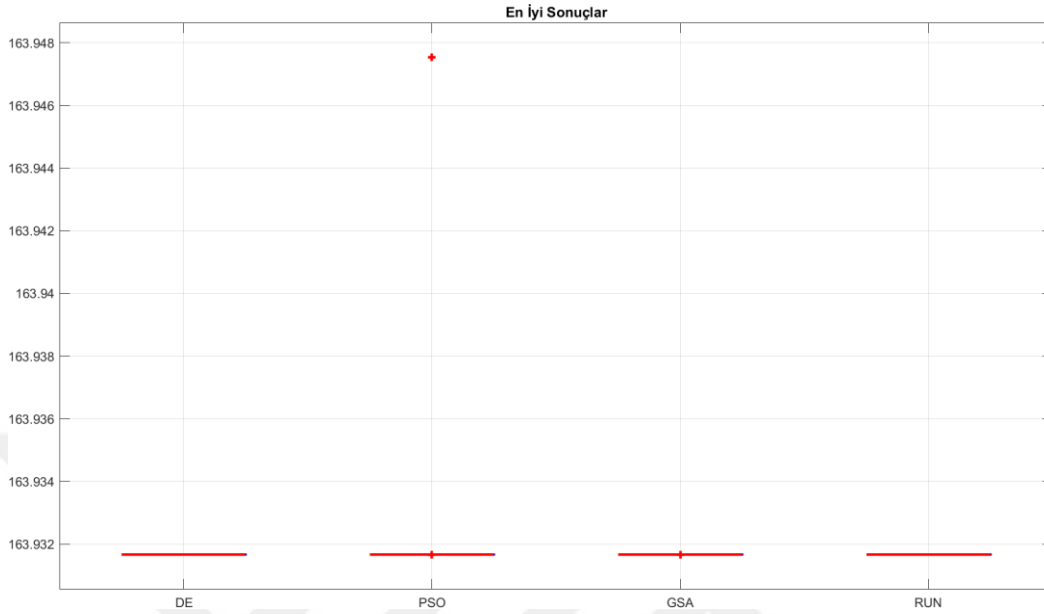
Şekil 5.41 de bulunan amaç fonksiyonu ve şekil 5.42.de bulunan yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişim grafikleri cezaların sıfıra gitmesi nedeniyle birbirine eşittir. Buna göre grafiklere göre DE 13. iterasyonda, PSO 7.iterasyonda, GSA 177. iterasyonda, RUN 8. iterasyonda 163.931663 R/h yakıt maliyeti değerine ulaştıkları görülmektedir. Bu durumda tüm algoritmalar en iyi sonucu bulmuştur.

Şekil 5.43: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.43'te tüm algoritmaların iletim hattının kayıpları verilmiştir. Bu grafiğe göre DE algoritması 62. iterasyonda, PSO algoritması 61. İterasyonda, GSA 182. İterasyonda, RUN'da ise 58. iterasyondan sonra sabitlenmiş ve 0,051278 pu değerine gelmiştir.

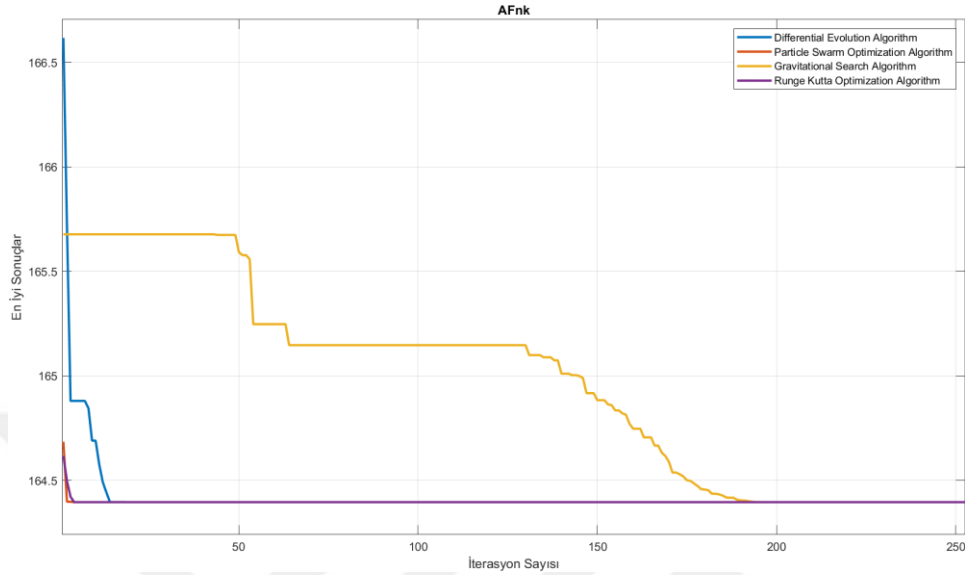
Şekil 5.44: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümünden Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri



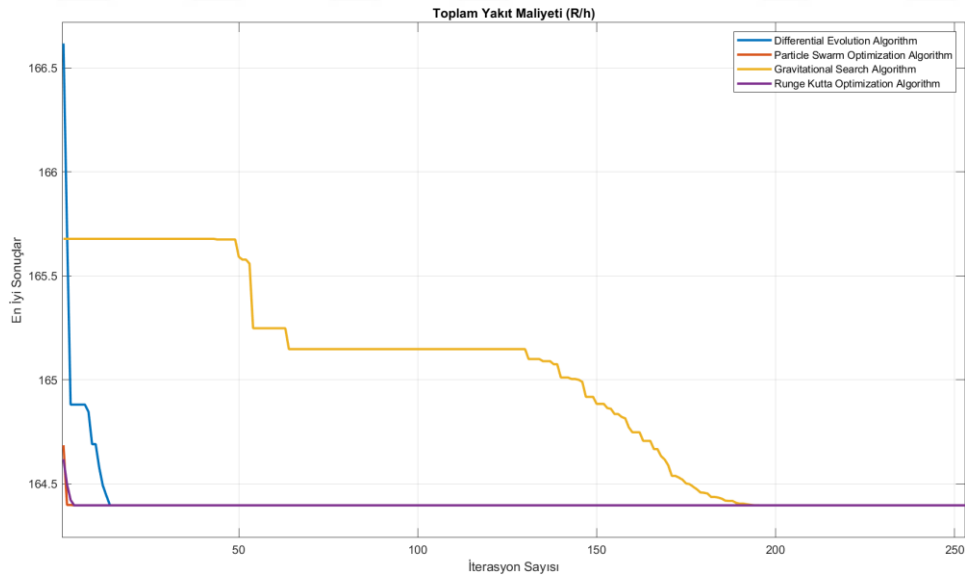
Şekil 5.44'te verilen kutu grafiğinde her algoritma için 30 kez yapılan çözüme göre DE, PSO, GSA ve RUN'da toplam yakıt maliyeti en iyi değere ulaşılmıştır ve bu algoritmaların kararlı oldukları görülmektedir. Sonuçlara bakıldığında PSO'nun diğer üç algoritmaya göre bir adet sapan değer olduğu görülmektedir.

Valf noktası etkili kayıplı ekonomik güç dağıtım probleminin dört farklı algoritma ile AC güç akışı yöntemi kullanılarak bulunan çözümündeki eşitlik (5.11)'den hesaplanan amaç fonksiyonlarının (AF_{nk}) iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.45'te, toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.46'da, iletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.47'de ve toplam yakıt maliyetinin kutu grafikleri ise Şekil 5.48'de verilmiştir.

Şekil 5.45: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Amaç Fonksiyonlarının (Af_{nk}) İterasyonlara Göre Değişimi

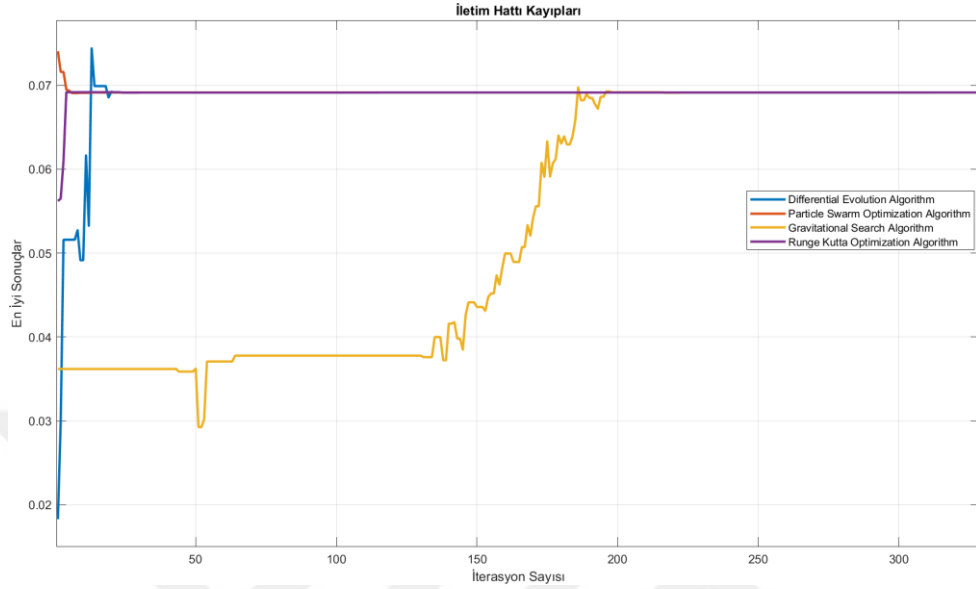


Şekil 5.46: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi



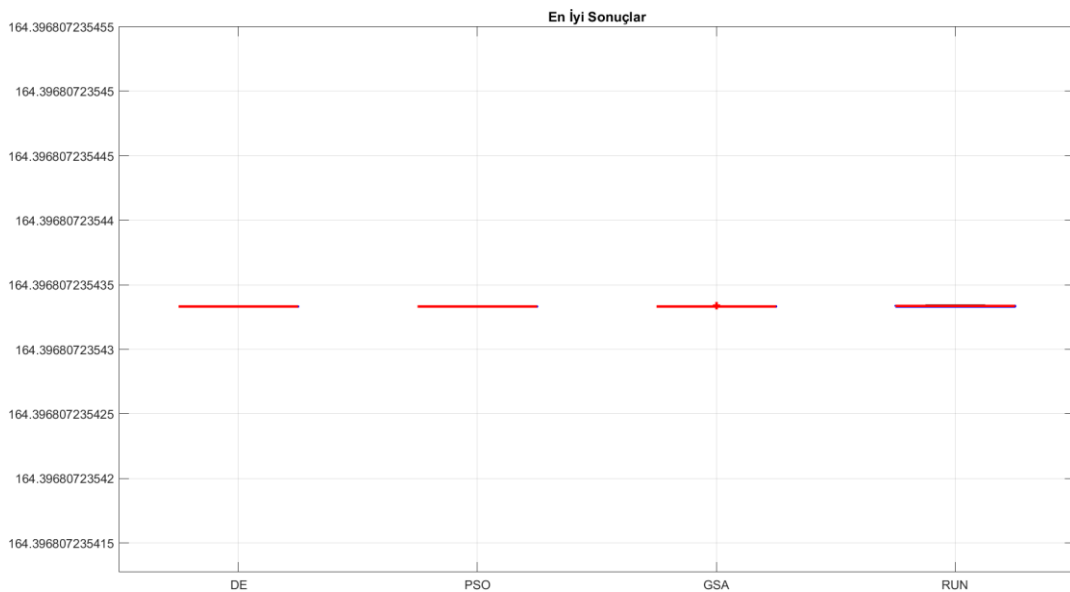
Şekil 5.45'te bulunan amaç fonksiyonu ve şekil 5.46'da bulunan yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişim grafikleri birbirine eşittir. Buna göre grafiklere göre DE 8. iterasyonda, PSO 2.iterasyonda, GSA 192. iterasyonda, RUN 3. iterasyonda 164.396807 R/h yakıt maliyeti değerine ulaştıkları görülmektedir. Bu durumda tüm algoritmalar en iyi sonucu bulmuştur.

Şekil 5.47: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.47’de tüm algoritmaların iletim hattının kayıpları verilmiştir. Bu grafiğe göre DE algoritması 22. iterasyonda, PSO algoritması 7. iterasyonda ve GSA 193. İterasyonda, RUN ise 7. iterasyondan sonra sabitlenmiş ve 0.069130 *pu* değerine gelmiştir.

Şekil 5.48: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri

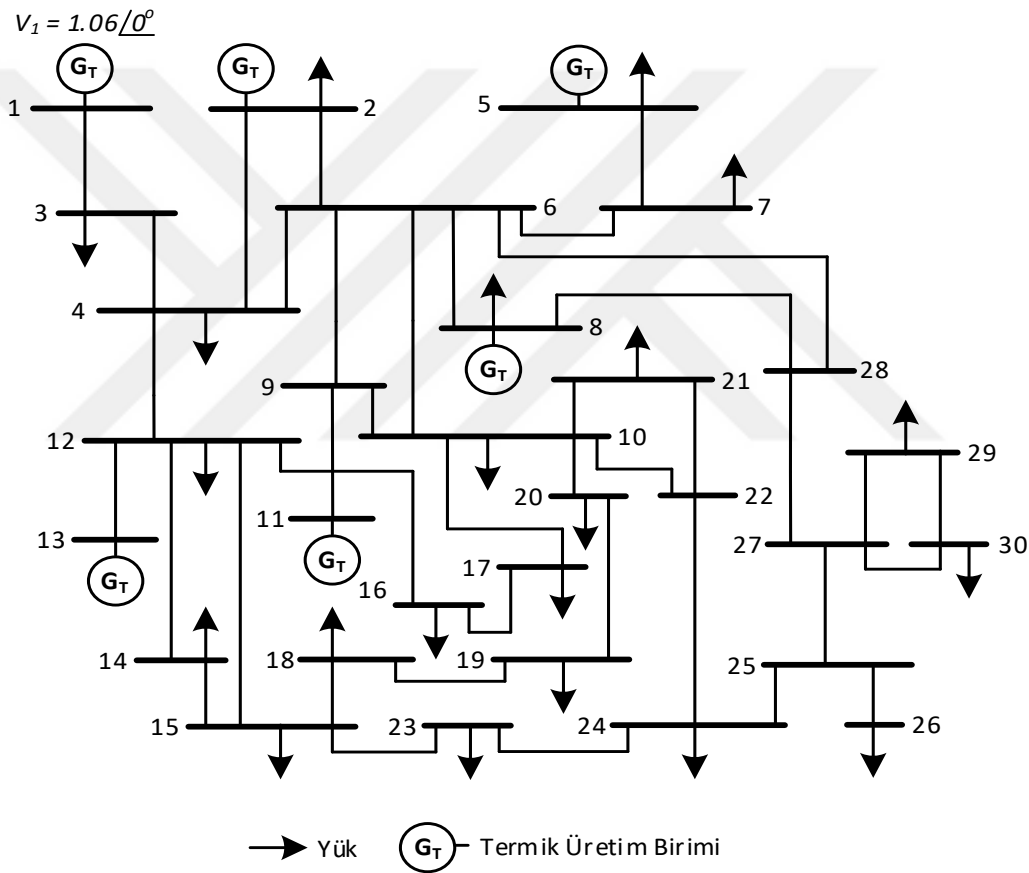


Şekil 5.48’de verilen kutu grafiğinde her algoritma için 30 kez yapılan çözüme göre DE, PSO, GSA ve RUN toplam yakıt maliyeti en iyi değere ulaşmıştır ve bu algoritmaların kararlı oldukları görülmektedir.

5.3.2. Otuz Baralı Örnek Güç Sisteminin Çözümü

Bu bölümde modifiye edilmiş otuz baralı örnek test sistemine ait tek hat şeması Şekil 5.49’da ve sistemin özelliklerine ait değerler aşağıda sırasıyla tablolar halinde verilmiştir.

Şekil 5.49: Otuz Baralı Modifiye Edilmiş Sisteme Ait Tek Hat Şeması



Şekildeki modifiye edilmiş test sistemi otuz baralı olup 1, 2, 5, 8, 11 ve 13 nolu baralara termik üretim birimleri bağlıdır. Tek hat şemasında belirtilen 1 nolu bara salınım barası olup gerilimi $1,06\angle 0^\circ$ pu’dur. Sistemde baz değerler $S_{baz}=100$ MVA, $U_{baz}=230$ kV olarak alınmıştır. Bu modifiye edilmiş test sistemine ait konveks olmayan yakıt maliyetine ait fonksiyon katsayıları ve generatör çıkış gücü değerleri Tablo 5.21’de ve test sistemine ait aktif ve reaktif yük değerleri Tablo 5.22’de verilmiştir.

Tablo 5.21: Yakıt Maliyeti Fonksiyon Katsayıları, Rampa Oranı Sınır Değerleri ve Generatör Çıkış Gücü Sınır Değerleri

Bara No	a	b	c	d	e	P_{min} (MW)	P_{max} (MW)
1	10	200	100	6,283	10	5	150
2	10	150	120	8,976	20	5	150
5	20	180	40	14,784	20	5	150
8	10	100	60	20,944	10	5	150
11	20	180	40	25,133	20	5	150
13	10	150	100	18,48	10	5	150

Tablo 5.22: Otuz Baralı Güç Sistemine Ait Aktif ve Reaktif Yük Değerleri

Bara No	Yük		Bara No	Yük	
	$P_{yük}$	$Q_{yük}$		$P_{yük}$	$Q_{yük}$
1	-	-	16	0,035	0,018
2	0,217	0,127	17	0,09	0,058
3	0,024	0,012	18	0,032	0,009
4	0,076	0,016	19	0,095	0,034
5	0,942	0,19	20	0,022	0,007
7	0,228	0,109	21	0,175	0,112
8	0,3	0,3	23	0,032	0,016
10	0,058	0,02	24	0,087	0,067
12	0,112	0,075	26	0,035	0,023
14	0,062	0,016	29	0,024	0,009
15	0,082	0,025	30	0,106	0,019
Toplam Yük (pu)				2,834	1,262

Bu bölümde modifiye edilmiş otuz baralı örnek test sisteminin çözümü kayıpsız ve kayıplı olarak iki alt başlıklar halinde verilmiştir.

5.3.2.1. İletim Hattı Kayıpları İhmal Edilerek (Kayıpsız- 30 Bara)

Bu bölümde dört farklı (*DE*, *PSO*, *GSA* ve *RUN*) algoritmayla modifiye edilmiş 30 baralı test sistemine ait kayıpsız olarak ekonomik güç dağıtım problemi hem valf noktası etkisiz hem de valf noktası etkili olmak üzere iki farklı şekilde çözülmüştür. Valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek her bir algoritmayla 30'ar kez programlar çalıştırılmıştır.

Ekonomik güç dağıtım probleminin kayıpsız olarak çözümü için önce Tablo 5.21'deki üretim birimlerine ait değerler ile Tablo 5.22'deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.21'deki değerler ve Tablo 5.22'deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkili olarak DE algoritması ile iki kez çözülmüştür. DE algoritmasıyla valf nokta etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.23'de verilmiştir. Tabloda *i*. termik

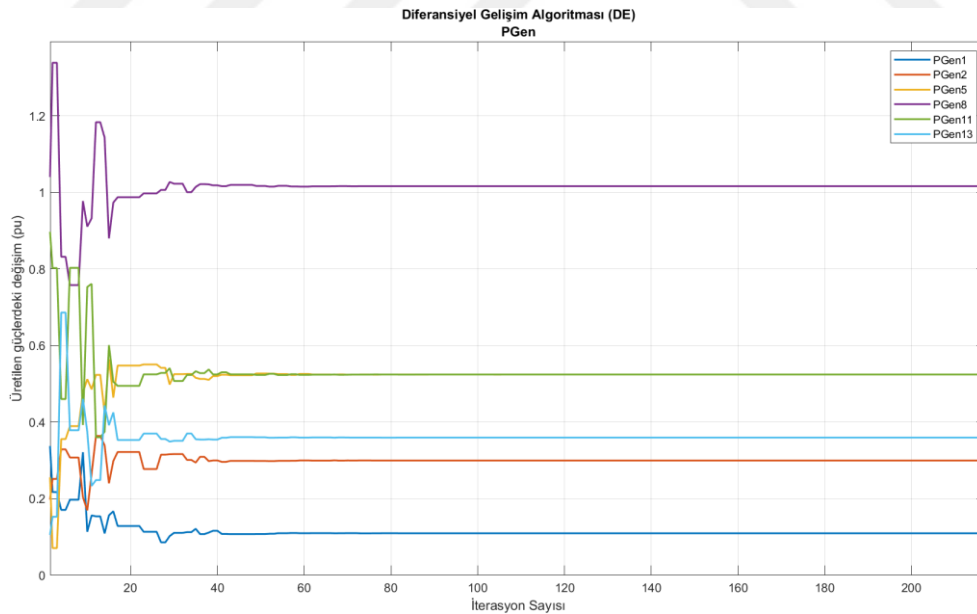
üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM) ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.23: Otuz Baralı Güç Sisteminin DE Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
$P_{GT,1(salınım)}$	0,109719	0,050000
$P_{GT,2}$	0,299766	0,394008
$P_{GT,5}$	0,524298	0,474999
$P_{GT,8}$	1,016199	1,099998
$P_{GT,11}$	0,524298	0,424996
$P_{GT,13}$	0,359719	0,389999
$TYM (R/h)$	600,111408	603,076008
$Süre (s)$	1,62666903	1,63019751

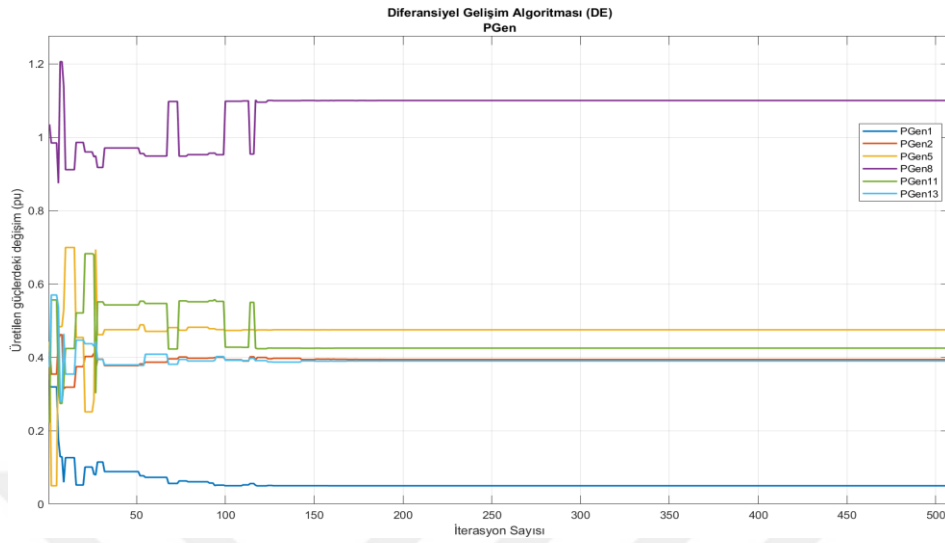
Problemin valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek DE algoritması ile yapılan çözümlerdeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.50 ve 5.51’de verilmiştir.

Şekil 5.50: Valf Noktası Etkisiz DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.50’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 40., $P_{GT,2}$ ’nin 44., $P_{GT,5}$ ’in 53., $P_{GT,8}$ ’in 53., $P_{GT,11}$ ’in 52., $P_{GT,13}$ ’ün 60. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 40. iterasyon ile 60. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.51: Valf Noktası Etkili DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.51’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 123., $P_{GT,2}$ ’nin 159., $P_{GT,5}$ ’in 128., $P_{GT,8}$ ’in 130., $P_{GT,11}$ ’in 124., $P_{GT,13}$ ’ün 159. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 123. iterasyon ile 159. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

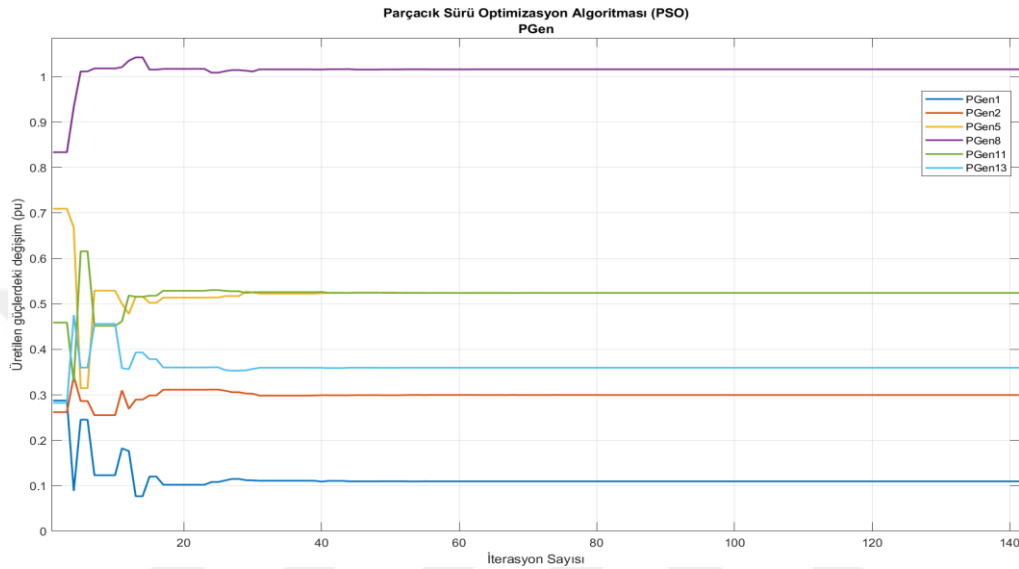
Bu bölümde ekonomik güç dağıtım probleminin kayıpsız olarak çözümü için önce Tablo 5.21’deki üretim birimlerine ait değerler ile Tablo 5.22’deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.21’deki değerler ve Tablo 5.22’deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkili olarak PSO algoritması ile iki kez çözülmüştür. PSO algoritmasıyla valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.24’de verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM) ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.24: Otuz Baralı Güç Sisteminin PSO Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	Valf Noktası Etkisiz	Valf Noktası Etkili
$P_{GT,1(salınım)}$	0,109719	0,069010
$P_{GT,2}$	0,299766	0,399999
$P_{GT,5}$	0,524298	0,474999
$P_{GT,8}$	1,016199	0,949998
$P_{GT,11}$	0,524298	0,549995
$P_{GT,13}$	0,359719	0,389999
$TYM (R/h)$	600,111408	603,748333
$Süre (s)$	1,81538981	1,80993112

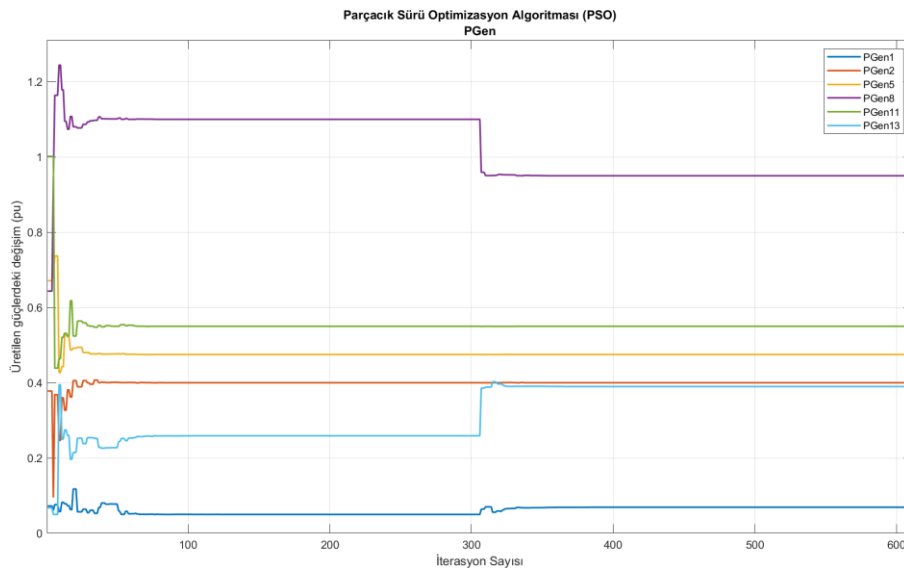
Problemin valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek PSO algoritması ile yapılan çözümlerdeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.52 ve 5.53'te verilmiştir.

Şekil 5.52: Valf Noktası Etkisiz PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.52’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 31., $P_{GT,2}$ ’nin 31., $P_{GT,5}$ ’in 41., $P_{GT,8}$ ’in 45., $P_{GT,11}$ ’in 41., $P_{GT,13}$ ’ün 31. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 31. iterasyon ile 45. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.53: Valf Noktası Etkili PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.53'te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ 'in 337., $P_{GT,2}$ 'nin 71., $P_{GT,5}$ 'in 59., $P_{GT,8}$ 'in 341., $P_{GT,11}$ 'in 66., $P_{GT,13}$ 'ün 325. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 59. iterasyon ile 341. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

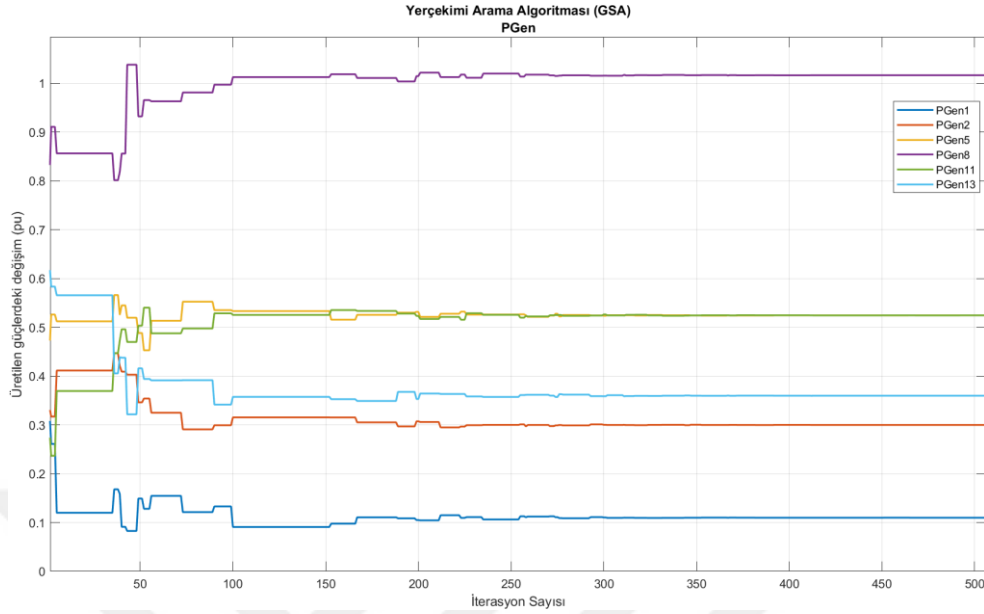
Bu bölümde ekonomik güç dağıtım probleminin kayıpsız olarak çözümü için önce Tablo 5.21'deki üretim birimlerine ait değerler ile Tablo 5.22'deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.21'deki değerler ve Tablo 5.22'deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkili olarak GSA algoritması ile iki kez çözülmüştür. GSA algoritmasıyla valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.25'de verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM) ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.25: Otuz Baralı Güç Sisteminin GSA İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
$P_{GT,1(salınım)}$	0,109719	0,069009
$P_{GT,2}$	0,299766	0,400000
$P_{GT,5}$	0,524298	0,474999
$P_{GT,8}$	1,016199	0,949998
$P_{GT,11}$	0,524298	0,549995
$P_{GT,13}$	0,359719	0,389999
$TYM (R/h)$	600,111408	603,748365
$Süre (s)$	4,55803445	4,52810469

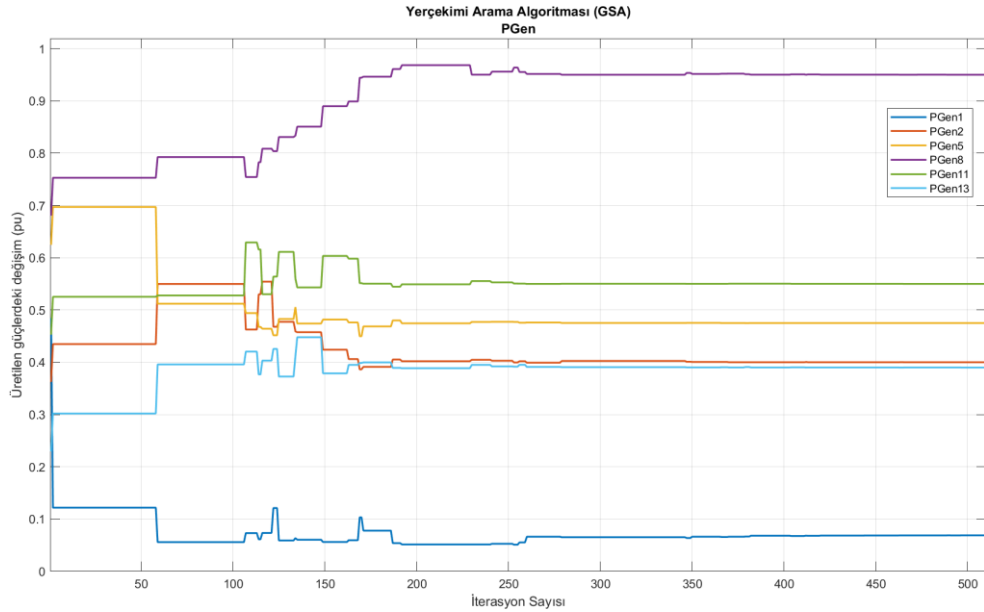
Problemin valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek GSA ile yapılan çözümlerdeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil 5.54 ve 5.55'te verilmiştir.

Şekil 5.54: Valf Noktası Etkisiz GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.54'te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ 'in 331., $P_{GT,2}$ 'nin 349., $P_{GT,5}$ 'in 327., $P_{GT,8}$ 'in 345., $P_{GT,11}$ 'in 327., $P_{GT,13}$ 'ün 313. iterasyon sayısında en optimum değeri bulduğu görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 313. iterasyon ile 349. iterasyonlar arasında bulunmuştur.

Şekil 5.55: Valf Noktası Etkili GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.55'te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ 'in 388., $P_{GT,2}$ 'nin 351., $P_{GT,1}$ 'in 282., $P_{GT,8}$ 'in 384., $P_{GT,11}$ 'in 257., $P_{GT,13}$ 'ün 262. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 257. iterasyon ile 388. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

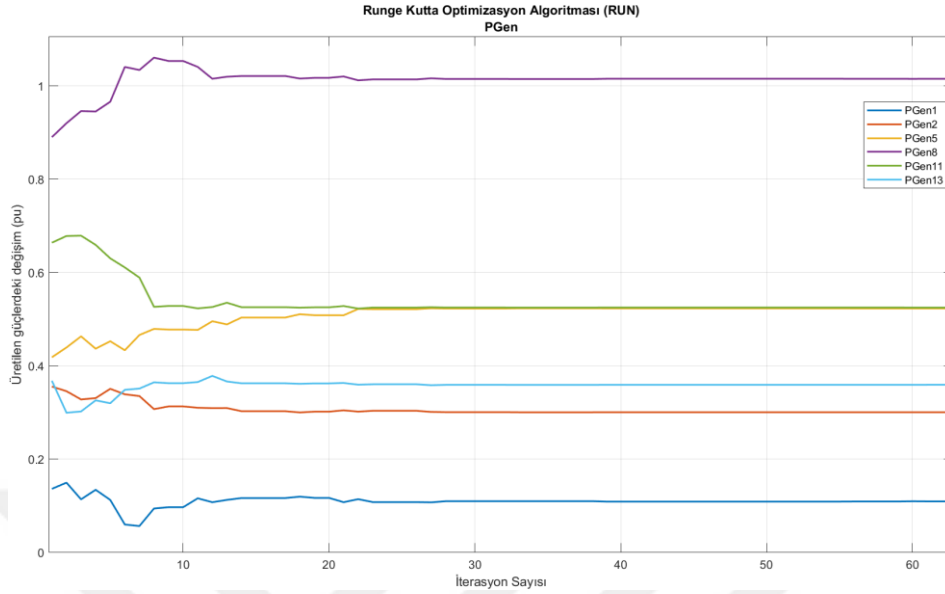
Bu bölümde ekonomik güç dağıtım probleminin kayıpsız olarak çözümü için önce Tablo 5.21'deki üretim birimlerine ait değerler ile Tablo 5.22'deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.21'deki değerler ve Tablo 5.22'deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkili olarak RUN algoritması ile iki kez çözülmüştür. RUN algoritmasıyla valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.26'da verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM) ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.26: Otuz Baralı Güç Sisteminin RUN İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
$P_{GT,1(salınım)}$	0,109719	0,069010
$P_{GT,2}$	0,299766	0,399999
$P_{GT,5}$	0,524298	0,474999
$P_{GT,8}$	1,016199	0,949998
$P_{GT,11}$	0,524298	0,549995
$P_{GT,13}$	0,359719	0,389999
$TYM (R/h)$	600,111408	603,748334
$Süre (s)$	2,88681596	2,96265581

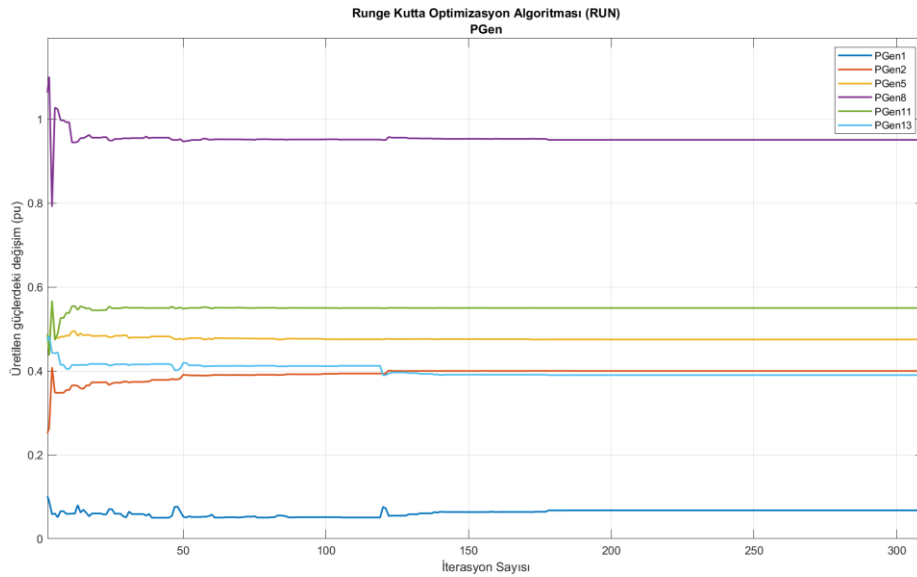
Problemin valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek RUN ile yapılan çözümlerdeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil 5.56 ve 5.57'de verilmiştir.

Şekil 5.56: Valf Noktası Etkisiz RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.56’da verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 28., $P_{GT,2}$ ’nin 28., $P_{GT,5}$ ’in 27., $P_{GT,8}$ ’in 28., $P_{GT,11}$ ’in 27., $P_{GT,13}$ ’ün 28. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 27. iterasyon ile 28. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.57: Valf Noktası Etkili RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birilerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.57’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 180., $P_{GT,2}$ ’nin 122., $P_{GT,5}$ ’in 88., $P_{GT,8}$ ’in 180., $P_{GT,11}$ ’in 62., $P_{GT,13}$ ’ün 145. iterasyonda optimal değeri

yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 62. iterasyon ile 180. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

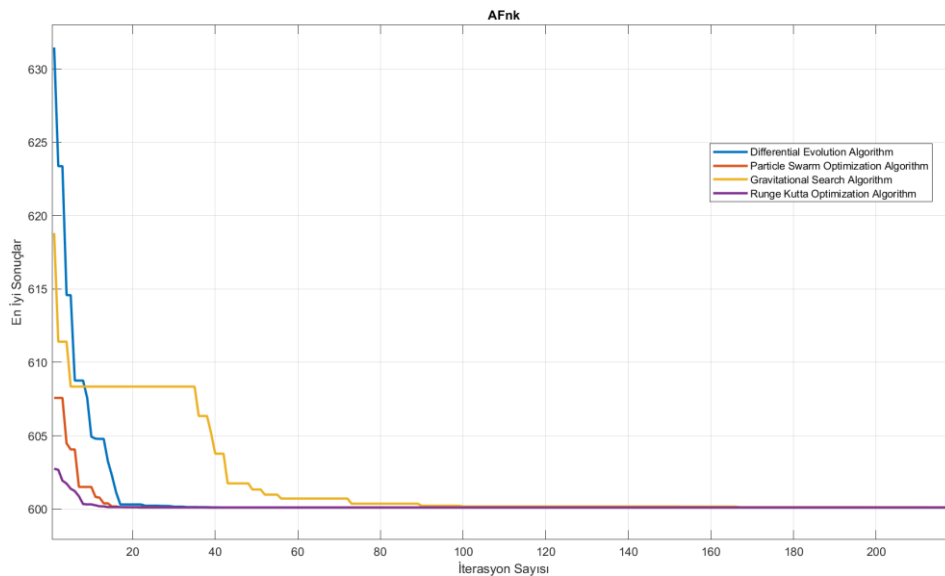
Farklı algoritmalarla (DE, PSO, GSA ve RUN) çözümü yapılan valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek kayıpsız güç dağıtım problemlerinin çözümlerinden elde edilen toplam yakıt maliyeti değerleri Tablo 5.27’de verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde valf noktası etkisizde tüm algoritmaların aynı değere yakınsadığı ve valf noktası etkilide ise en iyi değere sırasıyla DE, PSO, RUN ve GSA algoritması şeklinde sıralanmıştır. Test sisteminin RUN ile valf noktası etkisizde çözümü 600.111408 R/h ile en iyi çözüme ve valf noktası etkilide ise 603.748334 R/h değeri ile üçüncü en iyi değere yakınsamıştır.

Tablo 5.27: Farklı Algoritmalarla Göre Toplam Yakıt Maliyeti Değerlerinin Karşılaştırılması

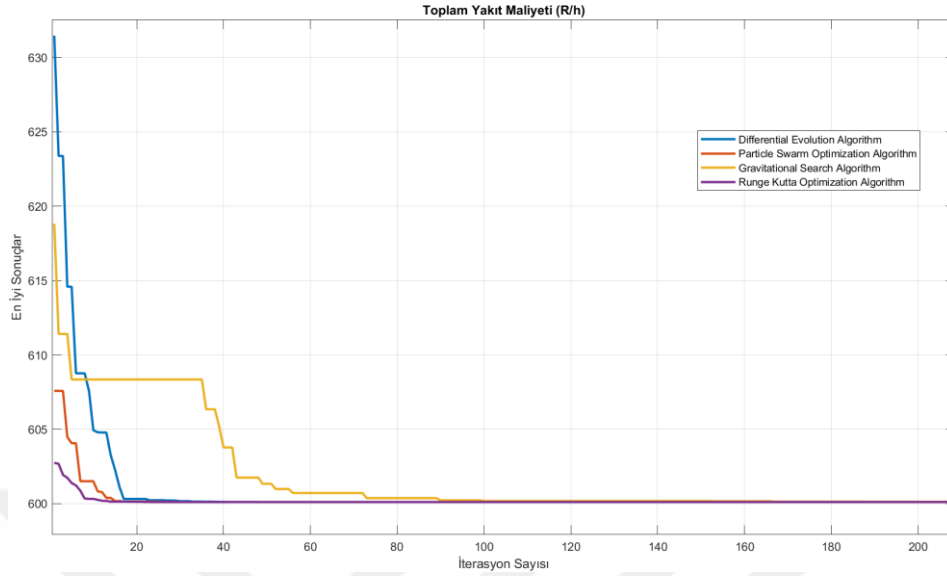
<i>Algoritmalar</i>	<i>TYM (R/h)</i>			
	<i>DE</i>	<i>PSO</i>	<i>GSA</i>	<i>RUN</i>
<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	600,111408	600,111408	600,111408	600,111408
<i>Valf Noktası Etkili</i>	603,076008	603,748333	603,748365	603,748334

Valf noktası etkisizde ve kayıpsız ekonomik güç dağıtım probleminin dört farklı algoritma ile çözümünden eşitlik (5.11)’den hesaplanan amaç fonksiyonlarının ($AFnk$) iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.58’de, toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.59’da ve toplam yakıt maliyetinin kutu grafikleri ise Şekil 5.60’ta verilmiştir.

Şekil 5.58: Valf Noktası Etkisiz Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünde Amaç Fonksiyonlarının ($AFnk$) İterasyonlara Göre Değişimi

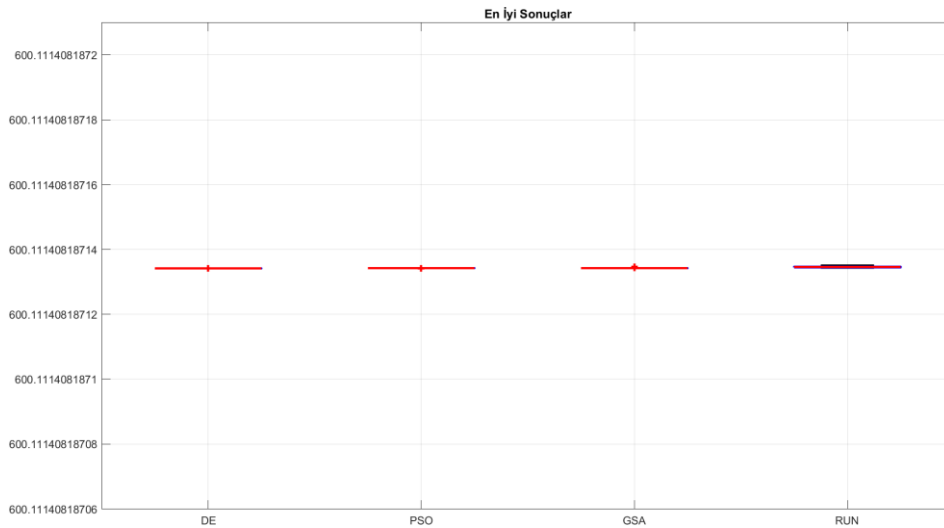


Şekil 5.59: Valf Noktası Etkisiz Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.58 te bulunan amaç fonksiyonu ve şekil 5.59’da bulunan yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişim grafikleri cezalar sıfıra gittiği için birbirine eşittir. Buna göre grafiklere göre DE 34. ve PSO 15., GSA 100., RUN ise 15. iterasyonda toplam yakıt maliyetinin en iyi değerine ulaştıkları görülmektedir.

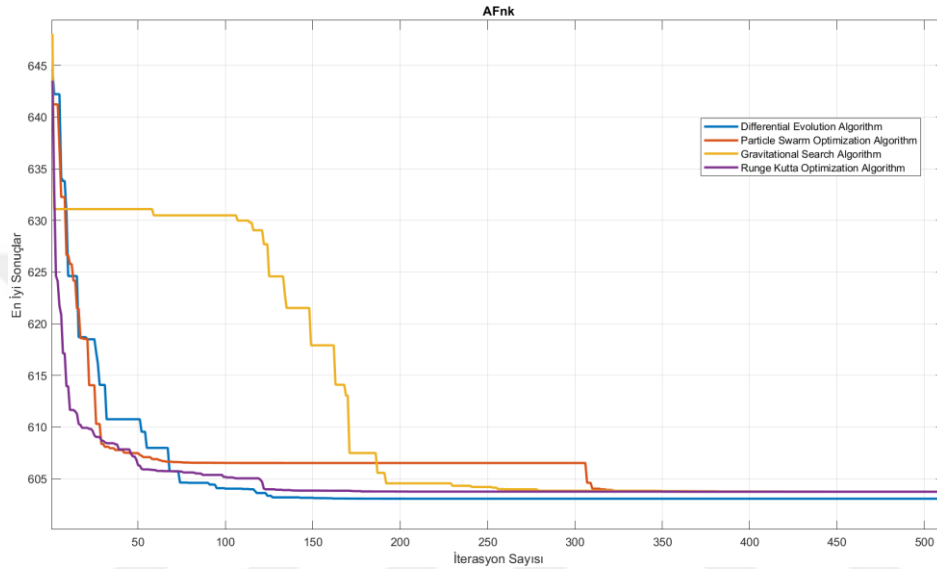
Şekil 5.60: Valf Noktası Etkisiz Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünden Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri



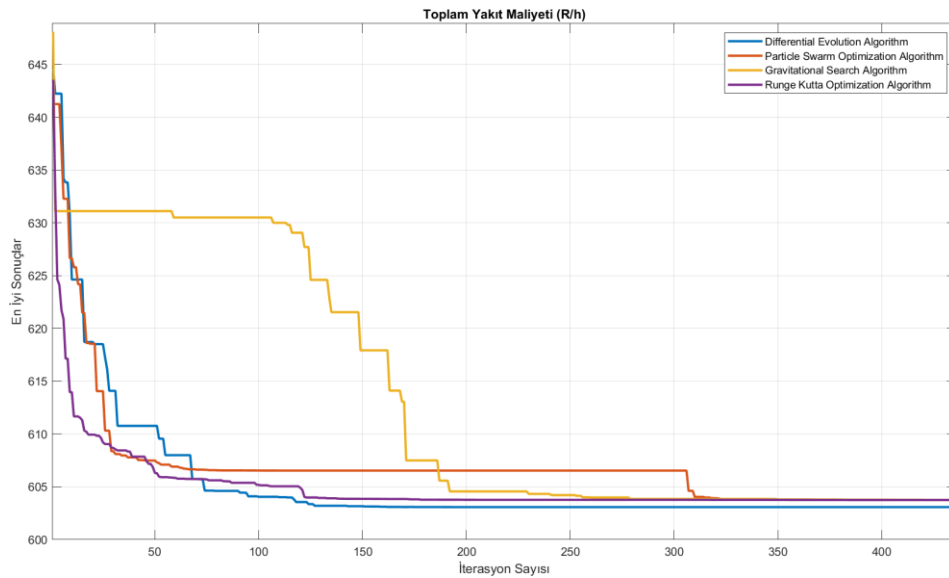
Şekil 5.60’da verilen kutu grafiğinde her algoritma için 30 kez yapılan çözüme göre DE, PSO, GSA ve RUN’da toplam yakıt maliyeti en iyi değere ulaşılmıştır ve bu algoritmaların kararlı oldukları görülmektedir. RUN ise toplam yakıt maliyetinde diğer algoritmalara göre az bir kararsızlık bulunmaktadır.

Valf noktası etkili ekonomik güç dağıtım probleminin dört farklı algoritma ile çözümünden eşitlik (5.11)'den hesaplanan amaç fonksiyonlarının (*AFnk*) iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.61'de, toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.62'de ve toplam yakıt maliyetinin kutu grafikleri ise Şekil 5.63'te verilmiştir.

Şekil 5.61: Valf Noktası Etkili Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümündeki Amaç Fonksiyonlarının (*AFnk*) İterasyonlara Göre Değişimi



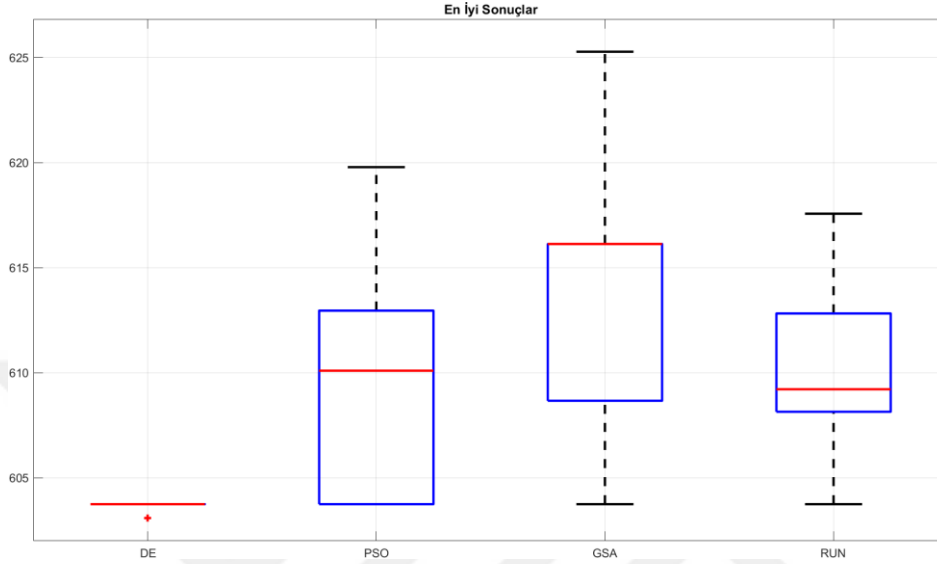
Şekil 5.62: Valf Noktası Etkili Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümündeki Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.62 de bulunan amaç fonksiyonu ve şekil 5.58'de bulunan yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişim grafikleri cezalar sıfıra gittiği için birbirine eşittir. Buna göre

grafiklere göre DE 156., PSO 321., GSA 321. ve RUN ise 140. iterasyonda toplam yakıt maliyetinin en iyi değerine ulaştıkları görülmektedir.

Şekil 5.63: Valf Noktası Etkili Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle Çözümünden Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri



Şekil 5.63'te verilen kutu grafiğinde her algoritma için 30 kez yapılan çözüme göre DE en iyi yakıt maliyetine PSO, GSA ve RUN algoritmaları ise toplam yakıt maliyetinde en iyi değere yakın değerlere ulaşmışlardır. PSO ve RUN algoritmaların GSA'ya göre daha kararlı oldukları fakat DE'ye göre daha kararsız olduğu görülmektedir. GSA ise toplam yakıt maliyetinde kötü sonuç bulmuştur ve diğer algoritmalara göre daha kararsızdır.

5.3.2.2. İletim Hattı Kayıpları Dahil Edilerek B Kayıp Matrisi Yöntemiyle Çözülmesi (30 Bar)

Bu bölümde dört farklı (*DE*, *PSO*, *GSA* ve *RUN*) algoritmayla eşitlik (5.14) kullanılarak kayıpların (B kayıp matrisli) hesaplandığı modifiye edilmiş 30 baralı test sistemine ait kayıplı ekonomik güç dağıtım problemi hem valf noktası etkisiz hem de valf noktası etkili olmak üzere iki farklı şekilde çözülmüştür. Valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek her bir algoritmayla 30'ar kez programlar çalıştırılmıştır.

Ekonomik güç dağıtım probleminin kayıpsız olarak çözümü için önce Tablo 5.21'deki üretim birimlerine ait değerler ile Tablo 5.22'deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.21'deki değerler ve Tablo 5.22'deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkili olarak DE algoritması ile iki kez

çözülmüştür. Otuz baralı modifiye edilmiş test sisteminin iletim hatları ait B kayıp matrisi değerleri Tablo 5.28’de verilmiş olup eşitlik (5.13)’ten kayıpların hesaplanabilmesi için bu değerler kullanılmıştır. DE algoritmasıyla valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.29’da verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM) ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.28: Otuz Baralı Test Sistemine Ait B Kayıp Matrisi Değerleri

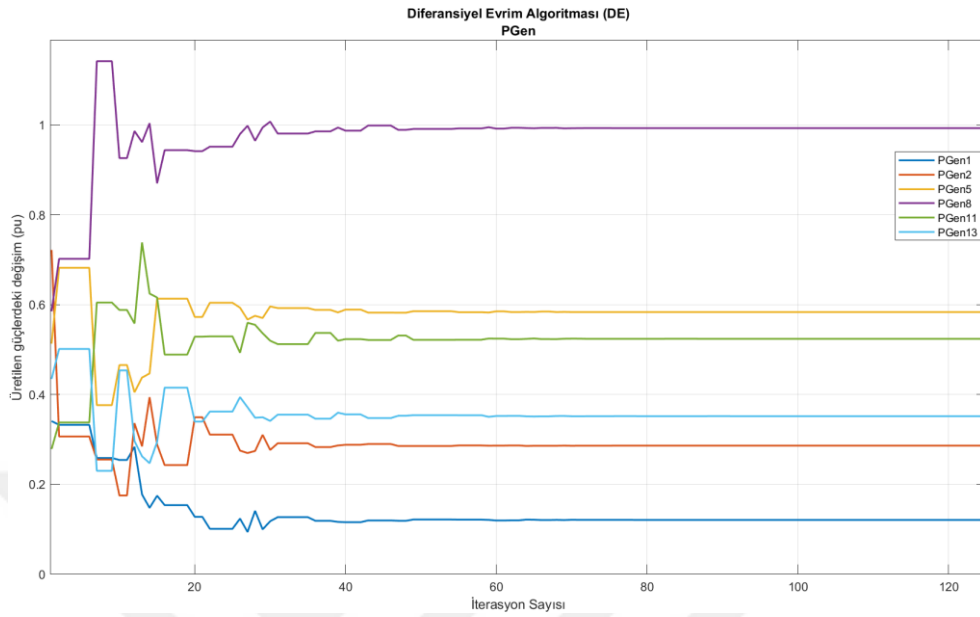
B Kayıp Matris Değerleri						
B	1,38E-01	-2,99E-02	4,40E-03	-2,20E-03	-1,00E-03	-8,00E-04
	-2,99E-02	4,87E-02	-2,50E-03	4,00E-04	1,60E-03	4,10E-03
	4,40E-03	-2,50E-03	1,82E-02	-7,00E-03	-6,60E-03	-6,60E-03
	-2,20E-03	4,00E-04	-7,00E-03	1,37E-02	5,00E-03	3,30E-03
	-1,00E-03	1,60E-03	-6,60E-03	5,00E-03	1,09E-02	5,00E-04
	-8,00E-04	4,10E-03	-6,60E-03	3,30E-03	5,00E-04	2,44E-02
B0	-1,07E-02	6,00E-03	-1,70E-03	9,00E-04	2,00E-04	3,00E-03
B00	9,86E-04					

Tablo 5.29: Otuz Baralı Güç Sisteminin DE Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	Valf Noktası Etkisiz	Valf Noktası Etkili
$P_{GT,1(salınım)}$	0,120969	0,050000
$P_{GT,2}$	0,286312	0,399999
$P_{GT,5}$	0,583557	0,687499
$P_{GT,8}$	0,992854	0,949998
$P_{GT,11}$	0,523970	0,549995
$P_{GT,13}$	0,351899	0,223220
$TYM (R/h)$	605,998369	611,117087
$P_{kayıp}$	0,025562	0,026710
$Süre (s)$	1,78129719	1,92479561

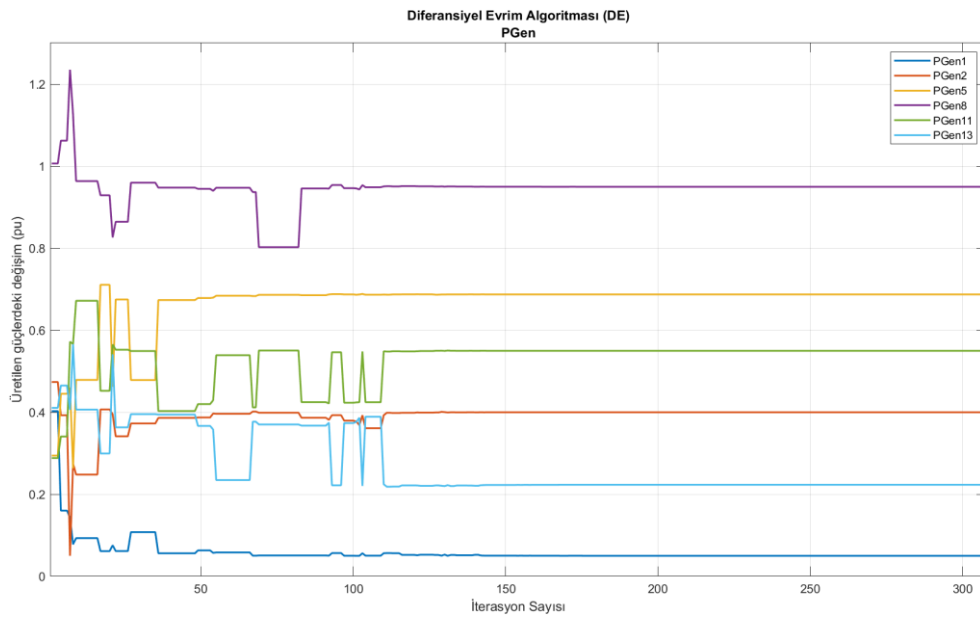
İletim hattı kayıplarının B kayıp matrisi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek DE algoritmasıyla yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.64 ve 5.65’te verilmiştir.

Şekil 5.64: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.64'te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ 'in 68., $P_{GT,2}$ 'nin 66., $P_{GT,5}$ 'in 62., $P_{GT,8}$ 'in 62., $P_{GT,11}$ 'in 66., $P_{GT,13}$ 'ün 65. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 62. iterasyon ile 68. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.65: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.65'te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ 'in 144., $P_{GT,2}$ 'nin 132., $P_{GT,5}$ 'in 106., $P_{GT,8}$ 'in 116., $P_{GT,11}$ 'in 132., $P_{GT,13}$ 'ün 144. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 106. iterasyon ile 144. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

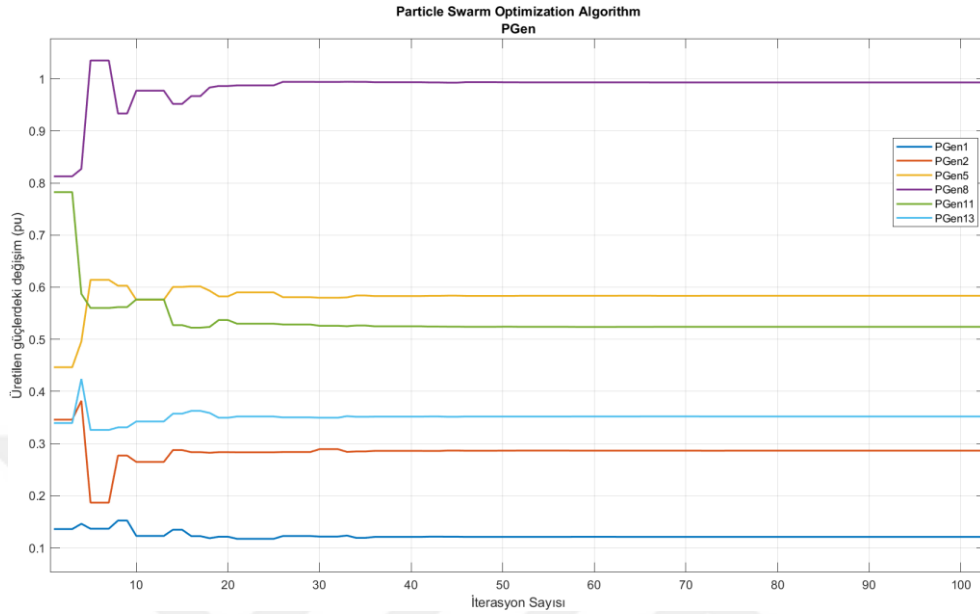
Bu bölümde ekonomik güç dağıtım probleminin kayıplı olarak çözümü için önce Tablo 5.21'deki üretim birimlerine ait değerler ile Tablo 5.22'deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.21'deki değerler ve Tablo 5.22'deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkili olarak PSO algoritması ile iki kez çözülmüştür. PSO algoritmasıyla valf nokta etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.30'da verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM) ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.30: Otuz Baralı Güç Sisteminin PSO Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
$P_{GT,1(salınım)}$	0,120969	0,050000
$P_{GT,2}$	0,286312	0,399999
$P_{GT,5}$	0,583557	0,687499
$P_{GT,8}$	0,992854	0,949998
$P_{GT,11}$	0,523970	0,549995
$P_{GT,13}$	0,351899	0,223220
$TYM (R/h)$	605,998369	611,117087
$P_{kayıp}$	0,025562	0,026710
$Süre (s)$	2,01062102	2,08509606

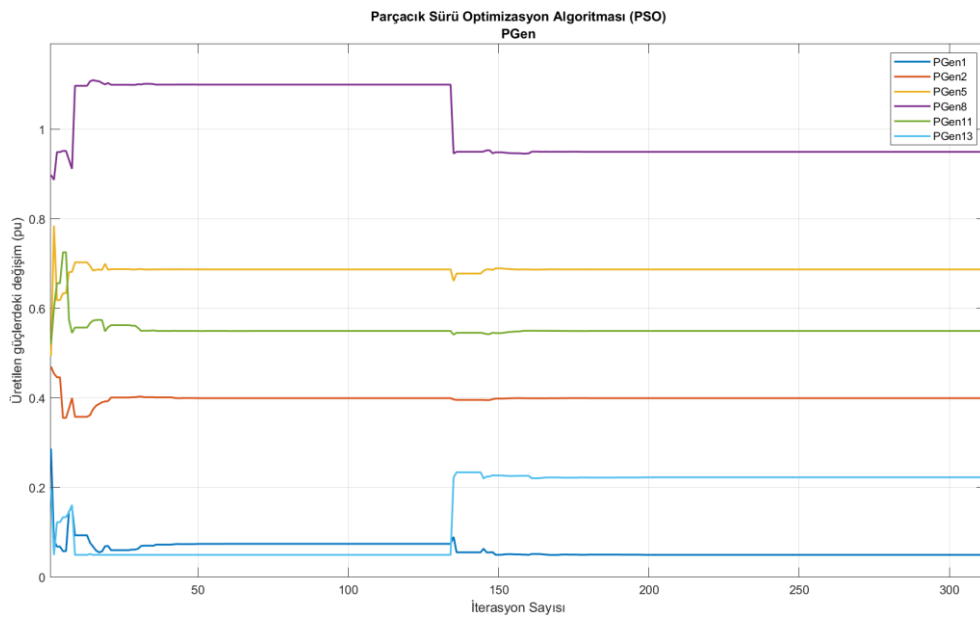
İletim hattı kayıplarının B kayıp matrisi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek PSO algoritmasıyla yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.66 ve 5.67'de verilmiştir.

Şekil 5.66: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.66’da verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 36., $P_{GT,2}$ ’nin 34., $P_{GT,5}$ ’in 36., $P_{GT,8}$ ’in 27., $P_{GT,11}$ ’in 36., $P_{GT,13}$ ’ün 34. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 27. iterasyon ile 36. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.67: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.67’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 171., $P_{GT,2}$ ’nin 150., $P_{GT,5}$ ’in 154., $P_{GT,8}$ ’in 162., $P_{GT,11}$ ’in 159., $P_{GT,13}$ ’ün 165. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 150. iterasyon ile 171. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

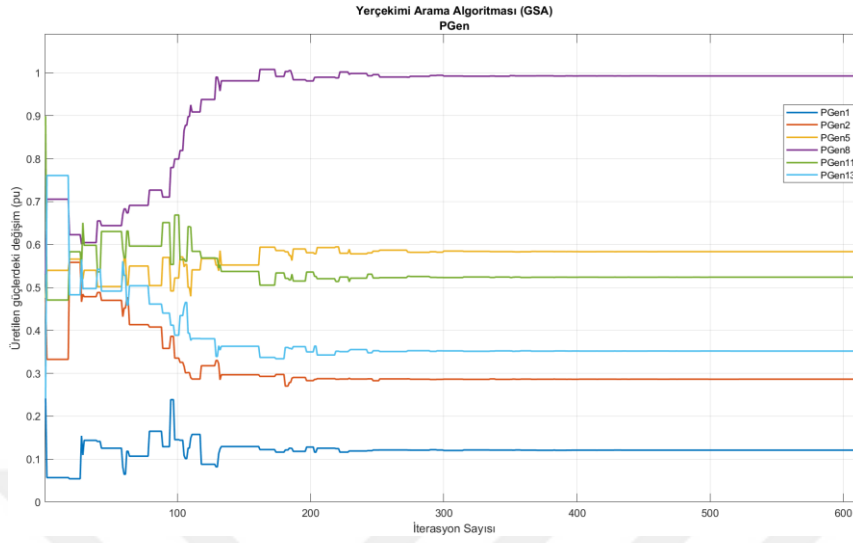
Bu bölümde ekonomik güç dağıtım probleminin kayıplı olarak çözümü için önce Tablo 5.21’deki üretim birimlerine ait değerler ile Tablo 5.22’deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.21’deki değerler ve Tablo 5.22’deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkili olarak GSA algoritması ile iki kez çözülmüştür. GSA algoritmasıyla valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.31’de verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM) ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.31: Otuz Baralı Güç Sisteminin GSA İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
$P_{GT,1(salınım)}$	0,120969	0,058464
$P_{GT,2}$	0,286312	0,399999
$P_{GT,5}$	0,583557	0,474999
$P_{GT,8}$	0,992854	0,949998
$P_{GT,11}$	0,523970	0,424996
$P_{GT,13}$	0,351899	0,559999
$TYM (R/h)$	605,998369	614,790119
$P_{kayıp}$	0,025562	0,034456
$Süre (s)$	4,85979554	4,85354647

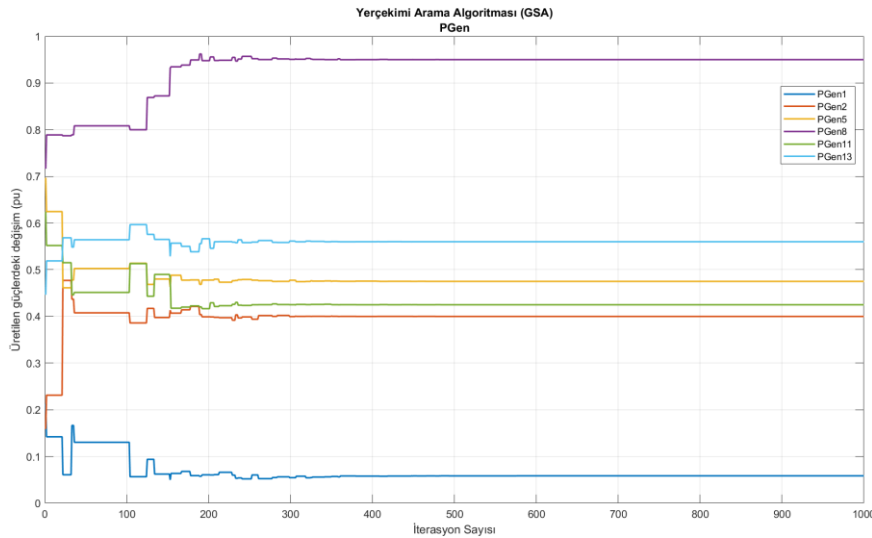
İletim hattı kayıplarının B kayıp matrisi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek GSA ile yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.68 ve 5.69’da verilmiştir.

Şekil 5.68: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.68’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 301., $P_{GT,2}$ ’nin 344., $P_{GT,5}$ ’in 301., $P_{GT,8}$ ’in 352., $P_{GT,11}$ ’in 362., $P_{GT,13}$ ’ün 298. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 298. iterasyon ile 362. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.69: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.69’da verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 371., $P_{GT,2}$ ’nin 306., $P_{GT,5}$ ’in 330., $P_{GT,8}$ ’in 369., $P_{GT,11}$ ’in 359., $P_{GT,13}$ ’ün 329. iterasyonda optimal değeri

yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 306. iterasyon ile 371. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

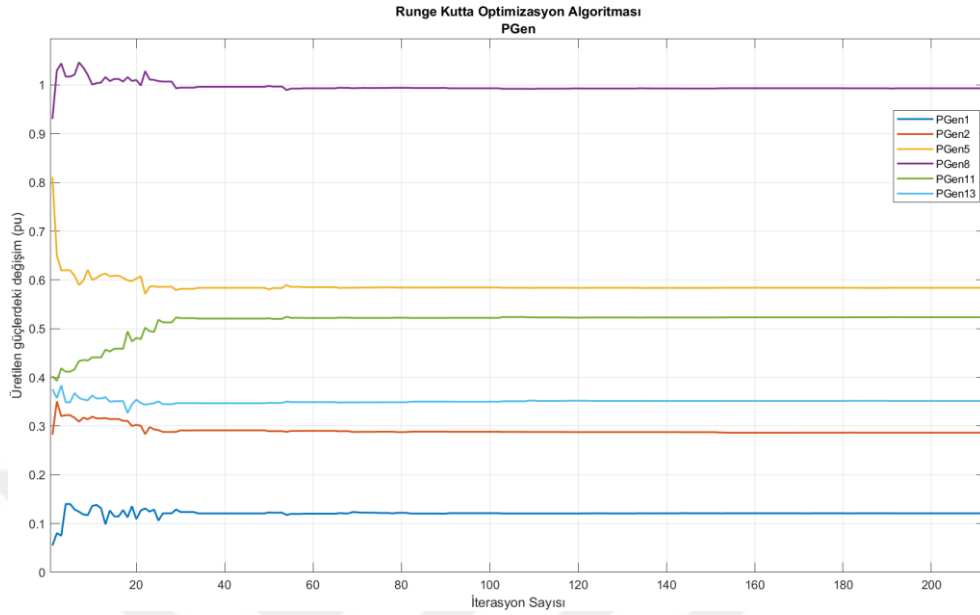
Bu bölümde ekonomik güç dağıtım probleminin kayıplı olarak çözümü için önce Tablo 5.21'deki üretim birimlerine ait değerler ile Tablo 5.22'deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkisiz olarak ve sonra Tablo 5.21'deki değerler ve Tablo 5.22'deki sadece $P_{yük}=2,834 \text{ pu}$ alınarak valf noktası etkili olarak RUN algoritması ile iki kez çözülmüştür RUN algoritmasıyla valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.32'de verilmiştir. Tabloda i . termik üretim birimlerinin pu olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (TYM) ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.32: Otuz Baralı Güç Sisteminin RUN İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

(pu)	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
$P_{GT,1(salınım)}$	0,120969	0,050463
$P_{GT,2}$	0,286312	0,399999
$P_{GT,5}$	0,583557	0,687499
$P_{GT,8}$	0,992854	0,949998
$P_{GT,11}$	0,523970	0,549995
$P_{GT,13}$	0,351899	0,222740
$TYM (R/h)$	605,998369	611,120426
$P_{kayıp}$	0,025562	0,026694
$Süre (s)$	3,17691056	3,29903783

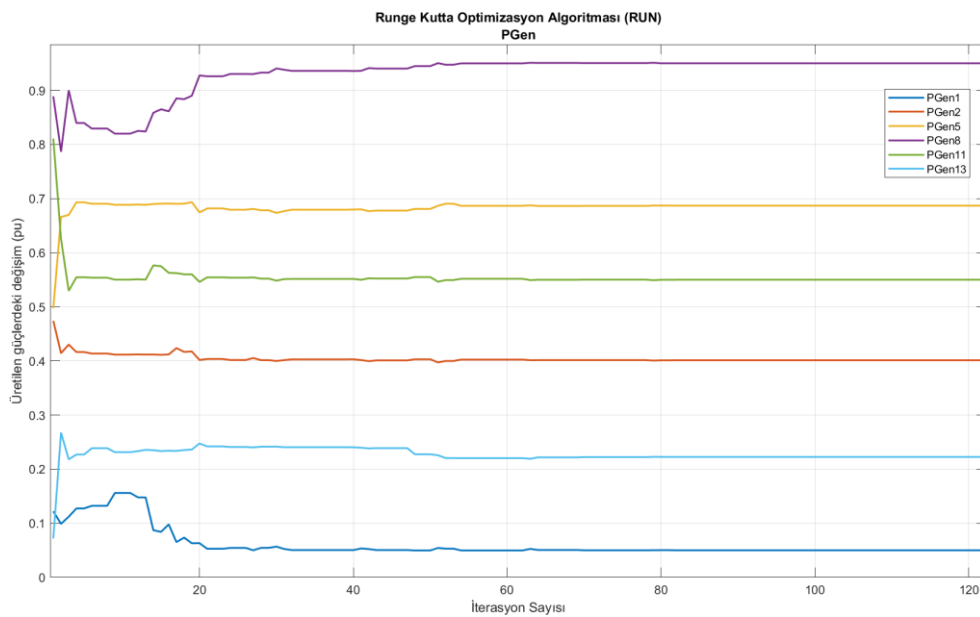
İletim hattı kayıplarının B kayıp matrisi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek RUN ile yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil 5.70 ve 5.71'de verilmiştir.

Şekil 5.70: Valf Noktası Etkisiz B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.70’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 104., $P_{GT,2}$ ’nin 82., $P_{GT,5}$ ’in 67., $P_{GT,8}$ ’in 66., $P_{GT,11}$ ’in 57., $P_{GT,13}$ ’ün 56. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 56. iterasyon ile 104. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.71: Valf Noktası Etkili B Kayıp Matrisi Kullanılan Sistemde RUN İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.71’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 65., $P_{GT,2}$ ’nin 64., $P_{GT,5}$ ’in 56., $P_{GT,8}$ ’in 62., $P_{GT,11}$ ’in 65., $P_{GT,13}$ ’ün 65. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 56. iterasyon ile 65. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

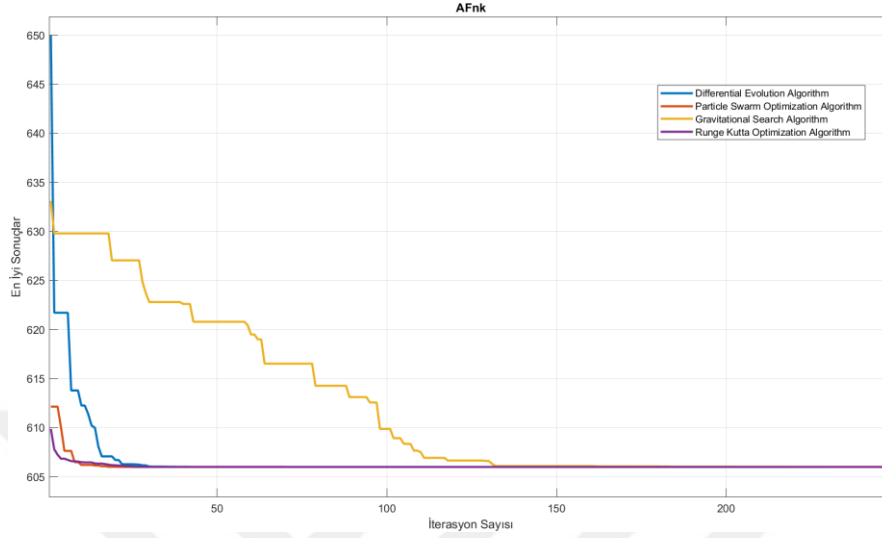
Farklı algoritmalarla (DE, PSO, GSA ve RUN) çözümü valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek B kayıp matrisi ile hesaplanan kayıplı güç dağıtım problemlerinin çözümlerinden elde edilen toplam yakıt maliyeti değerleri Tablo 5.33’de verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde valf noktası etkisiz tüm algoritmaların aynı değere yakınsadığı ve valf noktası etkilide ise GSA ve RUN hariç diğerleri yine aynı değere yakınsamışlardır. Test sisteminin RUN ile valf noktası etkili çözümü 611.120426 R/h değeri ile DE ve PSO’dan sonra en iyi değere yakınsadığı ve GSA’nın valf noktası etkili çözümü 614.790119 R/h ile en kötü değere yakınsamıştır.

Tablo 5.33: Farklı Algoritmalarla Göre Toplam Yakıt Maliyeti Değerlerinin Karşılaştırılması

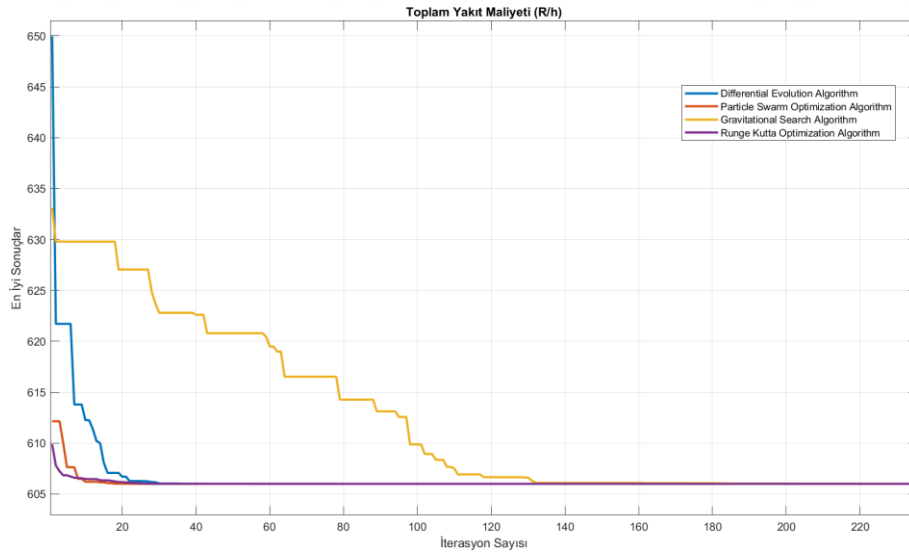
<i>Algoritmalar</i>	<i>TYM (R/h)</i>			
	<i>DE</i>	<i>PSO</i>	<i>GSA</i>	<i>RUN</i>
<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	605,998369	605,998369	605,998369	605,998369
<i>Valf Noktası Etkili</i>	611,117087	611,117087	614,790119	611,120426

Valf noktası etkisiz kayıplı ekonomik güç dağıtım probleminin dört farklı algoritma ile B kayıp matrisi kullanılarak bulunan çözümündeki eşitlik (5.11)’den hesaplanan amaç fonksiyonlarının (AF_{nk}) iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.72’de, toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.73’te, iletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.74’te ve toplam yakıt maliyetinin kutu grafikleri ise Şekil 5.75’te verilmiştir.

Şekil 5.72: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma ile B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Amaç Fonksiyonlarının (Afnk) İterasyonlara Göre Değişimi

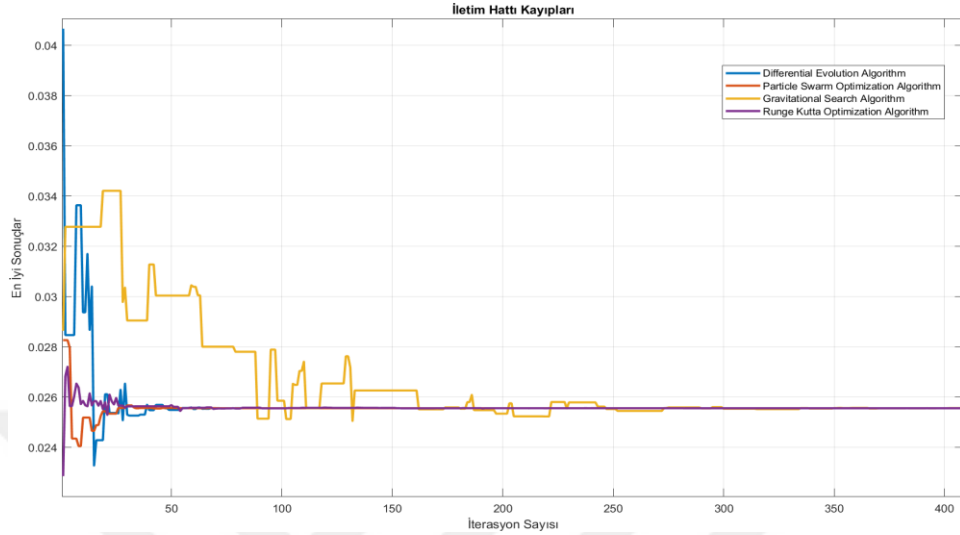


Şekil 5.73: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma ile B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi



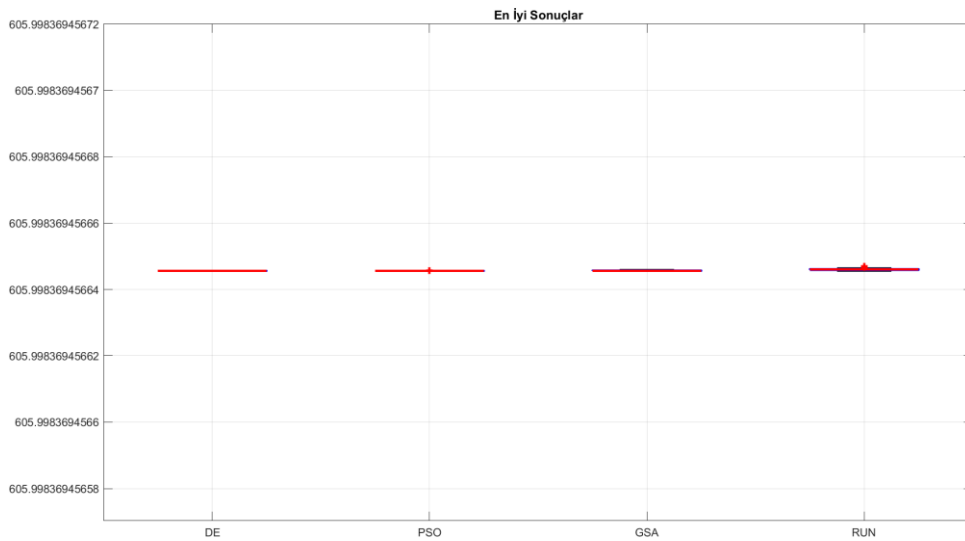
Şekil 5.72’de bulunan amaç fonksiyonu ve şekil 5.73’te bulunan yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişim grafikleri birbirine eşittir. Buna göre grafiklere göre DE 31. iterasyonda, PSO 31.iterasyonda, GSA 134. iterasyonda RUN 31. iterasyonda 605.998369 R/h yakıt maliyeti değerine ulaştıkları görülmektedir. Bu durumda GSA diğer algoritmalara göre en iyi toplam yakıt maliyetine daha geç yakınsamıştır.

Şekil 5.74: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma ile B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.74'te tüm algoritmaların iletim hattının kayıpları verilmiştir. Bu grafiğe göre DE, PSO ve RUN algoritmaları 83. iterasyonda 0.025562 *pu* değerine, GSA 301. iterasyonda 0.025562 *pu* değerine gelmiştir. Bu durumda en geç yakınsayan ve iletim hattındaki kaybı minimize edip sabitleyen algoritma GSA olmuştur.

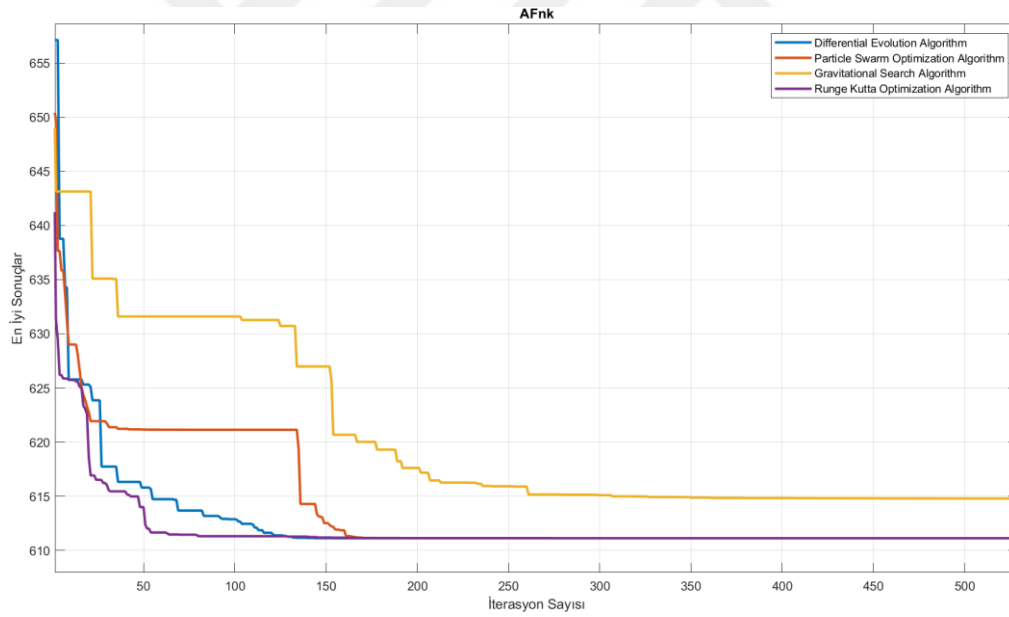
Şekil 5.75: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma ile B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri



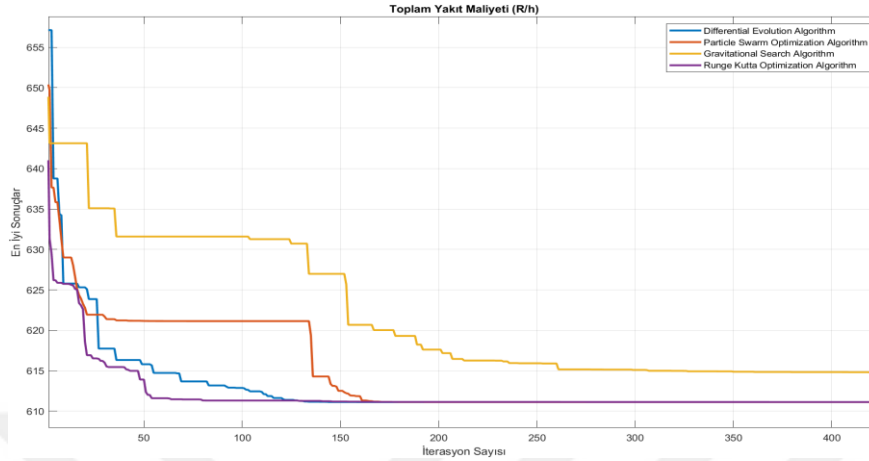
Şekil 5.75'te verilen kutu grafiğinde her algoritma için 30 kez yapılan çözüme göre DE, PSO ve GSA'da toplam yakıt maliyeti en iyi değere ulaşılmıştır ve bu algoritmalar kararlı oldukları görülmektedir. RUN ise toplam yakıt maliyetinde en iyi değere ulaşmış fakat diğer algoritmalara göre daha kararsızdır.

Valf noktası etkili kayıplı ekonomik güç dağıtım probleminin dört farklı algoritma ile B kayıp matrisi kullanılarak bulunan çözümündeki eşitlik (5.11)'den hesaplanan amaç fonksiyonlarının (AF_{nk}) iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.76'da, toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.77'de, iletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.78'de ve toplam yakıt maliyetinin kutu grafikleri ise Şekil 5.79'da verilmiştir.

Şekil 5.76: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Amaç Fonksiyonlarının (AF_{nk}) İterasyonlara Göre Değişimi

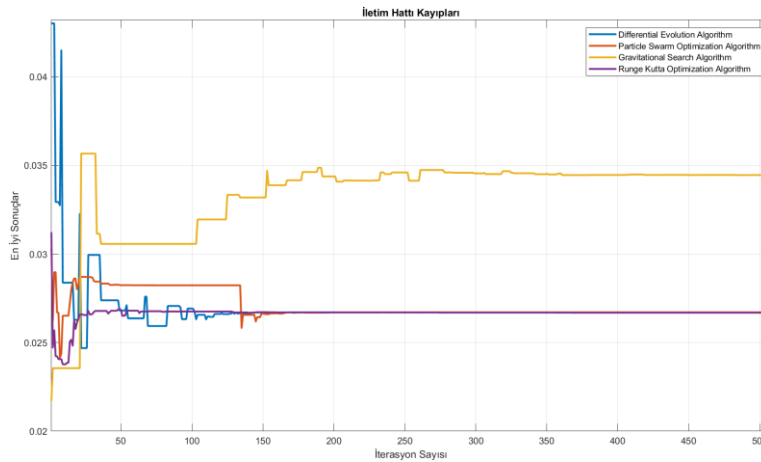


Şekil 5.77: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.76’da bulunan amaç fonksiyonu ve şekil 5.77’de bulunan yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişim grafikleri cezalar sıfıra gittiği için birbirine eşittir. Buna göre grafiklere göre DE 146. ve PSO 163. iterasyonda 611.117087 R/h yakıt maliyeti değerine ulaştıkları RUN 79. iterasyonda 611.120426 R/h yakıt maliyeti değerine, GSA 313. iterasyonda 614.790119 R/h yakıt maliyeti değerine ulaştığı görülmektedir. Bu durumda GSA diğer algoritmalarla göre daha geç yakınsamıştır.

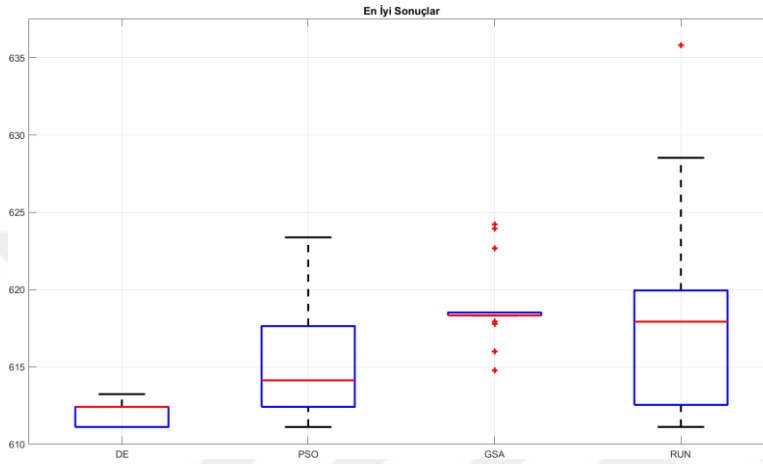
Şekil 5.78: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.78’de tüm algoritmaların iletim hattının kayıpları verilmiştir. Bu grafiğe göre DE 168. iterasyonda 0.026710 pu değerine, PSO algoritması 168. iterasyonda

0.026710 *pu* değerine, GSA 364. iterasyonda 0.034456 *pu* değerine, RUN 79. iterasyonda 0.026694 *pu* değerine gelmiştir. Bu durumda en geç yakınsayan ve iletim hattındaki kaybı sabit tutmakta güçlük çeken algoritma GSA olmuştur.

Şekil 5.79: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle B Kayıp Matrisi Kullanılarak Bulunan Çözümünde Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri



Şekil 5.79’da verilen kutu grafiğinde her algoritma için 30 kez yapılan çözüme göre DE, PSO ve RUN algoritmalarında toplam yakıt maliyeti en iyi değere ulaşılmıştır ve DE en iyi kararlılığa ulaştığı görülmektedir. RUN algoritması kararsızlık göstermiş ve bir adet sapan değer bulmuştur. GSA toplam yakıt maliyetinde diğer algoritmalarından daha kötü sonuçlar bulmuştur ve daha kararsız olup yedi adet sapan değer bulmuştur.

5.3.2.3. İletim Hattı Kayıpları Dahil Edilerek AC Yük Akışı Yöntemiyle Çözülmesi (30 Bara)

Bu bölümde dört farklı (*DE*, *PSO*, *GSA* ve *RUN*) algoritmayla modifiye edilmiş 30 baralı test sistemine ait kayıplı olarak ekonomik güç dağıtım problemi AC güç akışı yöntemiyle hem valf noktası etkisiz hem de valf noktalı etkili olmak üzere iki farklı şekilde çözülmüştür. Valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek her bir algoritmayla 30’ar kez programlar çalıştırılmıştır. 30 baralı modifiye edilmiş test sistemine ait iletim hatlarının kayıpları, ikinci bölümde anlatılan Newton Raphson güç akış yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Ekonomik güç dağıtım probleminin kayıplı olarak çözümü için önce Tablo 5.21’deki üretim birimlerine ait değerler, Tablo 5.22’deki aktif ve reaktif yük değerleri, iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametrelerinin

verildiği Tablo 5.34'deki değerler kullanılarak valf noktası etkisiz ve sonra Tablo 5.21'deki değerler ve Tablo 5.22'deki aktif ve reaktif yük değerleri, Tablo 5.34'deki iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametreleri kullanılarak valf noktası etkili olarak DE algoritması ile iki kez çözülmüştür. 30 baralı modifiye edilmiş test sisteminde AC yük akışı ile kayıpları hesaplayabilmek için üretim birimlerine ait Tablo 5.35'de verilen başlangıç reaktif güç üretim değerleri kullanılmıştır.

Tablo 5.34: Otuz Baralı Güç Sisteminin Ait İletim Hatlarının Eşdeğer π Devresi Parametreleri (Pu)

Sistemin İletim Hat Bilgileri				
Baradan	Baraya	R	X	B
1	2	0,0192	0,0575	0,0528
1	3	0,0452	0,1652	0,0408
2	4	0,057	0,1737	0,0368
2	5	0,0472	0,1983	0,0418
2	6	0,0581	0,1763	0,0374
3	4	0,0132	0,0379	0,0084
4	6	0,0119	0,0414	0,009
4	12	0	0,256	0
5	7	0,046	0,116	0,0204
6	7	0,0267	0,082	0,017
6	8	0,012	0,042	0,09
6	9	0	0,208	0
6	10	0	0,556	0
6	28	0,0169	0,0599	0,013
8	28	0,0636	0,2	0,0428
9	10	0	0,11	0
9	11	0	0,208	0
10	17	0,0324	0,0845	0
10	20	0,0936	0,209	0
10	21	0,0348	0,0749	0
10	22	0,0727	0,1499	0
12	13	0	0,14	0
12	14	0,1231	0,2559	0
12	15	0,0662	0,1304	0
12	16	0,0945	0,1987	0
14	15	0,221	0,1997	0
15	18	0,1073	0,2185	0
15	23	0,1	0,202	0
16	17	0,0524	0,1923	0
18	19	0,0639	0,1292	0
19	20	0,034	0,068	0
21	22	0,0116	0,0236	0
22	24	0,115	0,179	0
23	24	0,132	0,27	0
24	25	0,1885	0,3292	0
25	26	0,2544	0,38	0
25	27	0,1093	0,2087	0
27	28	0	0,396	0
27	29	0,2198	0,4153	0
27	30	0,3202	0,6027	0
29	30	0,2399	0,4533	0

Tablo 5.35: Otuz Baralı Güç Sistemindeki Üretim Birimlerine Ait Başlangıç Reaktif Güç Üretim Değerleri

<i>i</i>	Termik üretim birimlerinin bağlı olduğu baralar				
	2	5	8	11	13
$Q_{GT,i}^{baş} (pu)$	0,25	0,25	0,2	0,12	0,12

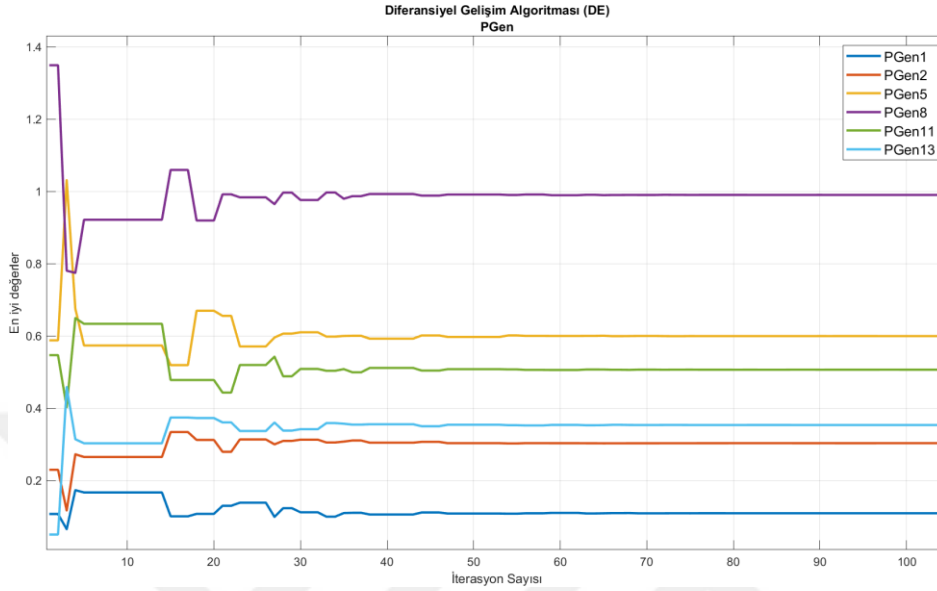
DE algoritmasıyla valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Tablo 5.36’da verilmiştir. Tabloda *i*. termik üretim birimlerinin *pu* olarak $P_{GT,i}$ çıkış güçleri, (R/h) olarak toplam yakıt maliyeti (*TYM*), *pu* olarak iletim hatlarında meydana gelen toplam kayıplar *Pkayıp* ve saniye cinsinden süre yer almaktadır.

Tablo 5.36: Otuz Baralı Güç Sisteminin DE Algoritması İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

<i>(pu)</i>	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
$P_{GT,1(salınım)}$	0,108934	0,050000
$P_{GT,2}$	0,302914	0,399999
$P_{GT,5}$	0,599363	0,687499
$P_{GT,8}$	0,990091	0,949998
$P_{GT,11}$	0,506345	0,549995
$P_{GT,13}$	0,353196	0,220522
<i>TYM (R/h)</i>	606,353978	610,343588
<i>Pkayıp</i>	0,026845	0,024013
<i>Süre (s)</i>	143,138331	143,723056

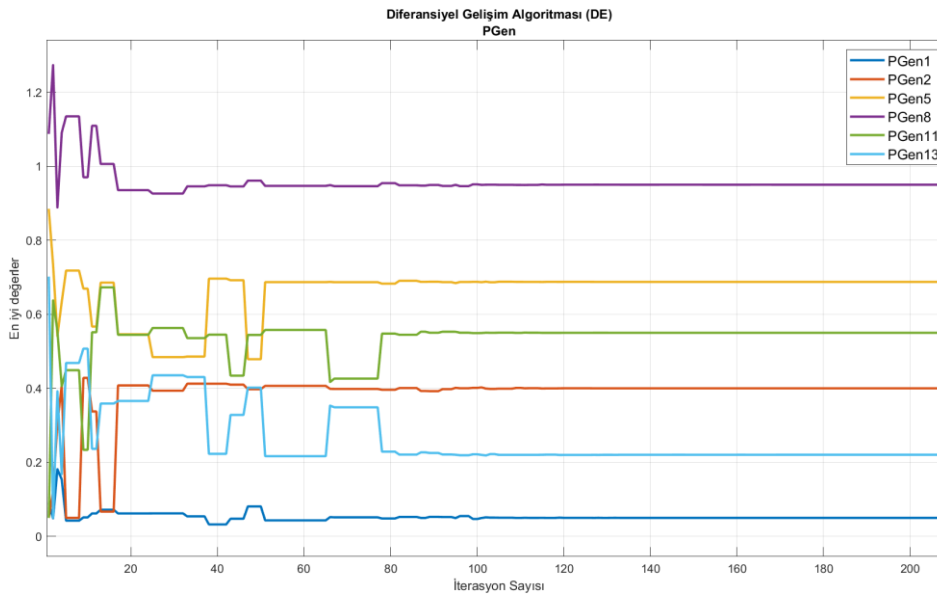
İletim hattı kayıplarının Newton Raphson güç akış yöntemi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek DE algoritmasıyla yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil 5.80 ve 5.81’de verilmiştir.

Şekil 5.80: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.80’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 64., $P_{GT,2}$ ’nin 48., $P_{GT,5}$ ’in 54., $P_{GT,8}$ ’in 63., $P_{GT,11}$ ’in 47., $P_{GT,13}$ ’ün 48. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 47. iterasyon ile 63. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.81: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde DE Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.81’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 105., $P_{GT,2}$ ’in 112., $P_{GT,5}$ ’in 106., $P_{GT,8}$ ’in 101., $P_{GT,11}$ ’in 102., $P_{GT,13}$ ’ün 105. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 101. iterasyon ile 112. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

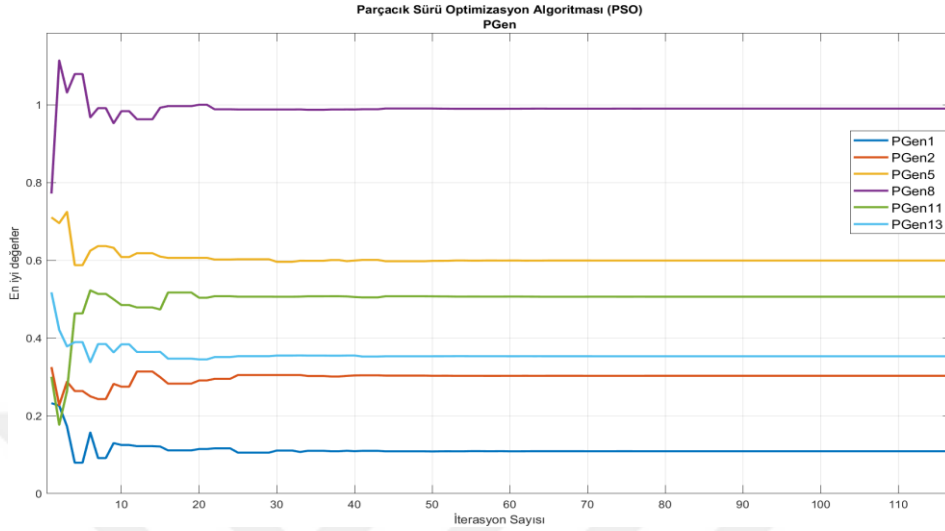
Bu bölümde ekonomik güç dağıtım probleminin kayıplı olarak çözümü için önce Tablo 5.21’deki üretim birimlerine ait değerler, Tablo 5.22’deki aktif ve reaktif yük değerleri, iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametrelerinin verildiği Tablo 5.34’deki değerler kullanılarak valf noktası etkisiz ve sonra Tablo 5.21’deki değerler ve Tablo 5.22’deki aktif ve reaktif yük değerleri, Tablo 5.34’deki iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametreleri kullanılarak valf noktası etkili olarak PSO algoritması ile iki kez çözülmüştür. 30 baralı modifiye edilmiş test sisteminde AC yük akışı ile kayıpları hesaplayabilmek için üretim birimlerine ait Tablo 5.35’de verilen başlangıç reaktif güç üretim değerleri kullanılmıştır.

Tablo 5.37: Otuz Baralı Güç Sisteminin PSO Algoritması ile Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

<i>(pu)</i>	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
$P_{GT,1(salınım)}$	0,108934	0,050000
$P_{GT,2}$	0,302914	0,399999
$P_{GT,5}$	0,599363	0,687499
$P_{GT,8}$	0,990091	0,949998
$P_{GT,11}$	0,506346	0,549995
$P_{GT,13}$	0,353196	0,220522
TYM (R/h)	606,353978	610,343588
Pkayıp	0,026845	0,024013
Süre (s)	144,24701	143,02677

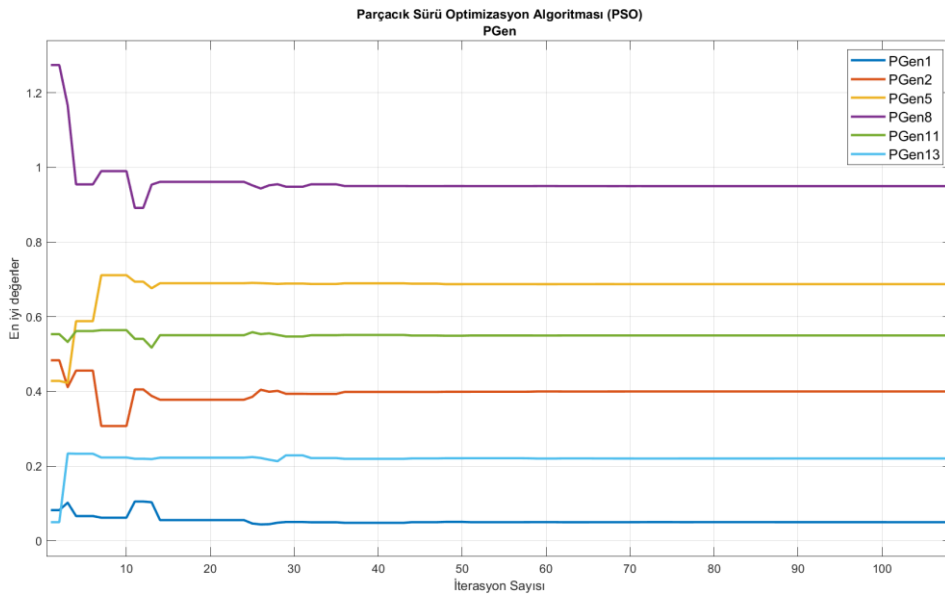
İletim hattı kayıplarının Newton Raphson güç akış yöntemi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek PSO algoritmasıyla yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.82 ve 5.83’te verilmiştir.

Şekil 5.82: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.82’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 44., $P_{GT,2}$ ’nin 40., $P_{GT,5}$ ’in 45., $P_{GT,8}$ ’in 44., $P_{GT,11}$ ’in 45., $P_{GT,13}$ ’ün 42. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 40. İterasyon ile 45. İterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.83: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde PSO Algoritmasıyla Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.83'te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ 'in 46., $P_{GT,2}$ 'nin 36., $P_{GT,5}$ 'in 14., $P_{GT,8}$ 'in 37., $P_{GT,11}$ 'in 32., $P_{GT,13}$ 'ün 35. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 14. iterasyon ile 37. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

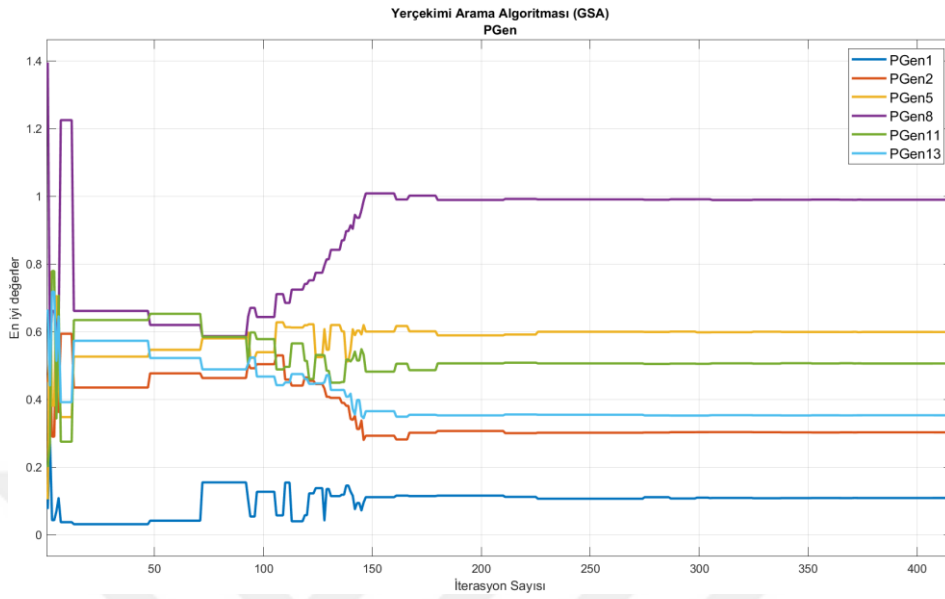
Bu bölümde ekonomik güç dağıtım probleminin kayıplı olarak çözümü için önce Tablo 5.21'deki üretim birimlerine ait değerler, Tablo 5.22'deki aktif ve reaktif yük değerleri, iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametrelerinin verildiği Tablo 5.34'deki değerler kullanılarak valf noktası etkisiz ve sonra Tablo 5.21'deki değerler ve Tablo 5.22'deki aktif ve reaktif yük değerleri, Tablo 5.34'deki iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametreleri kullanılarak valf noktası etkili olarak GSA algoritması ile iki kez çözülmüştür. 30 baralı modifiye edilmiş test sisteminde AC yük akışı ile kayıpları hesaplayabilmek için üretim birimlerine ait Tablo 5.35'de verilen başlangıç reaktif güç üretim değerleri kullanılmıştır.

Tablo 5.38: Otuz Baralı Güç Sisteminin GSA İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

<i>(pu)</i>	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
$P_{GT,1(salınım)}$	0,108934	0,050024
$P_{GT,2}$	0,302914	0,391536
$P_{GT,5}$	0,599363	0,691158
$P_{GT,8}$	0,990091	0,808736
$P_{GT,11}$	0,506346	0,543489
$P_{GT,13}$	0,353196	0,371733
$TYM (R/h)$	606,353978	614,918120
$P_{kayıp}$	0,026845	0,022676
$Süre (s)$	153,219314	157,597569

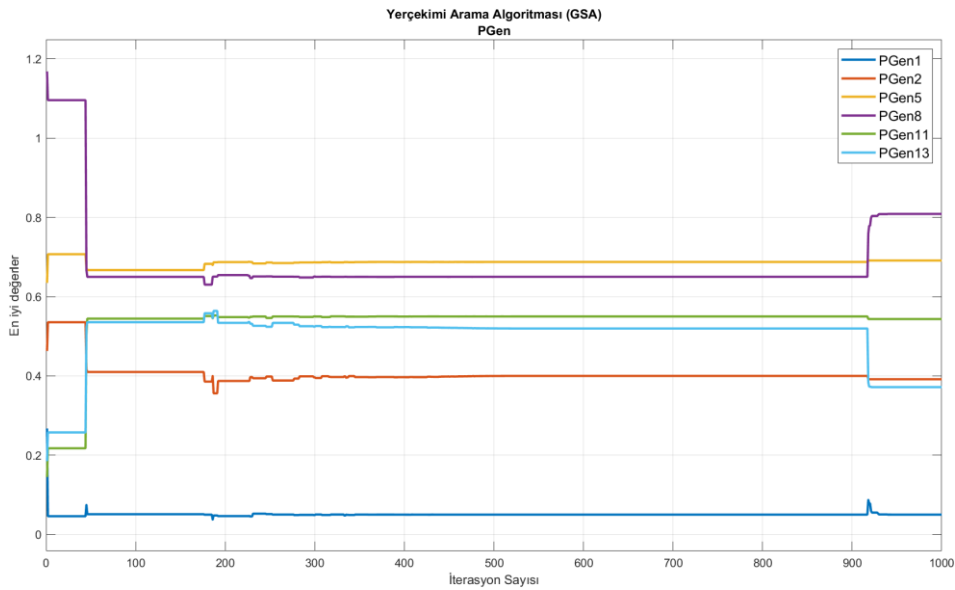
İletim hattı kayıplarının Newton Raphson güç akış yöntemi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek GSA ile yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.83 ve 5.84'te verilmiştir.

Şekil 5.84: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.84'te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ 'in 305., $P_{GT,2}$ 'nin 212., $P_{GT,5}$ 'in 299., $P_{GT,8}$ 'in 308., $P_{GT,11}$ 'in 338., $P_{GT,13}$ 'ün 212. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 212. iterasyon ile 338. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.85: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde GSA İle Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.85'te verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ 'in 298., $P_{GT,2}$ 'nin 298., $P_{GT,5}$ 'in 297., $P_{GT,8}$ 'in 294., $P_{GT,11}$ 'in 303., $P_{GT,13}$ 'ün 299. iterasyonda optimal değeri

yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 294. iterasyon ile 303. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

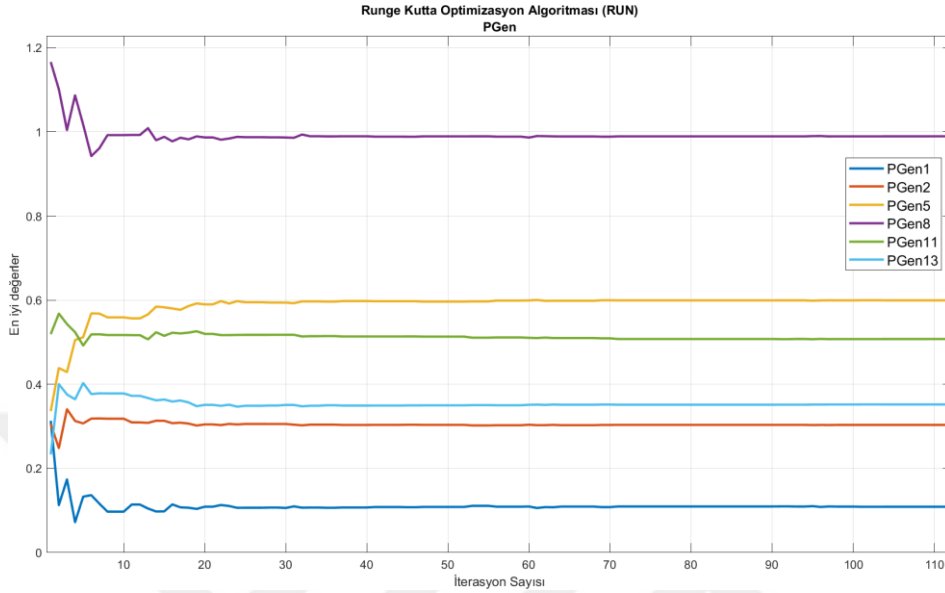
Bu bölümde ekonomik güç dağıtım probleminin kayıplı olarak çözümü için önce Tablo 5.21'deki üretim birimlerine ait değerler, Tablo 5.22'deki aktif ve reaktif yük değerleri, iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametrelerinin verildiği Tablo 5.34'deki değerler kullanılarak valf noktası etkisiz ve sonra Tablo 5.21'deki değerler ve Tablo 5.22'deki aktif ve reaktif yük değerleri, Tablo 5.34'deki iletim hatlarının eşdeğer π devresine ait parametreleri kullanılarak valf noktası etkili olarak RUN algoritması ile iki kez çözülmüştür. 30 baralı modifiye edilmiş test sisteminde AC yük akışı ile kayıpları hesaplayabilmek için üretim birimlerine ait Tablo 5.35'de verilen başlangıç reaktif güç üretim değerleri kullanılmıştır.

Tablo 5.39: Otuz Baralı Güç Sisteminin RUN İle Çözümünden Elde Edilen Sonuçları

<i>(pu)</i>	<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	<i>Valf Noktası Etkili</i>
<i>P_{GT,1(salınım)}</i>	0,108934	0,075865
<i>P_{GT,2}</i>	0,302914	0,399999
<i>P_{GT,5}</i>	0,599363	0,474999
<i>P_{GT,8}</i>	0,990091	1,099998
<i>P_{GT,11}</i>	0,506346	0,424996
<i>P_{GT,13}</i>	0,353196	0,389999
<i>TYM (R/h)</i>	606,353978	611,933554
<i>P_{kayıp}</i>	0,026845	0,031857
<i>Süre (s)</i>	201,413889	214,575642

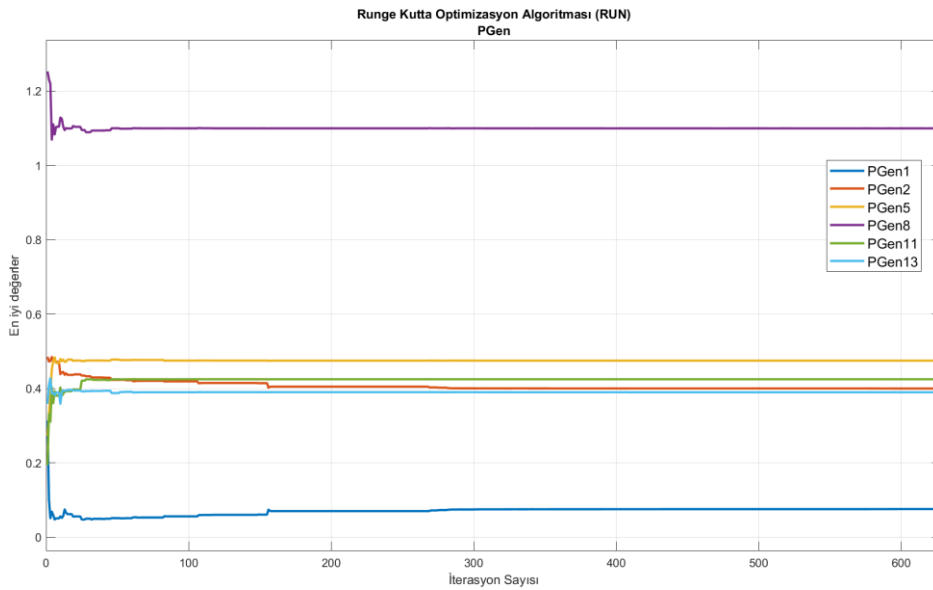
İletim hattı kayıplarının Newton Raphson güç akış yöntemi kullanılarak hesaplandığı sistemdeki problemin, valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek RUN ile yapılan çözümlerindeki üretim birimlerinin çıkış güçlerinin iterasyonlara göre değişimi sırasıyla Şekil.5.86 ve 5.87'de verilmiştir.

Şekil 5.86: Valf Noktası Etkisiz AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde RUN ile Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.86’da verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 97., $P_{GT,2}$ ’nin 62., $P_{GT,5}$ ’in 62., $P_{GT,8}$ ’in 61., $P_{GT,11}$ ’in 53., $P_{GT,13}$ ’ün 34. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 34. iterasyon ile 97. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

Şekil 5.87: Valf Noktası Etkili AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Sistemde RUN ile Yapılan Çözümde Üretim Birimlerinin Çıkış Güçlerinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.87’de verilen generatör çıkış güçlerinin $P_{GT,1}$ ’in 296., $P_{GT,2}$ ’nin 287., $P_{GT,5}$ ’in 85., $P_{GT,8}$ ’in 49., $P_{GT,11}$ ’in 46., $P_{GT,13}$ ’ün 65. iterasyonda optimal değeri yakaladığı görülmektedir. Yani generatör optimal çıkış güçlerinin değerleri 46. iterasyon ile 296. iterasyonlar arasında yakalanmıştır.

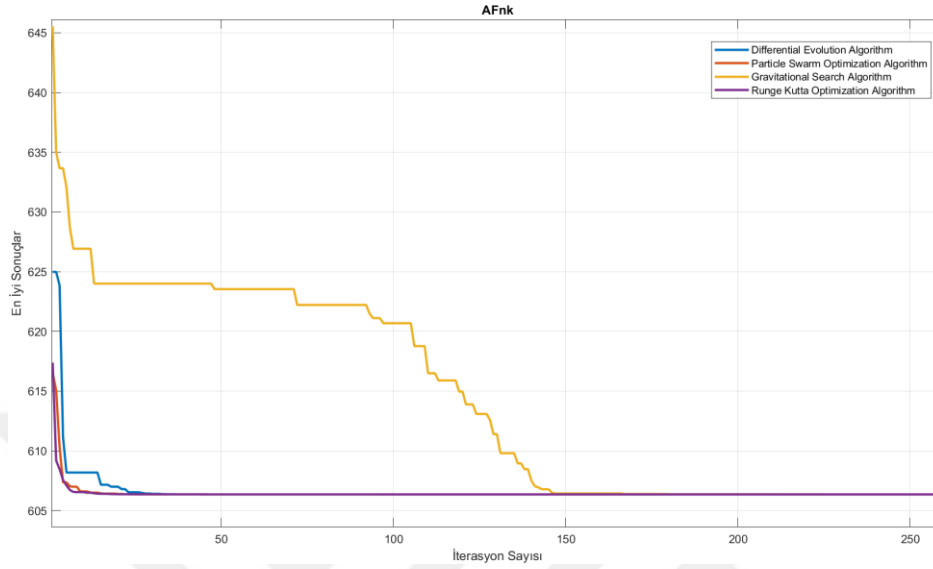
Farklı algoritmalarla (DE, PSO, GSA ve RUN) çözümü yapılan valf noktası etkileri dahil edilmeyerek ve dahil edilerek AC güç akışı yöntemiyle kayıplı güç dağıtım problemlerinin çözümlerinden elde edilen toplam yakıt maliyeti değerleri Tablo 5.40’da verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde valf noktası etkisiz tüm algoritmaların aynı değere yakınsadığı ve valf noktası etkili ise DE ve PSO aynı değere yakınsadığı, RUN ise en iyi değer biraz uzağında $611.933554 R/h$ değerine yakınsadığı, GSO ise $614.918120 R/h$ değeri ile en kötü değere yakınsamıştır.

Tablo 5.40: Farklı Algoritmalarla Göre Toplam Yakıt Maliyeti Değerlerinin Karşılaştırılması

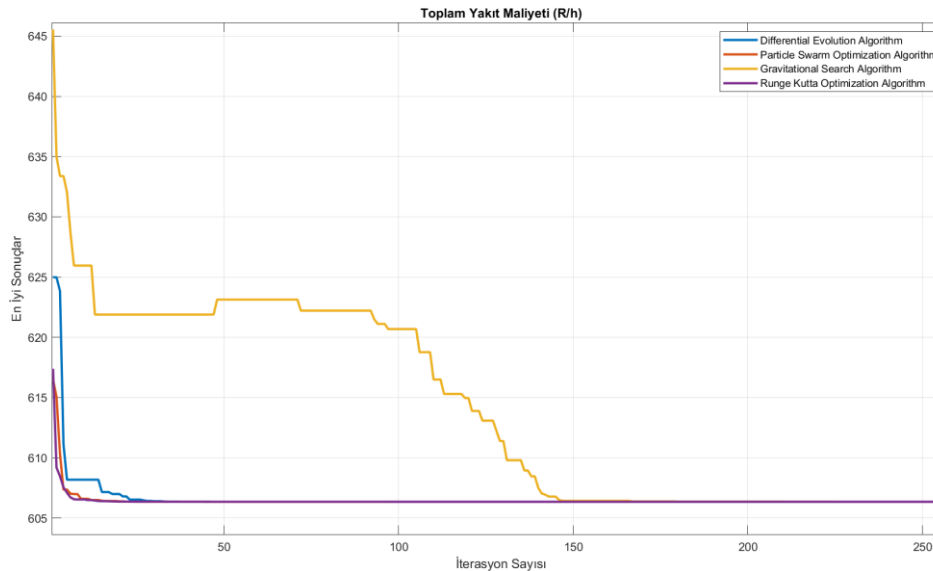
<i>Algoritmalar</i>	<i>TYM (R/h)</i>			
	<i>DE</i>	<i>PSO</i>	<i>GSA</i>	<i>RUN</i>
<i>Valf Noktası Etkisiz</i>	606,353978	606,353978	606,353978	606,353978
<i>Valf Noktası Etkili</i>	610,343588	610,343588	614,918120	611,933554

Valf noktası etkisiz kayıplı ekonomik güç dağıtım probleminin dört farklı algoritma ile AC güç akışı yöntemi kullanılarak bulunan çözümündeki eşitlik (5.11)’den hesaplanan amaç fonksiyonlarının (AF_{nk}) iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.88’de, toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.89’da, iletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.90’da ve toplam yakıt maliyetinin kutu grafikleri ise Şekil 5.91’de verilmiştir.

Şekil 5.88: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma ile AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Amaç Fonksiyonlarının (*Afnk*) İterasyonlara Göre Değişimi



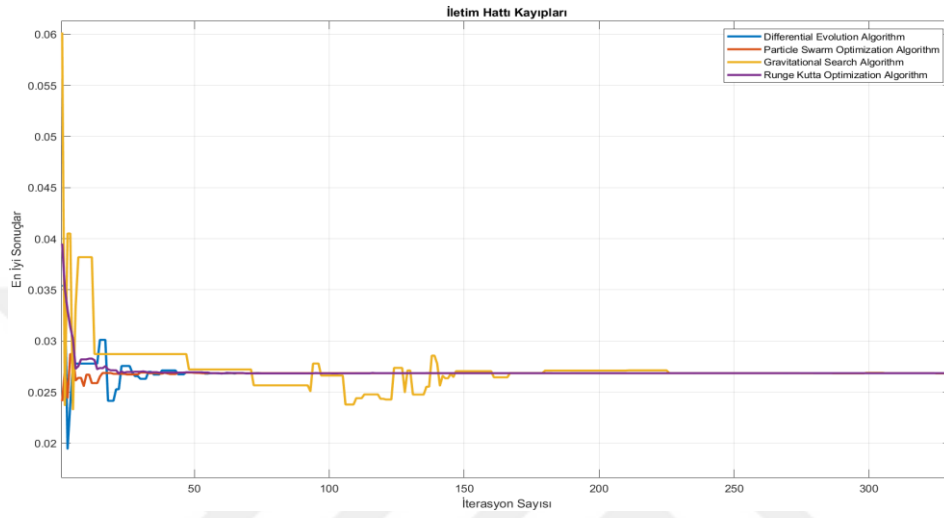
Şekil 5.89: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.88’de bulunan amaç fonksiyonu ve şekil 5.89’da bulunan toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişim grafikleri cezaların sıfıra gitmesi nedeniyle birbirine eşittir. Buna göre grafiklere göre DE 28. iterasyonda ve PSO 17.iterasyonda GSA 148. İterasyonda, RUN 17. iterasyonda 606.353978 *R/h* yakıt maliyeti değerine

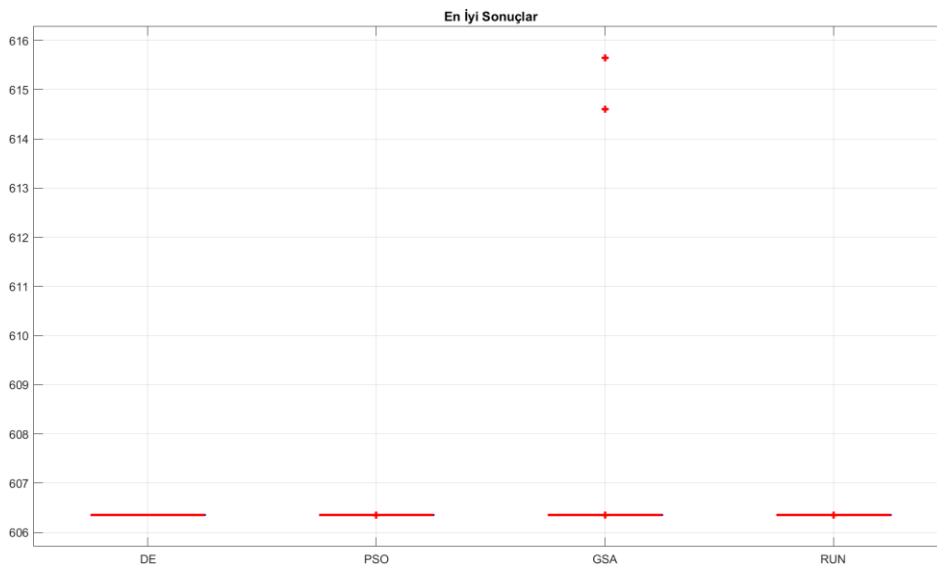
ulaştıkları görülmektedir. Bu durumda tüm algoritmalar daha düşük yakıt maliyeti değerine yakınsadığı fakat GSA ve RUN daha geç yakınsamıştır.

Şekil 5.90: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.90'daki grafiğe göre DE algoritması 56. iterasyonda, PSO algoritması 37. İterasyonda, GSA 226. İterasyonda, RUN'da ise 37. iterasyondan sonra sabitlenmiş ve 0.026845 *pu* değerine ulaşmıştır.

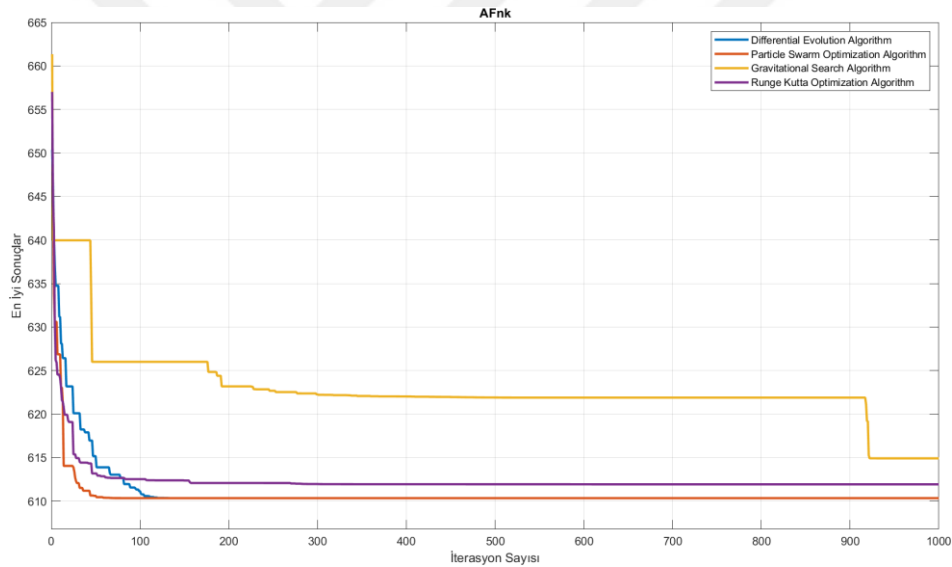
Şekil 5.91: Valf Noktası Etkisiz Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri



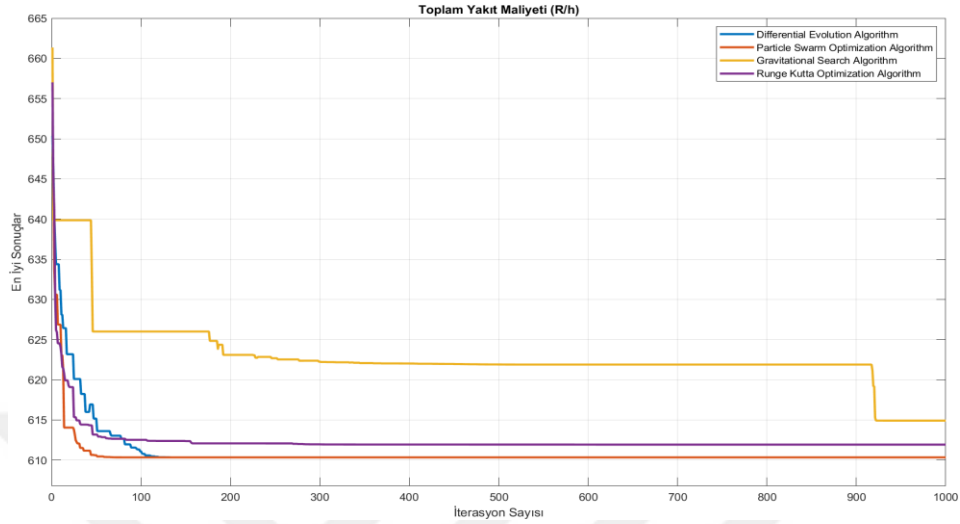
Şekil 5.91’de verilen kutu grafiğinde DE, PSO, GSA ve RUN’nın toplam yakıt maliyetinde en iyi değere ulaştığı ve bu algoritmaların kararlı oldukları görülmektedir. GSA’da iki adet sapan değer olduğu görülmektedir.

Valf noktası etkili kayıplı ekonomik güç dağıtım probleminin dört farklı algoritma ile AC güç akışı yöntemi kullanılarak bulunan çözümündeki eşitlik (5.11)’den hesaplanan amaç fonksiyonlarının (AF_{nk}) iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.92’de, toplam yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.93’te, iletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.94’de ve toplam yakıt maliyetinin kutu grafikleri ise Şekil 5.95’te verilmiştir.

Şekil 5.92: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Amaç Fonksiyonlarının (AF_{nk}) İterasyonlara Göre Değişimi

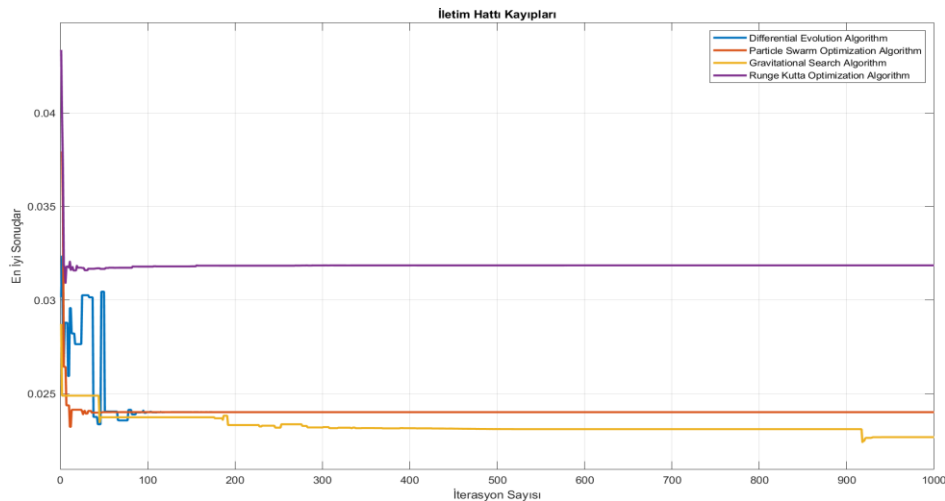


Şekil 5.93: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde Toplam Yakıt Maliyetinin İterasyonlara Göre Değişimi



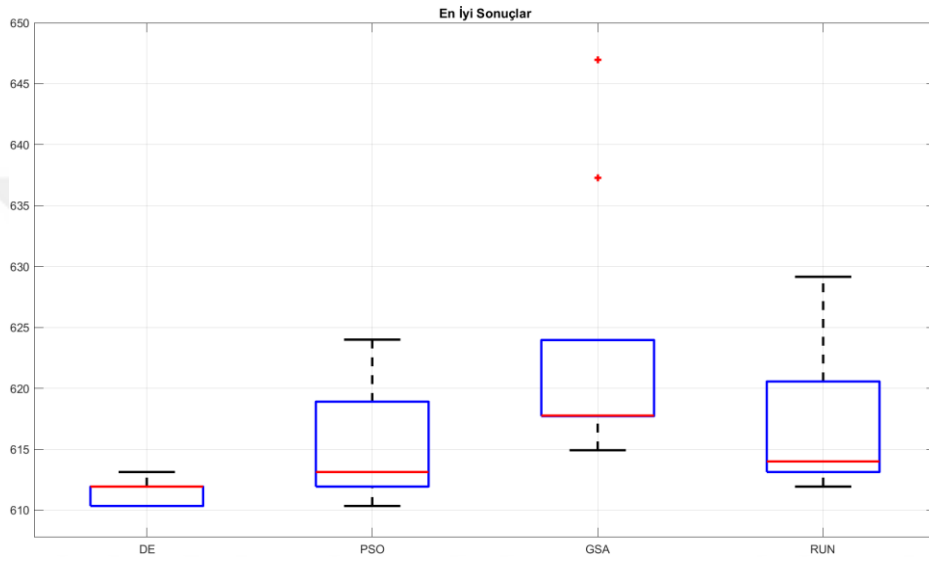
Şekil 5.92’de bulunan amaç fonksiyonu ve şekil 5.93’te bulunan yakıt maliyetinin iterasyonlara göre değişim grafikleri cezalar sıfıra gittiği için birbirine eşittir. Buna göre grafiklere göre DE ve PSO 120.iterasyonda 610,343588 R/h GSA 924. iterasyonda 614.918120 R/h ve RUN 160. iterasyonda 611.933554 R/h toplam yakıt maliyeti değerlerine ulaştıkları görülmektedir. Bu durumda GSA diğer algoritmalara göre daha kötü değer elde etmiştir.

Şekil 5.94: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümde İletim Hattı Kayıplarının İterasyonlara Göre Değişimi



Şekil 5.94'teki iletim hattı kayıplarının grafiğine göre DE ve PSO algoritmaları 98. iterasyonda 0,024013 *pu* değerine, GSA ise 937. iterasyonda 0.022676 *pu* değerine gelmiştir. RUN ise 159. iterasyondan sonra sabitlenmiş ve 0.031857*pu* değerine ulaşmıştır.

Şekil 5.95: Valf Noktası Etkili Kayıplı Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Dört Farklı Algoritma İle AC Güç Akış Analizi Yöntemi Kullanılan Çözümünden Elde Edilen Toplam Yakıt Maliyetinin Kutu Grafikleri



Şekil 5.95'te verilen kutu grafiğinde ise DE ve PSO toplam yakıt maliyetinde en iyi değere ulaşmıştır ve bu algoritmaların kararlı oldukları görülmektedir. GSA ve RUN ise toplam yakıt maliyetinde diğer algoritmalara göre daha kötü sonuç bulmuştur ve GSA'nın iki adet sapan değeri bulunmaktadır.



ALTINCI BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada ilk olarak Runge Kutta Algoritması (RUN) unimodal, multimodal ve sabit boyutlu multimodal test fonksiyonlarından seçilen toplamda 23 adet test fonksiyonuna başarı ile uygulanmış ve algoritmanın performansı gözlenmiştir. Algoritmanın performansını kıyaslayabilmek için aynı 23 adet test fonksiyonuna DE, PSO ve GSA uygulanarak bulunan sonuçlar RUN'ın sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. RUN'ın unimodal ve multimodal test fonksiyonlarındaki yakınsama hızı ve yakınsadığı değer bakımından performansının diğer algoritmalarla göre daha iyi olduğu görülmüştür. Sabit boyutlu test fonksiyonlarında da belirlenen aralıklara geç yakınsaması sebebiyle diğer algoritmaların gerisinde kalmıştır.

RUN'ın test fonksiyonlarındaki performansını gördükten sonra gerçek mühendislik problemlerinden biri olan ekonomik güç dağıtım problemi hem valf noktası etkisiz hem de valf noktası etkili olarak başarı ile çözülmüştür. Algoritmanın performansı modifiye edilmiş on baralı ve modifiye edilmiş otuz baralı test sistemi olmak üzere iki farklı test sistemi üzerinden gözlenmiştir. Her bir modifiye edilmiş örnek test sistemi hem kayıpsız hem de kayıplı olmak üzere iki farklı şekilde çözülmüştür. Kayıplı çözümde iletim hatlarındaki kayıplar hem B kayıp matrisi ile hem de Newton Raphson güç akış yöntemi ile hesaplanmıştır. Modifiye edilmiş on baralı ve modifiye edilmiş otuz baralı test sistemi DE, PSO ve GSA ile de çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar RUN'ın sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. RUN ile bulunan sonuçlarının DE ve PSO'nun sonuçlarının biraz gerisinde kaldığı gözlenmiştir. RUN'ın yakınsama hızının da DE ve PSO'ya göre biraz yavaş olduğu söylenebilir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda RUN algoritmasının performansının artırılması için iyileştirmeler yapılabilir. RUN algoritması farklı yapıdaki algoritmalarla birlikte kullanılarak hibrit yapıda farklı optimizasyon algoritmaları geliştirilebilir. RUN algoritması bu çalışmada ele alınmayan daha büyük boyutlu ve daha karmaşık yapılarındaki farklı ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanabilir.

KAYNAKÇA

- Abdilahi, A.M., Mustafa, M. W., Jamian, J. J., Usman, J. (2014, 24-25 March). *Empirical study of particle swarm optimization for economic load dispatch with valve-point effects* [Sözlü bildiri]. 2014 IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2014), Langkawi, Malaysia.
- Abou El Ela, A. A., Abido M. A., Spea S. R. (2010). Differential evolution algorithm for emission constrained economic power dispatch problem. *Electric Power Systems Research*, 80, 1286-1292.
- Ahmadianfar, I., Heidari, A. A., Gandomi, A. H., Chu, X., Chen, H. (2021). RUN beyond the metaphor: An efficient optimization algorithm based on Runge Kutta method. *Expert Systems with Applications*, 181, 115079.
- Basu, M. (2016). Kinetic gas molecule optimization for nonconvex economic dispatch problem. *Electrical Power and Energy Systems*, 80, 325–332.
- Cantaş, F., Özyön, S., Yaşar, C. (2022). Runge Kutta Optimization for Fixed Size Multimodal Test Functions. *International Scientific and Vocational Studies Journal*, 6(2),144-155.
- Chandrasekaran, K., Simon, S. P., Padhy, N. P. (2014). Cuckoo Search Algorithm for Emission Reliable Economic Multi-Objective Dispatch Problem. *IETE Journal of Research*, 60(2), 128-138.
- Cura T., (2008). *Modern sezgisel teknikler ve uygulamaları* (1. Basım). Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul.
- Deepro, S., Parimal, A. (2016, 20-22 October). *Hybridization of Cuckoo Search Algorithm and Chemical Reaction Optimization for Economic Load Dispatch Problem* [Sözlü bildiri]. 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), Iasi, Romania
- Elattar, E. E. (2014). A hybrid genetic algorithm and bacterial foraging approach for dynamic economic dispatch problem. *Electrical Power and Energy Systems*, 69, 18-26
- Enerji Bilgi Merkezi. (2023, 16 Haziran). Erişim Adresi: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>.

- He, X., Rao, Y., Huang, J. (2016). A novel algorithm for economic load dispatch of power systems. *Neurocomputing*, 171, 1454-1461.
- Hosseinnezhad, V., Rafiee, M., Ahmadian, M., Ameli, M. T. (2014). Species-based Quantum Particle Swarm Optimization for economic load dispatch. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, 311-322.
- Kaya, M. F., Yaşar, C., Özyön, S. (2022, 28-29 Nisan). *Meta-Sezgisel Balçık Kalıp Algoritmasının Performans Analizi - Performance Analysis of Meta Heuristic Slime Mould Algorithm* [Sözlü bildiri]. 4th Uluslararası Palandöken Bilimsel Çalışmalar Kongresi, Erzurum, Türkiye.
- Khoa, T. H., Vasant, P. M., Singh, M. S. B., Dieu, V. N. (2014, 9-14 December). *Swarm Based Mean variance Mapping Optimization (MVMOS) for Economic Dispatch Problem with Valve - Point Effects* [Sözlü bildiri]. 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Selangor, Malaysia.
- Kothari, D P., Nagrath I J. (2011). *Modern Güç Sistemi Analizi* (3th Edition). Tata McGraw Hill Education Private Limited, New Delhi.
- Labbi, Y., Attous, D. B., Mahdad, B. (2014). Artificial bee colony optimization for economic dispatch with valve point effect. *Frontiers in Energy*, 8, 449-458.
- Li, S., Chen, H., Wang, M., Heidari, A. A., Mirjalili, S., Slime mould algorithm: a new method for stochastic optimization. *Future generation computer systems*, 111, 300-323.
- Mahor, A., Prasad, V., Rangnekar, S., (2009). Economic dispatch using particle swarm optimization: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2134-2141.
- Meng, A., Li, J., Yin, H. (2016). An efficient crisscross optimization solution to large-scale non-convex economic load dispatch with multiple fuel types and valve-point effects. *Energy*, 113, 1147-1161.
- Modiri-Delshad, M., Kaboli, S. H. A., Renani, E. T., Rahim, N. A. (2016). Backtracking search algorithm for solving economic dispatch problems with valve-point effects and multiple fuel options. *Energy*, 116, 637-649.

- Nazra S., Roy P. K., Sinha A. (2022). *An Efficient Evolutionary algorithm applied to Economic load dispatch problem* [Sözlü bildiri]. Proceedings of the 2015 Third International Conference on Computer, Communication, Control and Information Technology (C3IT), Hooghly, India.
- Niu Q., Li K., Irwin G. W. (2015). Differential evolution combined with clonal selection for dynamic economic dispatch. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 27(3), 325–350.
- Oliveira, E. S., Silva I. C., Oliveira, L. W., Dias, B. H., Oliveira, E. J. (2015, 29 June-02 July). *Non-Convex Economic Dispatch using Trelea Particle Swarm Optimization* [Sözlü bildiri]. 2015 IEEE Eindhoven PowerTech, Eindhoven, Netherlands.
- Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H. (2020). Test fonksiyonları için kaos tabanlı yerçekimsel arama algoritmaları (CbGSA-X). *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(3), 1771-1793.
- Özyön, S., Yaşar, C. (2018). *Kısa dönem hidrotermal kordinasyon probleminin geliştirilen artırılmış yerçekimsel arama algoritması ile çözümü* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Dumlupınar Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği, Kütahya.
- Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H. (2018). Incremental gravitational search algorithm for high-dimensional benchmark functions. *Neural Computing and Applications*, 31, 3779-3803.
- Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H. (2011, 16-18 Mayıs). *Diferansiyel gelişim algoritmasının valf nokta etkili konveks olmayan ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması* [Sözlü bildiri]. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey.
- Özyön, S., Yaşar, C., Temurtaş, H. (2011, 16-18 Mayıs). *Particle Swarm Optimization Algorithm Applied to Environmental Economic Power Dispatch Problems Consisting of Thermal Units* [Sözlü bildiri]. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey.
- Özyön. S., (2019), Optimal Aktif Güç Dağıtımı İçin Karşıt Öğrenme Tabanlı Diferansiyel Gelişim Algoritması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(1), 231-246.

- Özyön, S., Yaşar, C., Durmuş, B., Temurtaş, H. (2012, 3-4 Temmuz). *Yerçekimsel Arama Algoritmasının Valf Nokta Etkili Konveks Olmayan Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerine Uygulanması* [Sözlü bildiri]. Asyu Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, Trabzon, Türkiye.
- Rama Prabha D., Jayabarathi T., Mageshvaran R., Vudutala Rahul Bharadwaj, Gundla Siddhartha (2016). Invasive Weed Optimization for Economic Dispatch with Valve Point Effects. *Journal of Engineering Science and Technology*, 11(2), 237-251.
- Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., Saryazdi, S. (2009). GSA: A gravitational search algorithm. *Information Sciences*, 179(13), 2232-2248.
- Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., Saryazdi, S., (2010). BGSA: Binary gravitational search algorithm. *Natural Computing*, 9(3), 727-45.
- Roy, P. K., Bhui, S., Paul, C. (2014). Solution of economic load dispatch using hybrid chemical reaction optimization approach. Solution of economic load dispatch using hybrid chemical reaction optimization approach. *Applied Soft Computing*, 24, 109–125
- Secui, D. C. (2015). The chaotic global best artificial bee colony algorithm for the multi-area economic/emission dispatch. *Energy*, 93, 2518-2545
- Storn, R., Price, K. (1997). Differential evolution-A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, 11, 341-359.
- Temurtaş, H., Yaşar, C., Özyön, S., (2017). Nümerik Fonksiyonların Optimizasyonu için Karşıt Tabanlı Yeni Bir MetaSezgisel Algoritma. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 922-937.
- Sum-Im T. (2016, 1-4 September). *An Enhanced Differential Evolution Algorithm Application to Economic Dispatch with Valve-Point Effects and System Losses Considerations* [Sözlü bildiri]. 2015 50th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Stoke on Trent, UK.
- TSKB Aylık Enerji Bülteni. (2022, 16 Haziran). Erişim Adresi: <https://www.tskb.com.tr/uploads/file/enerji-bulteni-mayis-2022.pdf>.

- Wang, L., Singh, C. (2007). Environmental/Economic Power Dispatch Using a Fuzzified Multi-Objective Particle Swarm Optimization Algorithm. *Electric Power Systems Research*, 77(12), 1654-1664.
- Yu, J. J. Q., Li, V. O. K. (2015). A social spider algorithm for solving the non-convex economic load dispatch problem. *Neurocomputing*, 171, 955–965
- Yuan, X., Ji, B., Zhang, S., Tian, H., Chen, Z. (2014). An improved artificial physical optimization algorithm for dynamic dispatch of generators with valve-point effects and wind power. *Energy Conversion and Management*, 82, 92-105.
- Zou, D., Li, S., Wang, G., Li, Z., Ouyang, H. (2016). An improved differential evolution algorithm for the economic load dispatch problems with or without valve-point effects. *Applied Energy*, 181, 375–390.

DİZİN

-A-

Akım, xv
 Algoritma, vii, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, 27, 82, 93, 94, 95, 96, 106, 107, 108, 109, 110, 120, 121, 122, 123, 124, 134, 135, 136, 137, 147, 148, 149, 150, 151, 163, 164, 165, 166, 167, 173
 Arama Mekanizması, , v, 22, 25, 27

-B-

B Kayıp Matrisi, i, ii, iii, viii, ix, xii, xiii, 96, 97, 98, 100, 102, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 137, 138, 139, 141, 143, 145, 147, 148, 149, 150, 151
 Bara, i, ii, 14, 84, 85, 96, 110, 126, 137, 151
 Başlatma Adımı, , 21

-Ç-

Çözümlerin Güncellenmesi, , 22

-D-

Diferansiyel Gelişim Algoritması, xv, 172

-E-

Ekonomik Güç Dağıtımı, xv
 ESQ, , v, 21, 25, 26, 27, 28
 Eşitlik, 12, 13, 15, 17, 82

-G-

Generatör, ii, iii, 14, 84, 126
 Gerilim, 14
 Güç akışı, 11, 12

-I-

IEEE, v, vi, 170, 171, 172

-İ-

İletim Hattı, i, ix, x, xii, xiii, xiv, 85, 96, 107, 109, 110, 121, 124, 126, 137, 148, 150, 151, 164, 166
 İterasyon, 157

-K-

Kayıp, v, 138
 Konveks, ii, 79, 84, 172
 Kutu Grafikleri, vii, viii, ix, x, xi, xiii, xiv, 94, 96, 107, 110, 122, 124, 135, 137, 148, 151, 164, 167

-M-

Matris, 138
 Modifiye edilmiş, 169
 Multimodal, v, vi, ii, 39, 57, 65, 76
 Mutasyon, 29, 30

-O-

Optimal, 172
 Optimizasyon, vi, xv, 32
 Ortalama, xv, 48, 57, 65

-Ö-

Örnek, v, i, 83, 125

-P-

Parçacık Sürü Optimizasyonu, xv, xvi
 Popülasyon, xv, 29

-R-

Reaktif Güç, iv, 111, 154
 Runge Kutta, vi, v, vi, xv, 3, 20, 79, 169, 170

-S-

Sabit Boyutlu, v, ii, 39, 65
 Salınım Barası, 14
 Süre, 48, 57, 65, 85, 87, 89, 91, 97, 99, 101, 103, 111, 114, 116, 118, 127,

128, 130, 132, 138, 140, 142, 144,
154, 156, 158, 160

-T-

Tek Hat, v, vii, x, 11, 84, 125
Termik, 2, 111, 154
Test Fonksiyonları, v, i, ii, 38, 39, 41,
42, 43, 44, 45, 46, 48, 57, 65
Test Sistemi, ii, iii, vii, 84, 97, 138
Toplam Yakıt Maliyeti, ii, iii, iv, vii,
viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, 92, 93, 94,
95, 96, 105, 106, 107, 108, 110, 119,
120, 122, 123, 124, 134, 135, 136,
137, 146, 147, 148, 150, 151, 162,
163, 164, 166, 167

-U-

Unimodal, v, vi, ii, 38, 48, 76

-Ü-

Ünite, 78

-V-

Valf, vi, v, vii, viii, ix, x, xi, xii, xiii,
xiv, 80, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92,
93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101,
102, 103, 104, 105, 106, 107, 108,
109, 110, 111, 112, 113, 114, 115,
116, 117, 118, 119, 120, 121, 122,
123, 124, 126, 127, 128, 129, 130,
131, 132, 133, 134, 135, 136, 137,
138, 139, 140, 141, 142, 143, 144,
145, 146, 147, 148, 149, 150, 151,
154, 155, 156, 157, 158, 159, 160,
161, 162, 163, 164, 165, 166, 167,
172

-Y-

Yakınsama Eğrileri, v, vi, 50, 51, 53,
54, 55, 56, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 66,
67, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 76