



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

**KAOTİK GÜVE SÜRÜ ALGORİTMASI KULLANARAK RÜZGAR
GÜCÜ ENTEGRELİ OPTİMAL GÜÇ AKIŞI**

YUNUS HINISLIOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. UĞUR GÜVENÇ**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ BAŞLIĞI BURAYA YAZILMALIDIR

Yunus HINISLIOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Uğur GÜVENÇ

Düzce Üniversitesi

Eş Danışman (Olmaması durumunda lütfen siliniz)

Prof. Dr.

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. (tez danışmanınızın ismi tekrar yazılmalıdır)

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. (jüri üyesinin ismi yazılmalıdır)

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. (jüri üyesinin ismi yazılmalıdır)

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. (jüri üyesinin ismi yazılmalıdır)

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi (jüri üyesinin ismi yazılmalıdır)

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: .../.../2017

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

28 Aralık 2018

Yunus HINISLIOĞLU

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Uğur GÜVENÇ’e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen çok değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Serhat DUMAN ve Doç. Dr. M. Kenan DÖŞOĞLU’na da şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

28 Aralık 2018

Yunus HINISLIOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. RÜZGAR GÜCÜ ENTEGRELİ OPTİMAL GÜÇ AKIŞI.....	4
2.1. OPTİMAL GÜÇ AKIŞI	4
2.1.1. Kısıtlamalar	5
2.1.1.1. Eşitlik Kısıtlamaları	5
2.1.1.2. Eşitsizlik Kısıtlamaları.....	5
2.2. RÜZGAR GÜCÜ	7
2.2.1. Rüzgar Gücü Karakterizasyonu.....	9
2.3. RÜZGAR ENTEGRELİ OPTİMAL GÜÇ AKIŞI FONKSİYONLARI.....	10
2.3.1. Genel Maliyet Hesabı.....	11
2.3.2. Parçalı Maliyet Hesabı.....	11
2.3.3. Gerilim Kararlılığı	12
2.3.4. Güç Kaybı	13
2.3.5. Valf Nokta Etkili Genel Maliyet Hesabı.....	13
2.3.6. Genel Maliyet Hesabı ve Emisyon Maliyeti.....	13
2.3.7. Genel Maliyet Hesabı ve Güç Kaybı	14
2.3.8. Genel Maliyet Hesabı ve Gerilim Sapması	15
2.3.9. Genel Maliyet Hesabı ve Gerilim Kararlılığı.....	15
2.3.10. Valf Nokta Etkili Genel Maliyet Hesabı ve Emisyon Maliyeti.....	16
2.3.11. Genel Maliyet Hesabı, Emisyon Maliyeti, Gerilim Sapması ve Güç Kaybı	16
3. KAOTİK GÜVE SÜRÜ ALGORİTMASI.....	17
3.1. GÜVE SÜRÜ ALGORİTMASI.....	17
3.1.1. İlham Kaynağı	17
3.1.2. Temel Kavram.....	17
3.1.3. Matematiksel Açıklama	18
3.1.3.1. Başlangıç Aşaması	18
3.1.3.2. Keşif Aşaması.....	18
3.1.3.3. Dikey Yönelim	22
3.1.3.4. Göksel Navigasyon.....	23

3.2. KAOTİK HARİTALAR.....	27
3.3. KAOS TABANLI GÜVE SÜRÜ ALGORİTMASI.....	29
4. SİMULASYON SONUÇLARI.....	33
4.1. IEEE 30 BARALI SİSTEM.....	34
4.1.1. Durum 1: Genel Maliyet Hesabı.....	36
4.1.2. Durum 2: Parçalı Maliyet Hesabı.....	38
4.1.3. Durum 3: Gerilim Kararlılığı	41
4.1.4. Durum 4: Güç Kaybı	44
4.1.5. Durum 5: Valf Nokta Etkili Genel Maliyet Hesabı.....	45
4.1.6. Durum 6: Genel Maliyet Hesabı ve Emisyon Maliyeti	49
4.1.7. Durum 7: Genel Maliyet Hesabı ve Güç Kaybı.....	52
4.1.8. Durum 8: Genel Maliyet Hesabı ve Gerilim Sapması.....	53
4.1.9. Durum 9: Genel Maliyet Hesabı ve Gerilim Kararlılığı.....	57
4.1.10. Durum 10: Valf Nokta Etkili Maliyet Hesabı ve Emisyon Maliyeti.....	59
4.1.11. Durum 11: Genel Maliyet, Emisyon Maliyeti, Gerilim Sapması ve Güç Kaybı	62
4.2. IEEE 57 BARALI SİSTEM.....	66
4.2.1. Durum 12: Genel Maliyet Hesabı.....	67
4.2.2. Durum 13: Genel Maliyet Hesabı ve Gerilim Sapması.....	69
4.2.3. Durum 14: Genel Maliyet Hesabı ve Gerilim Kararlılığı.....	70
4.2.4. Durum 15: Genel Maliyet Hesabı ve Emisyon Maliyeti	72
4.2.5. Durum 16: Valf Nokta Etkili Genel Maliyet Hesabı.....	74
4.3. IEEE 118 BARALI SİSTEM.....	76
4.3.1. Durum 17: Genel Maliyet Hesabı	76
4.3.2. Durum 18: Güç Kaybı	79
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	81
6. KAYNAKLAR.....	82
7. EKLER	86
7.1. EK 1: DURUM 12 İÇİN DEĞİŞKEN DEĞERLERİ	86
7.2. EK 2: DURUM 13 İÇİN DEĞİŞKEN DEĞERLERİ	88
7.3. EK 3: DURUM 14 İÇİN DEĞİŞKEN DEĞERLERİ	90
7.4. EK 4: DURUM 15 İÇİN DEĞİŞKEN DEĞERLERİ	92
7.5. EK 5: DURUM 16 İÇİN DEĞİŞKEN DEĞERLERİ	94
7.6. EK 6: DURUM 17 İÇİN DEĞİŞKEN DEĞERLERİ	96
7.7. EK 7: DURUM 18 İÇİN DEĞİŞKEN DEĞERLERİ	103
ÖZGEÇMİŞ.....	110

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Generatör giriş-çıkış karakteristiği.	14
Şekil 3.1. Güvelerin yakındaki ışık kaynakları etrafındaki spiral uçuşu.	23
Şekil 3.2. Güvelerin Ay'a göre sabit açıda uçuşu.	24
Şekil 3.3. Güve Sürü Algoritması akış şeması.	26
Şekil 4.1. Rüzgar Entegreli IEEE 30 Baralı Sistem.	34
Şekil 4.2. Durum 1 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	39
Şekil 4.3. Durum 2 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	42
Şekil 4.4. Durum 3 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	44
Şekil 4.5. Durum 4 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	44
Şekil 4.6. Durum 5 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	49
Şekil 4.7. Durum 6 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	49
Şekil 4.8. Durum 7 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	52
Şekil 4.9. Durum 8 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	55
Şekil 4.10. Durum 9 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	59
Şekil 4.11. Durum 10 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	62
Şekil 4.12. Durum 11 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	63
Şekil 4.13. Rüzgar Entegreli IEEE 57 Baralı Sistem.	67
Şekil 4.14. Durum 12 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	69
Şekil 4.15. Durum 13 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	70
Şekil 4.16. Durum 14 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	72
Şekil 4.17. Durum 15 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	72
Şekil 4.18. Durum 16 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	75
Şekil 4.19. Durum 17 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	78
Şekil 4.20. Durum 18 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.	80

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Test fonksiyonları.	30
Çizelge 3.2. Test fonksiyon sonuçları.	32
Çizelge 4.1. Çalışması yapılan farklı test fonksiyonları.	33
Çizelge 4.2. Çalışılan sistemler için karakteristik özellikler.	35
Çizelge 4.3. IEEE 30 baralı sistem için rüzgar gücüne ait katsayılar.	36
Çizelge 4.4. IEEE 30 baralı sistem için generatörlere ait maliyet katsayıları.	36
Çizelge 4.5. Durum 1 için değişken değerleri.	37
Çizelge 4.6. Durum 1 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	38
Çizelge 4.7. IEEE 30 baralı sistem için generatörlere ait parçalı maliyet katsayıları.	39
Çizelge 4.8. Durum 2 için değişken değerleri.	40
Çizelge 4.9. Durum 2 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	41
Çizelge 4.10. Durum 3 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	42
Çizelge 4.11. Durum 3 için değişken değerleri.	43
Çizelge 4.12. Durum 4 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	45
Çizelge 4.13. Durum 4 için değişken değerleri.	46
Çizelge 4.14. IEEE 30 baralı sistem için valf nokta etkili maliyet katsayıları.	47
Çizelge 4.15. Durum 5 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	47
Çizelge 4.16. Durum 5 için değişken değerleri.	48
Çizelge 4.17. IEEE 30 baralı sistem için genel ve emisyon maliyeti katsayıları.	50
Çizelge 4.18. Durum 6 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	50
Çizelge 4.19. Durum 6 için değişken değerleri.	51
Çizelge 4.20. Durum 7 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	53
Çizelge 4.21. Durum 7 için değişken değerleri.	54
Çizelge 4.22. Durum 8 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	55
Çizelge 4.23. Durum 8 için değişken değerleri.	56
Çizelge 4.24. Durum 9 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	57
Çizelge 4.25. Durum 9 için değişken değerleri.	58
Çizelge 4.26. Valf nokta etkili genel maliyet ve emisyon maliyeti katsayıları.	59
Çizelge 4.27. Durum 10 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	60
Çizelge 4.28. Durum 10 için değişken değerleri.	61
Çizelge 4.29. Genel maliyet ve emisyon maliyeti katsayıları.	63
Çizelge 4.30. Durum 11 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	64
Çizelge 4.31. Durum 11 için değişken değerleri.	65
Çizelge 4.32. IEEE 57 baralı sistem için rüzgar gücüne ait katsayılar.	66
Çizelge 4.33. IEEE 57 baralı sistem için generatörlere ait maliyet katsayıları.	68
Çizelge 4.34. Durum 12 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	68
Çizelge 4.35. Durum 13 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	70
Çizelge 4.36. Durum 14 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	71
Çizelge 4.37. IEEE 57 baralı sistem için genel ve emisyon maliyeti katsayıları.	73
Çizelge 4.38. Durum 15 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	73
Çizelge 4.39. IEEE 57 baralı sistem için valf nokta etkili maliyet katsayıları.	74
Çizelge 4.40. Durum 16 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	75

Çizelge 4.41. IEEE 118 baralı sistem için rüzgar gücüne ait katsayılar.	76
Çizelge 4.42. IEEE 118 baralı sistem için generatörlere ait maliyet katsayıları.	77
Çizelge 4.43. Durum 17 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	78
Çizelge 4.44. Durum 18 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.	79



KISALTMALAR

GA	Genetik algoritma
GSA	Güve sürü algoritması
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
KGSA	Kaotik güve sürü algoritması
OGA	Optimal güç akışı
PSOA	Parçacık sürü optimizasyon algoritması
SS	Standart sapma



SİMGELER

F	Amaç fonksiyonu
g	Eşitlik kısıt fonksiyonu
h	Eşitsizlik kısıt fonksiyonu
P	Aktif güç
S	İletim hat yükü
u	Bağımsız değişkenler vektörü
V	Gerilim
x	Bağımlı değişken vektörü
Q	Reaktif güç

ÖZET

KAOTİK GÜVE SÜRÜ ALGORİTMASI KULLANARAK RÜZGAR GÜCÜ ENTEĞRELİ OPTİMAL GÜÇ AKIŞI

Yunus HINISLIOĞLU

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Uğur GÜVENÇ

Aralık 2018, 109 sayfa

Optimal güç akışı (OGA) problemi, lineer ve konveks olmayan bir optimizasyon problemi olup, eşitlik ve eşitsizlik sınırlamalarına bağlı kalarak en iyi kontrol parametrelerini belirleme işlemidir. Optimal güç akışı probleminde üretim sistemi olarak termal generatörler kullanılabildiği gibi son yıllarda hem çevre kirliliğini azaltmak hem de daha verimli enerji üretimi sağlamak için yenilenebilir enerji kaynakları üretim sistemi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli örneklerinden bir tanesi olan rüzgar, güç sistemlerine entegre edilerek optimal güç akışı sağlanabilmektedir. Optimizasyon problemlerinin çözümünde günümüzde sezgisel algoritmalarından yararlanılmaktadır. Güve sürü algoritması (GSA), son yıllarda geliştirilmiş ve etkili sonuçlar elde edilen bir sezgisel optimizasyon algoritmasıdır. Bu tezde, güve sürü algoritmasında yer alan Lévy uçuşu yöntemi, kaotik haritalandırma yardımıyla iyileştirilmiş ve Kaotik Güve Sürü Algoritması (KGSA) oluşturulmuştur. Geliştirilmesi sağlanan bu algoritma kullanılarak güç sistemleri alanında günümüz önemli problemlerinden olan ve rüzgar entegre edilmiş Optimal güç akışı probleminin çözümü sağlanmıştır. Geliştirilen yöntem, The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 30 bara, IEEE 57 bara ve IEEE 118 bara sistemlerinde farklı amaç fonksiyonlarına uygulanmıştır. Sonuçlar, parçacık sürü optimizasyon algoritması (PSOA), genetik algoritma (GA) ve güve sürü algoritması ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarından yola çıkarak, geliştirilmiş olan metodun karşılaştırılan metotlara göre daha verimli ve etkin sonuçlar verdiği saptanmıştır.

Anahtar sözcükler: Güve Sürü Algoritması, Kaos, Optimal Güç Akışı, Rüzgar Gücü.

ABSTRACT

OPTIMAL POWER FLOW WITH INTEGRATED WIND POWER USING CHAOTIC MOTH SWARM ALGORITHM

Yunus HINISLIOĞLU

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical-Electronic
and Computer Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Uğur GÜVENÇ

December 2018, 109 pages

Optimal power flow is a nonlinear and non-convex optimization problem. The aim of the problem is to find the best control parameters while providing the equality and inequality constraints. In general, thermal generators are used in power systems for solving the optimal power flow problem. Besides, in recent years, renewable energy resources come into use in power system to reduce the environmental pollution and increase the productivity of the systems. One of the most popular renewable energy resources is wind power which can be used in optimization of power systems. Nowadays, the optimization process is performed by evolutionary algorithms. One of the newest evolutionary algorithm is the moth swarm algorithm which is an effective method for solving the optimization problems. In this thesis, Lévy flight method in moth swarm algorithm is improved by using different types of chaotic maps and presented as Chaotic Moth Swarm Algorithm. Chaotic moth swarm algorithm is applied on the wind integrated power system to solve optimal power flow problem. The proposed algorithm applied on IEEE 30 bus, IEEE 57 bus, and IEEE 118 bus systems with various objective functions. The results are compared with particle swarm algorithm, genetic algorithm and moth swarm algorithm. Simulation outcomes show that the developed method gives better and efficient results than the compared algorithms.

Keywords: Chaos, Moth Swarm Algorithm, Optimal Power Flow, Wind Power.

1. GİRİŞ

Elektriğin keşfinden günümüze kadar teknolojinin de gelişmesi ile birlikte elektriğe ihtiyaç duyulan alanlar giderek artmıştır. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için büyük ölçütlerde enerji üretim ve dağıtım sistemleri kurulmuştur. Sistemlerin büyümesi ile birlikte, enerji üretim sistemlerinin verimliliği ve ihtiyaçları en uygun şekilde karşılayabilmesi güç sistemleri alanında çok önemli bir problem haline gelmiştir.

Optimal güç akışı problemi, güç sistemlerinin verimli bir şekilde çalışması için sistem içerisindeki gücün en ideal şekilde akmasını temel alan bir problemdir [1]. Optimal güç akışı probleminin temel amacı, sistemi oluşturan elemanlara ait belirli kısıtlamalar dâhilinde ve sistem güvenliğini de ön planda tutarak, sistemin en uygun şekilde çalışmasını sağlayacak bir çözüm yöntemi bulmaktır.

Optimal güç akışı problemi yıllarca araştırmacılar tarafından çalışılmış ve farklı yöntemler kullanılarak problemin en iyi çözümünü bulmak için birçok yöntem uygulanmıştır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesinden önce optimal güç akışı problemini çözmek için araştırmacılar, farklı matematiksel yöntemler uygulamıştır. Bunlara örnek olarak; iç nokta yöntemi [2], lineer ve lineer olmayan programlama, kuadratik programlama [3]–[7] gösterilebilir. Ne yazık ki bu yöntemler, valf nokta etkisi ve çalışma koşullarındaki kısıtlamalar gibi gerçeğe yakın sistemlerin lineer olmayan ve kompleks özelliklerinden dolayı çözüm yöntemi olarak yetersiz olmaya başlamıştır.

Bu noktada, matematiksel yöntemlerin sahip olduğu dezavantajları ortadan kaldırmak için, teknolojinin de gelişmesiyle birlikte araştırmacılar tarafından sezgisel yöntemler kullanılmaya başlandı. Sezgisel yöntemler, genel olarak doğadaki belli kanunları esas alarak geliştirilmiştir. Optimal güç akışı probleminin çözümünde kullanılan sezgisel yöntemler içerisinde, doğadaki hayvan davranışlarına dayandırılan algoritmalara örnek olarak; Abido'nun 2002 yılında literatüre sunduğu, parçacık sürü optimizasyon algoritması kullanarak IEEE 30 baralı test sistemi üzerinde yakıt maliyeti, gerilim kararlılığı ve gerilim profili geliştirme gibi test fonksiyonlarının minimize edilme işlemi [8], Adaryani ve Karami'nin 2013 yılında yaptıkları çalışmayla literatüre kazandırdığı, yapay arı kolonisi algoritması kullanarak IEEE 9 baralı, IEEE 30 baralı ve IEEE 57 baralı

test sistemleri üzerinde toplam aktif güç kaybı, gerilim profili geliştirme ve toplam emisyon maliyeti gibi yedi farklı test fonksiyonunun minimize edilme işlemi [9], Roy ve Paul'un 2015 yılında literatüre kazandırdığı, kril sürüsü algoritması kullanarak standart IEEE 30 baralı, IEEE 57 baralı ve IEEE 118 baralı test sistemleri üzerinde yakıt maliyeti, gerilim sapması ve gerilim kararlılığı gibi test fonksiyonlarının minimize edilme işlemi [10], Mohamed ve diğerlerinin 2017 yılında yaptığı çalışmayla literatüre giren, güve sürü algoritması kullanarak IEEE 30 baralı, IEEE 57 baralı ve IEEE 118 baralı test sistemleri üzerinde yakıt maliyeti, emisyon maliyeti ve aktif güç kaybı gibi 14 farklı test fonksiyonunun minimize edilme işlemi [11] verilebilir. Aynı şekilde doğa kanunlarına dayanan algoritmalara örnek olarak; Roa-Sepulveda ve Pavez-Lazo'nun 2001 yılında literatüre kazandırdığı, benzetilmiş tavlama algoritması kullanarak 6 baralı ve IEEE 30 baralı test sistemleri üzerinde yakıt maliyeti test fonksiyonunun minimize edilme işlemi [12], Duman ve diğerlerinin 2012 yılında yaptıkları çalışmayla literatüre kazandırdığı yerçekimi arama algoritması kullanarak IEEE 30 baralı ve IEEE 57 baralı test sistemleri üzerinde yakıt maliyeti, gerilim profili geliştirme ve gerilim kararlılığı gibi altı farklı test fonksiyonunun minimize edilme işlemi [13] ve Bouktir ve diğerlerinin 2004 yılında literatüre kazandırdığı genetik algoritma kullanarak IEEE 30 baralı test sistemi üzerinde yakıt maliyeti test fonksiyonunun minimize edilme işlemi [14] verilebilir.

Son yıllarda sezgisel algoritmaların optimal güç akışı problemine ürettiği çözümlerin geliştirilmesi ve daha iyi sonuçlar alınabilmesi adına sezgisel algoritmalara belli başlı yöntemler entegre edilmiştir. Bu tarz çalışmalara örnek olarak; Bakirtzis ve diğerleri tarafından 2002 yılında yayınlanan çalışma ile literatüre giren, geliştirilmiş genetik algoritması kullanarak IEEE 30 baralı ve IEEE RTS-96 test sistemleri üzerinde yakıt maliyeti test fonksiyonunu minimize etme işlemi yapılmıştır [15]. Gaing tarafından 2005 yılında yapılan çalışma ile literatüre kazandırılan, orijinal PSO ve ayrık PSO'yu birleştirerek oluşturulan yeni bir metotla 9 baralı ve 26 baralı test sistemleri üzerinde çözüm kalitesi, yakınsama niteliği ve hesaplama verimliliği gibi test fonksiyonları çözümlenmiştir [16]. 2015 yılında Ayan ve diğerleri tarafından yapılan çalışmayla literatüre giren kaotik yapay arı kolonisi algoritması kullanarak IEEE 30 baralı ve İngiltere 39 baralı test sistemleri üzerinde maliyet hesabı test fonksiyonu minimize edilmiştir [17]. Mukherjee ve Mukherjee'nin 2015 yılında yapmış olduğu çalışmada kaotik kril sürüsü algoritması kullanarak standart 26 baralı ve IEEE 57 baralı test sistemleri üzerinde yakıt maliyeti, aktif güç kaybı ve toplam gerilim sapması test

fonksiyonlarının minimize edilme işlemi yapılmıştır [18].

Elektriğin üretiminde fosil yakıt kullanımının elektrik ihtiyacının artmasıyla doğru orantılı olarak artışından dolayı doğaya verilen zararda bir hayli artış meydana gelmiştir. Bu zararın azalması için yapılan bilimsel çalışmalardan yola çıkarak fosil yakıtlar ile elektrik üretimine alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak elektrik üretimi yapılmaya başlanmıştır. En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarına örnek olarak rüzgar gücü ve güneş enerjisi verilebilir. Rüzgar gücü veya güneş enerjisi, direkt olarak elektrik üretiminde kullanılabildiği gibi fosil yakıt kullanılan elektrik üretim tesislerine entegre edilerek üretim tesisleri kurulabilmektedir. Normal ve yenilenebilir yöntemlerin entegre edilmesiyle oluşturulan tesisler için de OGA problemi çözümüne ihtiyaç duyulmuştur. Bu tarz OGA problemleri ile ilgili bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalara örnek olarak: 2012 yılında Shi ve diğerlerinin yapmış oldukları çalışmada evrimsel algoritma kullanarak IEEE 10 generatörlü 39 baralı test sistemi üzerinde generatör ve rüzgar gücü maliyeti test fonksiyonlarının minimize işlemi gerçekleştirilmiştir [19]. Yine 2015 yılında Panda ve Tripathy tarafından yapılan başka bir çalışmada IEEE 30 baralı test sistemi üzerinde generatör ve rüzgar gücü maliyeti ve güç kaybı test sistemlerinin karınca kolonisi optimizasyon algoritması ve geliştirilmiş bakteriyel besin arama algoritması kullanarak minimize edilme işlemleri karşılaştırılmıştır [20].

Bu tezde 2017 yılında Mohamed ve diğerleri tarafından önerilen güve sürü algoritmasının kaotik haritalarla geliştirilmesi üzerinde çalışılmış ve literatürde bulunan optimal güç akışı problemine rüzgar gücü entegre edilerek bu geliştirilen algoritmanın verimliliğinin test edilmesi amaçlanmıştır. IEEE 30 baralı, IEEE 57 baralı ve IEEE 118 baralı güç sistemleri içerisinde bulunan belli generatörler, rüzgar tarlaları ile yer değiştirilerek farklı test sistemleri oluşturulmuştur. IEEE 30 baralı sistem için 11 farklı amaç fonksiyonu, IEEE 57 baralı sistem için 5 farklı amaç fonksiyonu ve IEEE 118 baralı sistem için 2 farklı amaç fonksiyonu olmak üzere toplam 18 farklı amaç fonksiyonunun iyileştirilmiş algoritma ile çözümlemesi sağlanmıştır.

2. RÜZGAR GÜCÜ ENTEGRELİ OPTİMAL GÜÇ AKIŞI

Elektriğin insan hayatına girmesi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte elektrik enerjisinin talep edilen miktarlarda üretilmesi ve kullanıcılara ulaştırılması karmaşık bir sistem halini almıştır. Bu karmaşık sistemlerin verimli çalışması için güç akışı hesaplamalarının yapılması ve en uygun şartların belirlenmesi, çözülmesi gereken önemli bir problem haline gelmiştir. Bu problemler, son yıllarda araştırmacılar tarafından da sıkça üzerinde durulan Optimal Güç Akışı problemi olarak adlandırılır. Bu kısımda optimal güç akışı problemi ve rüzgar gücü tanıtılmış; rüzgar gücünün optimal güç akışına entegre edilmesi ile oluşturulan farklı problem çeşitleri açıklanmıştır.

2.1. OPTİMAL GÜÇ AKIŞI

Optimal Güç Akışı problemi, lineer ve konveks olmayan optimizasyon problemi olup, verilen belirli parametrelere göre, eşitlik ve eşitsizlik sınırlamalarına bağlı kalarak en iyi kontrol parametrelerini belirleme işlemidir [11]. Optimal güç akışı problemi genel anlamda:

$$\min F(x, u) \quad (2.1)$$

$$g(x, u) = 0 \quad (2.2)$$

$$h(x, u) \leq 0 \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Formüllerde geçen x ve u ifadeleri sırasıyla bağımlı ve bağımsız değişkenlerin oluşturduğu vektörleri, $F(x, u)$ fonksiyonu minimize edilmesi istenen amaç fonksiyonunu, $g(x, u)$ ve $h(x, u)$ fonksiyonları ise sırasıyla eşitlik ve eşitsizlik sınırlarını tanımlayan fonksiyonlar olarak tanımlanabilir. x vektörü; salınım (slack) barasında bulunan generatörün aktif gücü P_{G1} , yük bara gerilimi V_L , generatörün reaktif gücü Q_G ve iletim hattı yükü S_l şeklinde tanımlanan bağımlı değişkenlerden oluşur ve:

$$x = [P_{G1}, V_{L1} \dots V_{LN}, Q_{G1} \dots Q_{GNG}, S_{I1} \dots S_{INL}] \quad (2.4)$$

şeklinde tanımlanır. Yük bara sayısı, gerilim kontrollü generatör bara sayısı ve iletim hattı sayısı sırasıyla LN , NG ve NL şeklinde ifade edilmiştir.

Aynı şekilde u vektörü de; PV baralarındaki generatörlerin aktif gücü P_G , generatör bara gerilimleri V_G , şönt kapasiteleri Q_C ve transformatör kademe ayarları T şeklinde tanımlanan bağımsız değişkenlerden oluşur ve:

$$u = [P_{G2} \dots P_{GNG}, V_{G1} \dots V_{GNG}, Q_{C1} \dots Q_{CNC}, T_1 \dots T_{NT}] \quad (2.5)$$

şeklinde tanımlanır. Gerilim kontrollü generatör bara sayısı, kapasiteli bara sayısı ve transformatörlü bara sayısı sırasıyla NG , NC ve NT şeklinde ifade edilmiştir.

2.1.1. Kısıtlamalar

Sistemin gerçek anlamda verimli çalışabilmesi için sistemde kullanılan elemanların belli sınırlar dâhilinde çalışması zorunludur. Bu kısıtlamalar, eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamaları olmak üzere ikiye ayrılır.

2.1.1.1. Eşitlik Kısıtlamaları

Denklem (2.2)' de g olarak genel bir formülle belirtilen eşitlik kısıtlamaları aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$P_{Gi} - P_{Di} - V_i \sum_{j=1}^{NB} V_j [G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)] = 0 \quad (2.6)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} - V_i \sum_{j=1}^{NB} V_j [G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) - B_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)] = 0 \quad (2.7)$$

Formüllerdeki P_{Gi} ve Q_{Gi} , i . generatörün aktif ve reaktif güçlerine, P_{Di} ve Q_{Di} , i . baraya ait talep edilen aktif ve reaktif güçlerine, V_i ve V_j , i . ve j . baralara ait gerilim değerlerine, G_{ij} , B_{ij} ve $(\delta_i - \delta_j)$ ifadeleri i . ve j . baralar arasındaki sırasıyla kondüktans, suseptans ve gerilim açısı farkına, NB kısaltması sistemdeki toplam bara sayısına karşılık gelmektedir.

2.1.1.2. Eşitsizlik Kısıtlamaları

Denklem (2.3)'te h olarak genel bir formülle belirtilen eşitsizlik kısıtlamaları, güç sistemlerinin çalışmasında rol alan generatör, transformatör, şönt kapasite ve iletim

hattına bağılı gerilim ve yük değerlerinin belli sınır aralıkları içinde kalması olarak tanımlanabilir. Optimal güç akışının verimli şekilde sağlanması için belirtilen değerlerin bu sınırlar içinde kalması zorunludur. Kısıtlamalar dört farklı başlıkta tanımlanabilir.

a. *Generatör Kısıtları*

Generatörlerin gerilimleri, aktif ve reaktif güçlerinin sınırlamaları:

$$V_{Gi}^{min} \leq V_{Gi} \leq V_{Gi}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NG \quad (2.8)$$

$$P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NG \quad (2.9)$$

$$Q_{Gi}^{min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NG \quad (2.10)$$

şeklinde tanımlanır. V_{Gi}^{min} ve V_{Gi}^{max} i . generatörün sırasıyla minimum ve maksimum bara gerilimini, P_{Gi}^{min} ve P_{Gi}^{max} i . generatörün sırasıyla minimum ve maksimum aktif güç değerlerini, Q_{Gi}^{min} ve Q_{Gi}^{max} i . generatörün minimum ve maksimum reaktif güç değerlerini ifade eder.

b. *Transformatör Kısıtları*

Transformatör kademe ayar sınırlamaları:

$$T_i^{min} \leq T_i \leq T_i^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NT \quad (2.11)$$

şeklinde tanımlanır. T_i^{min} ve T_i^{max} i . transformatörün minimum ve maksimum kademe değerlerini ifade eder.

c. *Şönt Kapasite Kısıtları*

Şönt kapasite sınırlamaları:

$$Q_{Ci}^{min} \leq Q_{Ci} \leq Q_{Ci}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NC \quad (2.12)$$

şeklinde tanımlanır. Q_{Ci}^{min} ve Q_{Ci}^{max} i . baradaki şönt kapasite değerinin minimum ve maksimum değerlerini ifade eder.

d. *Güvenlik Kısıtları*

Güvenlik kısıtları içerisinde yük baralarının gerilimleri ve iletim hatlarının akış limit değerleri:

$$V_{Li}^{min} \leq V_{Li} \leq V_{Li}^{max}, \quad i=1,2,\dots,LN \quad (2.13)$$

$$S_{li} \leq S_{li}^{max}, \quad i=1,2,\dots,NL \quad (2.14)$$

şeklinde tanımlanır. V_{Li}^{min} ve V_{Li}^{max} i . baranın minimum ve maksimum gerilimlerini, S_{li}^{max} i . iletim hattının maksimum akış limitini ifade eder.

2.2. RÜZGAR GÜCÜ

Optimal güç akışı problemleri genel olarak termal generatör içeren sistemlere uygulanır. Termal generatörlü sistemlerde generatörlerin kullandığı yakıtlar, optimal güç akışı problemlerinden biri olan maliyet hesabına doğrudan etkilidir. Ancak, sistem içerisinde termal generatörler dışında rüzgar türbinleri de kullanılabilir. Termal generatörlerin aksine rüzgar türbinleri enerji üretiminde herhangi bir yakıt kullanmadıkları için, maliyet hesaplamaları farklı parametreler yardımıyla yapılmaktadır [21]. Rüzgar santrallerinin maliyet hesabı yapılırken iki farklı durumu göz önünde bulundurmak gerekir. Bunlardan ilki, rüzgar santrallerinden gelen asıl gücün tahmin edilenden daha az olması durumudur ve *fazla tahmin (overestimation) maliyeti* olarak adlandırılır. Diğer bir durum ise fazla tahminin aksine rüzgar santrallerinden gelen asıl gücün tahmin edilenden daha fazla olması durumudur ve *az tahmin (underestimation) maliyeti* olarak adlandırılır [22]. Rüzgar gücünün maliyet hesaplama formülü:

$$C_W = \sum_{j=1}^{NW} (P_W \text{Cost}_{dir,j} + P_W \text{Cost}_{oe,j} + P_W \text{Cost}_{ue,j}) \quad (2.15)$$

şeklinde detaylı olarak tanımlanabilir. Formüldeki $P_W \text{Cost}_{dir,j}$ ifadesi rüzgar gücünün maliyetini, $P_W \text{Cost}_{oe,j}$ ve $P_W \text{Cost}_{ue,j}$ ifadeleri ise j . rüzgar gücü generatörünün fazla ve az tahmin maliyetlerini diğer bir deyişle ayrılmış ve ceza maliyetini temsil eder. Rüzgar gücü maliyeti:

$$P_W \text{Cost}_{dir} = \sum_{j=1}^{NW} (q_j \times w_j) \quad (2.16)$$

şeklinde ifade edilebilir. q_j ve w_j simgeleri sırasıyla elektrik enerjisi maliyet katsayısını (\$/MW) ve j . rüzgar generatörünün üretilen gerçek gücünü (MW) temsil eder [22].

Fazla tahmin maliyeti genel olarak:

$$P_W \text{Cost}_{oe} = \sum_{j=1}^{NW} \left(C_{rwj} \times E(Y_{oe,j}) \right) \quad (2.17)$$

şeklinde tanımlanır. C_{rwj} ve $E(Y_{oe,j})$ ifadeleri j . rüzgar generatörünün fazla tahmin maliyet katsayısını ve beklenen değerini temsil eder. Fazla tahmin için rüzgar generatörünün beklenen değeri daha ayrıntılı olarak:

$$\begin{aligned} E(Y_{oe,j}) = & w_j \left[1 - \exp\left(-\frac{v_{in,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) + \exp\left(-\frac{v_{out,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) \right] \\ & + \left(\frac{w_{r,j} v_{in,j}}{v_{r,j} - v_{in,j}} + w_j \right) \left[\exp\left(-\frac{v_{in,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) - \exp\left(-\frac{v_{1,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) \right] \\ & + \left(\frac{w_{r,j} C_j}{v_{r,j} - v_{in,j}} \right) \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{K_j}, \left(\frac{v_{1,j}}{C_j}\right)^{K_j}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{K_j}, \left(\frac{v_{in,j}}{C_j}\right)^{K_j}\right) \right] \end{aligned} \quad (2.18)$$

şeklinde ifade edilir [22].

Az tahmin maliyeti genel olarak:

$$P_W \text{Cost}_{ue} = \sum_{j=1}^{NW} \left(C_{pwj} \times E(Y_{ue,j}) \right) \quad (2.19)$$

şeklinde tanımlanır. C_{pwj} ve $E(Y_{ue,j})$ ifadeleri j . rüzgar generatörünün az tahmin maliyet katsayısını ve beklenen değerini temsil eder. Az tahmin rüzgar generatörünün beklenen değeri daha ayrıntılı olarak:

$$\begin{aligned} E(Y_{ue,j}) = & (w_{r,j} - w_j) \left[\exp\left(-\frac{v_{r,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) - \exp\left(-\frac{v_{out,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) \right] \\ & + \left(\frac{w_{r,j} v_{in,j}}{v_{r,j} - v_{in,j}} + w_j \right) \left[\exp\left(-\frac{v_{r,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) - \exp\left(-\frac{v_{1,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) \right] \\ & + \left(\frac{w_{r,j} C_j}{v_{r,j} - v_{in,j}} \right) \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{K_j}, \left(\frac{v_{1,j}}{C_j}\right)^{K_j}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{K_j}, \left(\frac{v_{r,j}}{C_j}\right)^{K_j}\right) \right] \end{aligned} \quad (2.20)$$

şeklinde ifade edilir [22].

Denklem (2.18) ve Denklem (2.20)'de geçen ifadeler:

- $\Gamma(.)$ tamamlanmamış gama fonksiyonunu,
- K_j, C_j j . rüzgar generatörünün Weibull dağılımına ait biçim ve ölçek çarpanını,
- v_r, v_{in}, v_{out} rüzgarının nominal, devreye girme ve devreden çıkma hızlarını,
- v_1 aracı parametreyi $v_1 = v_{in} + (v_r - v_{in}) w_1 / w_r$
- w_j ve $w_{r,j}$ j . rüzgar generatörünün üretilen ve nominal gücü

temsil eder.

2.2.1. Rüzgar Gücü Karakterizasyonu

Sistemde rüzgar gücü kullanıldığında rüzgar hızının karakterize edilmesi büyük önem arz etmektedir. Çünkü doğada rüzgar hızı çok belirsiz bir durumdadır. Weibull dağılımı, rüzgar hızını karakterize etmenin en yaygın yollarından bir tanesidir [21]. Weibull dağılımı:

$$f_v(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-(v/c)^k}, \quad 0 < v < \infty \quad (2.21)$$

şeklinde ifade edilir. Formülde v rüzgar hızının olasılığını, k ve c sırasıyla biçim ve ölçek çarpanını temsil eder [23].

Weibull dağılımının ortalaması:

$$\mu = c\Gamma\left(1 + k^{-1}\right) \quad (2.22)$$

şeklinde tanımlanabilir. Formüldeki gama fonksiyonu $\Gamma(x)$ ise Denklem (2.23)'te belirtilmiştir.

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt \quad (2.23)$$

Rüzgar generatörünün rüzgar hızına göre fonksiyonu Denklem (2.24)'te belirtildiği gibidir.

Formüldeki rüzgar hızı, devreye girme hızından düşük ve devreden çıkma hızından büyük ise çıkış gücü sıfır olur. Eğer rüzgar hızı, nominal hız ve devreden çıkma hızının arasında

$$P_w(v) = \begin{cases} 0 & , \quad v < v_{in} \text{ ve } v > v_{out} \\ p_{wr} \left(\frac{v - v_{in}}{v_r - v_{in}} \right) & , \quad v_{in} \leq v \leq v_r \\ p_{wr} & , \quad v_r < v \leq v_{out} \end{cases} \quad (2.24)$$

ise çıkış gücü nominal güce eşittir. Bu belirli sınırlar için, olasılıklar:

$$f_w(p_w) \{p_w = 0\} = 1 - \exp \left[- \left(\frac{v_{in}}{c} \right)^k \right] + \exp \left[- \left(\frac{v_{out}}{c} \right)^k \right] \quad (2.25)$$

$$f_w(p_w) \{p_w = p_{wr}\} = \exp \left[- \left(\frac{v_r}{c} \right)^k \right] - \exp \left[- \left(\frac{v_{out}}{c} \right)^k \right] \quad (2.26)$$

şeklinde verilebilir. Denklem (2.24)'teki rüzgar hızı, devreye girme hızı ve nominal hız arasında ise olasılık formülü:

$$f_w(p_w) = \frac{k(v_r - v_{in})}{c^k * p_{wr}} \left[v_{in} + \frac{p_w}{p_{wr}}(v_r - v_{in}) \right]^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v_{in} + \frac{p_w}{p_{wr}}(v_r - v_{in})}{c} \right)^k \right] \quad (2.27)$$

şeklinde hesaplanabilir [23].

2.3. RÜZGAR ENTEGRELİ OPTİMAL GÜÇ AKIŞI FONKSİYONLARI

Farklı sistemler için farklı amaç fonksiyonları kullanılarak optimal güç akışı problemi çözülebilmektedir. Bu amaç fonksiyonları, tek bir problem çözümü;

- genel maliyet hesabı,
- emisyon maliyeti,
- güç kaybı,
- valf nokta etkili genel maliyet hesabı

şeklinde olabileceği gibi, birden çok problemin birleştirilerek aynı anda çözümü;

- maliyet hesabı ve güç kaybı,

- valf nokta etkili maliyet hesabı ve emisyon maliyeti

şeklinde de olabilir.

2.3.1. Genel Maliyet Hesabı

Maliyet hesabı optimal güç akışı probleminin en yaygın çalışılan bir test fonksiyonudur. Sistemde yer alan termal generatörlerin ve rüzgar santrallerinin maliyetlerinin toplamı amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Denklem (2.1)'de verilen optimal güç akışı problemi genel amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

$$F = f_T + f_W \quad (2.28)$$

$$f_T = \sum_{i=1}^{NG} (a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i) \quad (2.29)$$

$$f_W = \sum_{j=1}^{NW} (P_W \text{Cost}_{dir,j} + P_W \text{Cost}_{oe,j} + P_W \text{Cost}_{ue,j}) \quad (2.30)$$

Denklem (2.28)'de genel maliyet fonksiyonu termal generatörlerin maliyeti f_T ve rüzgar gücü maliyeti f_W toplamalarına eşittir. Denklem (2.29)'da görülen a_i, b_i, c_i ifadeleri i . termal generatörüne ait maliyet katsayılarını simgeler ve P_{Gi} ifadesi ise i . termal generatöre ait gücü gösterir. Denklem (2.30)'da geçen $P_W \text{Cost}_{Dir,j}$ ifadesi j . rüzgar santraline ait gücü ve $P_W \text{Cost}_{oe,j}, P_W \text{Cost}_{ue,j}$ ifadeleri sırasıyla j . rüzgar santraline ait fazla ve az tahmin güçlerini temsil eder [11].

2.3.2. Parçalı Maliyet Hesabı

Elektrik üretim sistemlerinde termal generatörlerden tek bir yakıt çeşidi kullanılarak elektrik üretimi sağlanabilirken, petrol, doğalgaz, kömür gibi farklı yakıt çeşitleri de kullanılarak elektrik üretimi sağlanabilir. Yakıt çeşitliliğinin olduğu durumlarda generatörlere ait maliyet katsayıları da değişmektedir. Farklı yakıtlara ait maliyet katsayıları:

$$F_{mf, \text{cost}} = \begin{cases} a_{i1} P_{Gi}^2 + b_{i1} P_{Gi} + c_{i1} & P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi1} \\ a_{i2} P_{Gi}^2 + b_{i2} P_{Gi} + c_{i2} & P_{Gi1} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi2} \\ \vdots & \vdots \\ a_{ik} P_{Gi}^2 + b_{ik} P_{Gi} + c_{ik} & P_{Gik-1} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \end{cases} \quad (2.31)$$

şeklinde tanımlanabilir. Denklem (2.31)'de geçen a_{ik}, b_{ik} ve c_{ik} ifadeleri k tipi yakıt için i . generatöre ait maliyet katsayılarını simgeler. Bu tanımdan yola çıkılarak bu kısımda, amaç fonksiyonu olarak parçalı maliyet hesabı kullanılmıştır. Bir diğer ifadeyle, amaç fonksiyonu sistemde bulunan üç farklı generatör tipinin maliyetlerinin toplamı şeklinde tanımlanabilir. Bunlar, genel maliyet hesabı kısmında Denklem (2.29)'da belirtilen yakıta ait generatörlerin maliyetleri toplamı, farklı yakıtlara ait generatörlerin maliyetleri toplamı ve Denklem (2.30)'da verilen rüzgar santrallerine ait maliyetlerin toplamı şeklindedir. Denklem (2.1)'de verilen optimal güç akışı problemi genel amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir [11].

$$F = \sum_{i=1}^2 (a_{ik} P_{Gi}^2 + b_{ik} P_{Gi} + c_{ik}) + \sum_{i=3}^{NG} (a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i) + \sum_{j=1}^{NW} (P_W \text{Cost}_{dir,j} + P_W \text{Cost}_{oe,j} + P_W \text{Cost}_{ue,j}) \quad (2.32)$$

2.3.3. Gerilim Kararlılığı

Gerilim kararlılığı, güç sistemindeki her bir barada bulunan gerilimlerin belirlenen nominal değerlerde kaldığını, bu değerlerin ani değişikliklere uğramadan sabit bir seviyede durduğunu onaylamak için kullanılan bir test sistemidir. Gerilimdeki kararsızlığı, sistem düzeninde oluşan bir bozukluktan ya da yük talebindeki artıştan kaynaklanabilmektedir. Bu kararsızlık gerilimde kademeli bir düşüş meydana getirir. Bu yüzden, L-index adı verilen gerilim kararlılığı parametresinin maksimizasyonu, güç sistem planlaması ve işletilmesinde çok önemli bir amaç fonksiyonu haline gelmiştir. Bu durumdan yola çıkarak amaç fonksiyonu olarak yerel parametre L_j 'ye bağlı, j . baraya ait gerilim çökme derecesi aşağıdaki gibi tanımlanabilir [11].

$$L_j = \left| 1 - \sum_{i=1}^{NG} F_{ji} \frac{V_i}{V_j} \right| \quad \forall j = 1, 2, \dots, NL \quad (2.33)$$

$$F_{ji} = - \frac{[Y_2]}{[Y_1]} \quad (2.34)$$

Formüldeki Y_1 ve Y_2 matrisleri sistem Y baralarına ait alt matrislerdir. Bu durumda, bütün sisteme ait sistem kararlılığı:

$$f_L = \max(L_j) \quad \forall j = 1, 2, \dots, NL \quad (2.35)$$

şeklinde tanımlanabilir.

2.3.4. Güç Kaybı

Elektrik sistemlerinin en uygun durumda çalışmasında güç kaybının minimum düzeye düşmesi bir başka önemli husustur. Bu kısımda amaç fonksiyonu olarak güç kaybı hesabı kullanılmış Denklem (2.1)'de verilen genel amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir [11].

$$F = \sum_{i=1}^{NL} \sum_{j \neq i}^{NL} G_{ij} V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (2.36)$$

2.3.5. Valf Nokta Etkili Genel Maliyet Hesabı

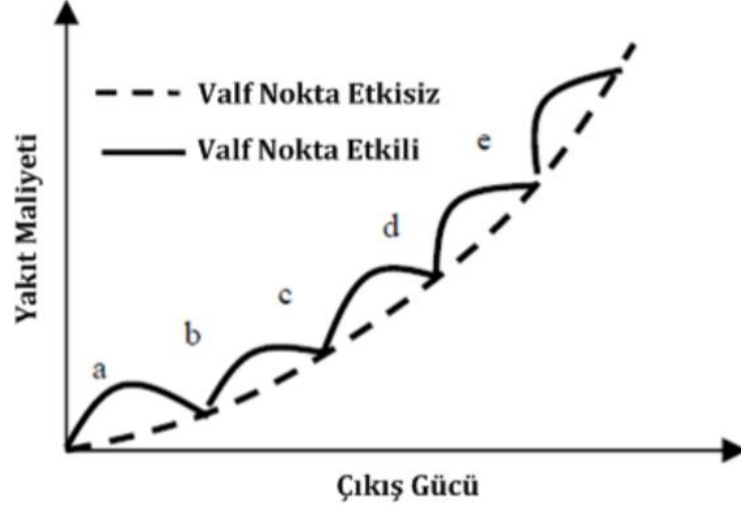
Termal generatörlerde maliyet hesaplaması Denklem (2.29)'da tanımlanmıştır ve giriş ve çıkış eğrisi Şekil 2.1'de kesik çizgilerle gösterilmiştir. Ancak gerçek sistemlerin yakıt maliyetini modellemek için valf nokta etkisinin de dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 2.1'de gösterilen kalın çizgi, valf nokta etkili generatör giriş ve çıkış eğrisini göstermektedir [24]. Amaç fonksiyonu olarak valf nokta etkili genel maliyet hesabı kullanılmış ve Denklem (2.1)'de verilen genel amaç fonksiyonu Denklem (2.37)'deki şekilde düzenlenmiştir.

$$F = \sum_{i=1}^{NG} a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i + \left| d_i \sin \left(e_i \left(P_{Gi}^{\min} - P_{Gi} \right) \right) \right| + \sum_{i=1}^{NW} \left(P_W Cost_{dir,j} + P_W Cost_{oe,j} + P_W Cost_{ue,j} \right) \quad (2.37)$$

Denklem (2.37)'de a_i, b_i, c_i, d_i ve e_i ifadeleri i . generatöre ait maliyet katsayılarıdır.

2.3.6. Genel Maliyet Hesabı ve Emisyon Maliyeti

Güç sistemlerinde sadece bir amaca yönelik problemlerin çözümü yapılabildiği gibi birden fazla amacın birlikte kullanılması ile oluşturulan problemler için çözüm yöntemleri geliştirilmektedir. Hava kirliliğine sebep olan kirli gazların emisyon seviyesinin minimizasyonu elektrik üretimi aşamasında önem verilen bir konudur. Bu kirliliğe sebep olan NOX ve SOX gibi iki önemli gazın emisyon minimizasyonu ile genel maliyet hesabı birleştirilerek amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.1. Generatör giriş-çıkış karakteristiği [24].

Denklem (2.1)'de verilen genel amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir [11].

$$F = f_{T-W} + C_{tax} f_E \quad (2.38)$$

$$f_{T-W} = \sum_{i=1}^{NG} (a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i) + \sum_{i=1}^{NW} (P_W Cost_{dir,j} + P_W Cost_{oe,j} + P_W Cost_{ue,j}) \quad (2.39)$$

$$f_E = \sum_{i=1}^{NG} (\gamma_i P_{Gi}^2 + \beta_i P_{Gi} + \alpha_i + \varsigma_i e^{(\lambda_i P_{Gi})}) \quad (2.40)$$

Amaç fonksiyonu F , termal generatör ve rüzgar gücüne ait genel maliyet f_{T-W} ve emisyon maliyeti f_E toplamına eşittir ve C_{tax} ifadesi amaç fonksiyonları arasındaki dengesizliği ortadan kaldırmak için belirlenen denge katsayısını simgeler. Denklem (2.40)'da verilen $\gamma_i, \beta_i, \alpha_i, \varsigma_i$ ve λ_i sabitleri i . birimin emisyon katsayılarını simgelemektedir [11].

2.3.7. Genel Maliyet Hesabı ve Güç Kaybı

Bu kısımda amaç fonksiyonu olarak genel maliyet hesaplamasının yanında güç kaybı hesabı da dikkate alınmış, Denklem (2.1)'de verilen genel amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

$$F = f_{T-W} + \lambda_{GK} f_{GK} \quad (2.41)$$

$$f_{T-W} = \sum_{i=1}^{NG} (a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i) + \sum_{i=1}^{NW} (P_W Cost_{dir,j} + P_W Cost_{oe,j} + P_W Cost_{ue,j}) \quad (2.42)$$

$$f_{GK} = \sum_{i=1}^{NL} \sum_{j \neq i}^{NL} G_{ij} V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (2.43)$$

Denklem (2.41)'de verilen λ_{GK} denge katsayısını temsil etmektedir.

2.3.8. Genel Maliyet Hesabı ve Gerilim Sapması

Gerilim profili, güç sistemleri için en önemli konulardan biridir. Gerilim profilinin geliştirilmesi için yük baralarının gerilimlerindeki sapmaların en aza indirilmesi gerekmektedir. Bu kısımda, genel maliyet hesabı ve gerilim sapması birlikte kullanılarak Denklem (2.1)'deki amaç fonksiyonu, Denklem (2.44)'te yeniden düzenlenmiştir.

$$F = f_{T-W} + \lambda_{GS} f_{GS} \quad (2.44)$$

$$f_{T-W} = \sum_{i=1}^{NG} (a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i) + \sum_{i=1}^{NW} (P_W Cost_{dir,j} + P_W Cost_{oe,j} + P_W Cost_{ue,j}) \quad (2.45)$$

$$f_{GS} = \sum_{i=1}^{LN} |V_{L_i} - 1| \quad (2.46)$$

Denklem (2.44)'te verilen λ_{GS} denge katsayısını temsil etmektedir.

2.3.9. Genel Maliyet Hesabı ve Gerilim Kararlılığı

Bu kısımda amaç fonksiyonu olarak genel maliyet hesabının yanında gerilim kararlılığı da dikkate alınmış, Denklem (2.1)'de verilen genel amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

$$F = f_{T-W} + \lambda_L f_L \quad (2.47)$$

$$f_{T-W} = \sum_{i=1}^{NG} (a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i) + \sum_{i=1}^{NW} (P_W Cost_{dir,j} + P_W Cost_{oe,j} + P_W Cost_{ue,j}) \quad (2.48)$$

$$f_L = \max(L_i) \quad (2.49)$$

Denklem (2.47)'de verilen λ_L denge katsayısını temsil etmektedir.

2.3.10. Valf Nokta Etkili Genel Maliyet Hesabı ve Emisyon Maliyeti

Bu kısımda amaç fonksiyonu olarak Denklem (2.37)'de belirtilen valf nokta etkili genel maliyet hesabının yanında Denklem (2.40)'da verilen emisyon maliyeti de dikkate alınmış, Denklem (2.1)'de verilen genel amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

$$F = f_{Valf} + C_{tax} f_E \quad (2.50)$$

$$f_{Valf} = \sum_{i=1}^{NG} a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i + \left| d_i \sin \left(e_i \left(P_{Gi}^{\min} - P_{Gi} \right) \right) \right| + \sum_{i=1}^{NW} \left(P_W Cost_{dir,j} + P_W Cost_{oe,j} + P_W Cost_{ue,j} \right) \quad (2.51)$$

$$f_E = \sum_{i=1}^{NG} \left(\gamma_i P_{Gi}^2 + \beta_i P_{Gi} + \alpha_i + \varsigma_i e^{(\lambda_i P_{Gi})} \right) \quad (2.52)$$

2.3.11. Genel Maliyet Hesabı, Emisyon Maliyeti, Gerilim Sapması ve Güç Kaybı

Bu kısımda amaç fonksiyonu olarak birden çok amaç fonksiyonu birlikte kullanılmıştır. Bu amaç fonksiyonları; genel maliyet hesabı, Denklem (2.40)'da belirtilen emisyon maliyeti, Denklem (2.46)'da verilen gerilim sapması ve Denklem (2.36)'da verilen güç kaybıdır. Bu amaç fonksiyonları birleştirilerek Denklem (2.1)'de verilen genel amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir.

$$F = f_{T-W} + \lambda_E C_{tax} f_E + \lambda_{GS} f_{GS} + \lambda_{GK} f_{GK} \quad (2.53)$$

$$f_{T-W} = \sum_{i=1}^{NG} \left(a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i \right) + \sum_{i=1}^{NW} \left(P_W Cost_{dir,j} + P_W Cost_{oe,j} + P_W Cost_{ue,j} \right) \quad (2.54)$$

$$f_E = \sum_{i=1}^{NG} \left(\gamma_i P_{Gi}^2 + \beta_i P_{Gi} + \alpha_i + \varsigma_i e^{(\lambda_i P_{Gi})} \right) \quad (2.55)$$

$$f_{GS} = \sum_{i=1}^{LN} |V_{L_i} - 1| \quad (2.56)$$

$$f_{GK} = \sum_{i=1}^{NL} \sum_{j \neq i}^{NL} G_{ij} V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j) \quad (2.57)$$

3. KAOTİK GÜVE SÜRÜ ALGORİTMASI

3.1. GÜVE SÜRÜ ALGORİTMASI

Güve sürü algoritması, 2017 yılında Mohamed ve diğerleri tarafından güvelerin besin arama ve yön bulma yöntemlerinden esinlenilerek oluşturulmuş bir sezgisel algoritma çeşididir [11].

3.1.1. İlham Kaynağı

Pulkanathılar (Lepidoptera) familyasını oluşturan güve ve kelebek türleri, dünyadaki bütün türler arasında %53 oranına sahip olan böcek sınıfı içerisinde ikinci sırada yer alır. Güveler ve diğer gececi böcekler gün ışığında avcı hayvanlardan saklanmaya çalışırlar ve geceleri karanlıkta yön bulmak ve yemek kaynaklarını keşfetmek için göksel navigasyon tekniği yöntemini kullanırlar. Güveler, ay gibi uzaysal ışık kaynakları ile aralarındaki hareket açısını sabit tutarak düz bir rotada uzun uçuşlar yaparlar. Ancak, dünya üzerinde bulunan ve uzaysal ışık kaynaklarından daha yakın olan yapay ışık kaynakları nedeniyle yararsız bir sarmal yörüngede hareket ederler [11], [25], [26].

3.1.2. Temel Kavram

Güve sürü algoritmasında, optimizasyon probleminin çözümü ışık kaynağının konumu olarak belirlenmiştir ve çözümün amaç fonksiyonu da ışık kaynağının parlaklık oranı olarak tanımlanmıştır. Algoritma içerisinde tanımlanan güve sürüsü üç grup halinde değerlendirilmiştir. Bunlar: yolbulucular, arayıcılar ve izleyicilerdir [11].

Yolbulucular, sürü içerisinde küçük bir grubu (n_p) oluştururlar ve “ilk giren son çıkar” (First In-Last Out) prensibine göre optimizasyon evreni içerisinde yeni alanlar keşfederler. Bu grubun asıl amacı problem içerisindeki en iyi sonuçları yani en iyi ışık kaynaklarının yerlerini belirleyip asıl sürüyü buraya yönlendirmektir [11].

Arayıcılar, yolbulucular tarafından belirlenen ışık kaynakları etrafında rastgele sarmal şekilde hareket eden sürü içerisindeki güve grubudur [11].

İzleyiciler, arayıcılar tarafından belirlenen optimizasyon evrenindeki en iyi sonuca doğru

hareket eden güve grubudur.[11]

3.1.3. Matematiksel Açıklama

Herhangi bir döngüde, optimizasyon evreni içerisinde (x_i) olarak tanımlanan her bir güve, ona ait olan ışık kaynağının parlaklık oranını $(f(x_i))$ bulmak için görevlendirilmiştir. Sürü içerisindeki en iyi uygunluk değerleri, yolbulucuların pozisyonu olarak tanımlanır ve bu tanımlama bir sonraki güncellenmiş döngü için kılavuz görevi görür. Daha sonra, ikinci ve üçüncü uygunluk değerleri ise sırasıyla arayıcılar ve izleyiciler olarak adlandırılır. Güve sürü algoritması dört aşamalı olarak çalıştırılmıştır [11].

3.1.3.1. Başlangıç Aşaması

İşlem başlangıcında, d boyutlu ve n nüfuslu bir problemde, arama ajanı güvelerin pozisyonları Denklem (3.1)'e göre rastgele bir biçimde üretilmiştir.

$$x_{ij} = rand[0,1] \cdot (x_j^{\max} - x_j^{\min}) + x_j^{\min} \quad (3.1)$$

formüldeki $x_j^{\max}$ ve $x_j^{\min}$ ifadeleri üst ve alt limitleri temsil eder [11].

Başlangıç aşamasından sonra, sürüdeki her bir güvenin türü, hesaplanan uygunluk değerlerine göre belirlenir. Bu hesaplama sonucunda, en iyi uygunluk değerine sahip güveler yolbulucular olarak, ikinci sıradaki uygunluk değerine sahip güveler arayıcılar ve en kötü uygunluk değerleri izleyiciler olarak seçilir [11].

3.1.3.2. Keşif Aşaması

Güve sürü algoritmasında, global aramadaki sürü kalitesi optimizasyon sürecinde düşüş gösterir. Güveler, iyi gibi görünen alanlarda yoğunlaşabilir ve bu durum durgunluğa sebep olur. Erken gelişen yakınsamaya engel olmak ve çeşitliliği geliştirmek için sürüde bulunan bir grup güve, daha az kalabalık olan alanları keşfetmek için seçilirler. Bu seçilmiş grup yolbulucular olarak tanımlanır ve birbirleriyle iletişime geçerek (geçiş işlemi) konumlarını günceller. Konum güncelleme işlemi, Lévy mutasyon olarak adlandırılan güvelerin uzun mesafe uçuşa yetenekleri ile ilişkilendirilir ve beş başlık altında tanımlanabilir [11].

a. Önerilen geçiş noktaları için çeşitlilik indeksi

Geçiş noktalarını seçmek için çözümlerin çeşitliliğini artırmak amacıyla yeni bir yöntem sunulmuştur. İlk önce, t döngüsü için, j 'inci boyuttaki bireylerin normalleştirilmiş yayılma derecesi σ_j^t aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\sigma_j^t = \frac{\sqrt{\frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} (x_{ij}^t - \bar{x}_j^t)^2}}{\bar{x}_j^t} \quad (3.2)$$

formüldeki $\bar{x}_j^t = \frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} x_{ij}^t$ şeklinde tanımlanır ve n_p ise yolbulucu güve sayısını ifade eder [11]. Daha sonra, bağıl yayılma için ölçü olan değişim katsayısı μ^t aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$\mu^t = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d \sigma_j^t \quad (3.3)$$

Düşük yayılma derecesine sahip yolbulucu güvelerin herhangi bir bileşeni geçiş noktası grubunda c_p kabul edilir ve gereksinimleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$j \in c_p \quad \text{if} \quad \sigma_j^t \leq \mu^t \quad (3.4)$$

b. Lévy uçuşu

Lévy uçuşu ya da Lévy hareketi, α -kararlı dağılımına dayanan ve farklı ölçülerde adım büyüklüğü kullanarak büyük boyuttaki mesafelerde hareket etme kabiliyeti olan rastgele işlemlerdir. Lévy α -kararlı dağılımı; ağır kuyruklu olasılık yoğunluk fonksiyonu, fraktal istatistik ve anormal dağılım ile son derece bağlantılıdır. $\lambda(q) \sim |q|^{-1-\alpha}$ olarak ifade edilen bireysel sıçramaların olasılık yoğunluk fonksiyonu, büyük üretilen değişken q 'da azalır [27]. Karakteristik üs olarak da adlandırılan kararlılık indeksi $\alpha \in [0, 2]$, dağılımın azalan kısmının kuyruğundaki oranı tanımlar ve kuyruk indeksi büyükse azalma yavaştır [28]. Genel Lévy dağılımının yoğunluğu için birkaç özel durum vardır. Bu durumlar aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

- Eğer yoğunluk:

$$f(q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_G} \exp\left(-\frac{(q-\mu)^2}{2\sigma_G^2}\right) \quad -\infty < q < \infty \quad (3.5)$$

şeklinde ise Gauss dağılımı veya Normal dağılım, $q \sim N(\mu, \sigma_G^2)$ olur [11].

- Eğer yoğunluk:

$$f(q) = \frac{1}{\pi(\sigma^2 + (q-\mu)^2)} \quad -\infty < q < \infty \quad (3.6)$$

şeklinde ise Cauchy dağılımı, $q \sim \text{cauchy}(\sigma, \mu)$ olur [11].

- Eğer yoğunluk:

$$f(q) = \sqrt{\frac{\gamma}{2\pi}} \frac{1}{(q-\mu)^{3/2}} \exp\left(-\frac{\sigma}{2(q-\mu)}\right) \quad 0 < \mu < q < \infty \quad (3.7)$$

şeklinde ise Lévy dağılımının basit versiyonu, $q \sim \text{Levy}(\sigma, \mu)$ olur [11].

Lévy dağılımı diğer dağılımlardan daha ağır kuyruğa sahiptir. Mantegna'ya ait algoritmada [29], Lévy-uçuşundaki davranışın aynısına sahip rastgele örnekler, L_i , üretilerek α -kararlı dağılımı benzetilmiştir. Bu durum aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$L_i \sim \text{step} \oplus \text{Levy}(\alpha) \sim 0.01 \frac{u}{|y|^{1/\alpha}} \quad (3.8)$$

formüldeki, step ifadesi ilgili problemin ölçeğine bağlı ölçekleme büyüklüğünü, $\oplus$ ifadesi matrisin elemanlarının bireysel çarpımını, $u = N(0, \sigma_u^2)$ ve $y = N(0, \sigma_y^2)$ ifadeleri

de iki normal olasılıksal dağılımı $\sigma_u = \left[\frac{\Gamma(1+\alpha) \sin \pi \alpha / 2}{\Gamma((1+\alpha)/2) 2\alpha 2^{(\alpha-1)/2}} \right]^{1/\alpha}$ ve $\sigma_y = 1$ şeklinde

tanımlanır [11].

c. Lévy mutasyonu fark vektörleri

$n_c \in c_p$ geçiş işlem noktaları için, GSA, donör vektörlerin ($\vec{x}_{r^1} = [x_{r^1_1}, x_{r^1_2}, \dots, x_{r^1_{n_c}}]$ gibi) elemanları ile bağlantılı, host vektörün ($\vec{x}_p = [x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pn_c}]$) seçilen elemanlarını bozarak $\vec{v}_p = [v_{p1}, v_{p2}, \dots, v_{pn_c}]$ şeklinde bir alt-iz vektörü oluşturur. Bu tarz bir alt-iz vektörü oluşturmak için mutasyon yöntemi aşağıdaki şekilde kullanılabilir:

$$\vec{v}_p^t = \vec{x}_{r^1}^t + L_{p1}^t \cdot (\vec{x}_{r^2}^t, -\vec{x}_{r^3}^t) + L_{p2}^t \cdot (\vec{x}_{r^4}^t, -\vec{x}_{r^5}^t) \quad \forall r^1 \neq r^2 \neq r^3 \neq r^4 \neq r^5 \neq p \in \{1, 2, \dots, n_p\} \quad (3.9)$$

formülde, L_{p1} ve L_{p2} ifadeleri mutasyon ölçekleme katsayısı olarak kullanılan bağımsız iki ayrı değişkendir ve ağır kuyruklu Lévy-uçuşu ($L_p \sim \text{random}(n_c) \oplus \text{Levy}(\alpha)$) yardımı ile üretilmiştir. Karşılıklı indeks grubu $(r^1, r^2, r^3, r^4, r^5, p)$ yolbulucu çözümlerinden özellikle seçilir [11].

d. Sürü çeşitliliğine dayanan uyarlanabilir geçiş işlemi

Tamamlanan iz çözümlerini başarmak yerine, her yolbulucu çözümü (host vektörü) geçiş işlemi kanalıyla, alt-iz vektörünün birleşik mutasyona uğramış değişkenleri kullanılarak konumunu günceller. Tamamlanan iz çözümü V_{pj} aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$V_{pj}^t = \begin{cases} v_{pj}^t & \text{if } j \in c_p \\ x_{pj}^t & \text{if } j \notin c_p \end{cases} \quad (3.10)$$

Değişim katsayısı μ^t yukarıdaki formülde değişim indeksi olarak kullanılmamıştır, onun yerine geçiş oranını kontrol etmek için kullanılmıştır.

e. Seçme Yöntemi

Bir önceki aşama bittikten sonra, tamamlanan iz çözümünün uygunluk değeri hesaplanır ve ilgili host çözümü ile karşılaştırılır. En uygun çözümler bir sonraki nesil için seçilir ve minimizasyon problemi için aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

$$\vec{x}_p^{t+1} = \begin{cases} \vec{x}_p^t & \text{if } f(\vec{V}_p^t) \geq f(\vec{x}_p^t) \\ \vec{V}_p^t & \text{if } f(\vec{V}_p^t) < f(\vec{x}_p^t) \end{cases} \quad (3.11)$$

Olasılık değeri P_p , parlaklık yoğunluğu fit_p ile orantılı olarak aşağıdaki gibi tahmin edilir:

$$P_p = \frac{fit_p}{\sum_{p=1}^{n_p} fit_p} \quad (3.12)$$

Parlaklık yoğunluğu, amaç fonksiyon değerinden (f_p) minimizasyon problemleri için aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$fit_p = \begin{cases} \frac{1}{1+f_p} & \text{for } f_p \geq 0 \\ 1+|f_p| & \text{for } f_p < 0 \end{cases} \quad (3.13)$$

3.1.3.3. Dikey Yönelim

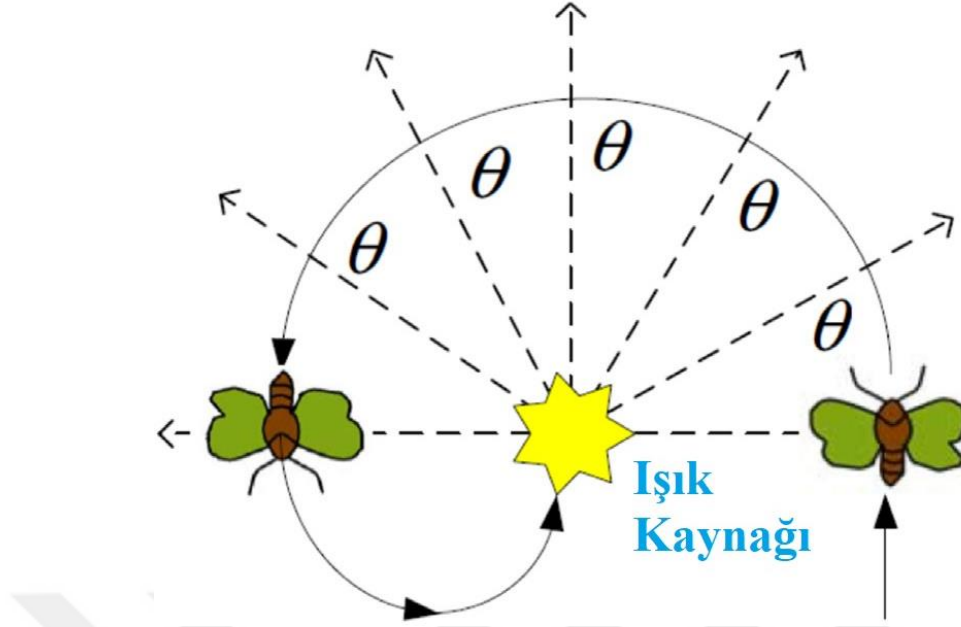
Işık kaynağına doğru hareket eden böceklerin, koni tepesi ile açılarını sabit tutup koni yüzeyini çevreleyen bir yörünge çizerek oluşturduğu konik logaritmik spiraller, doğada sürekli rastlanan ve araştırmacılar tarafından kullanılan bir hareket çeşididir [30], [31]. Bu hareket, güve-alevi optimizasyonunda iki boyuta indirgenerek düzlemsel bir spiral bit yörünge haline getirilmiştir [32]. Algoritma içerisinde, yolbuluculardan sonra en iyi parlaklık yoğunluklarına sahip güveler arayıcılar olarak isimlendirilir. T olarak belirlenen döngü süreci boyunca n_f olarak tanımlanan arayıcıların sayısındaki azalış aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$n_f = \text{round}\left((n - n_p) \times (1 - x)\right) \quad x = \frac{t}{T} \quad (3.14)$$

Her bir x_i arayıcısı, Şekil 3.1’de belirtilen spiral şeklindeki uçuş yörüngesine göre konumlarını günceller. Bu güncelleme işlemi matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$x_i^{t+1} = \left| x_i^t - x_p^t \right| e^{\theta} \cdot \cos 2\pi\theta + x_p^t \quad \forall p \in \{1, 2, \dots, n_p\}; i \in \{n_p + 1, n_p + 2, \dots, n_f\} \quad (3.15)$$

Formülde $\theta \in [r, 1]$ ifadesi spiral şekli tanımlayan rastgele sayıdır ve $r = -1 - t/T$ ‘dir.



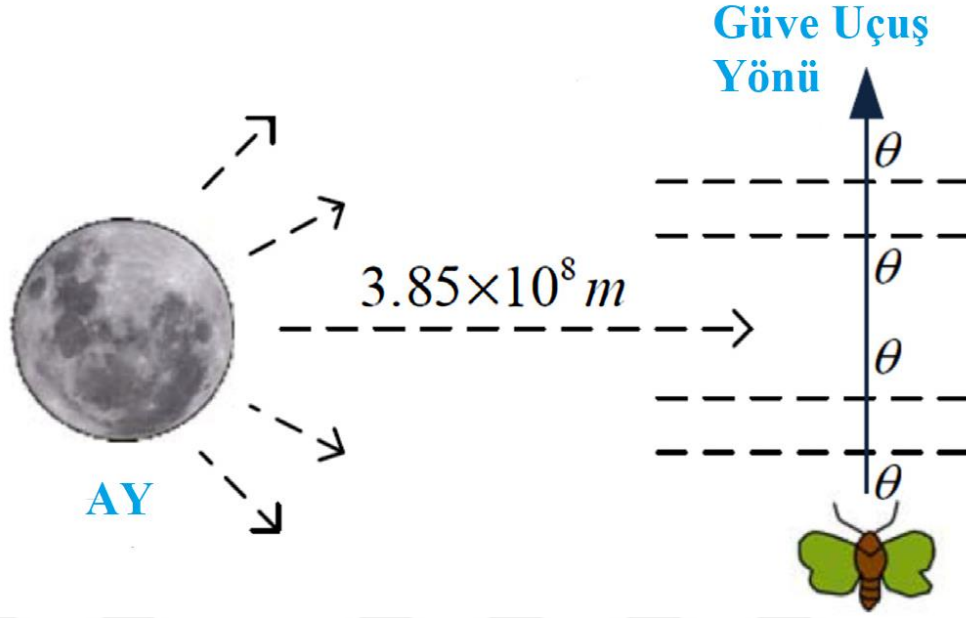
Şekil 3.1. Güvelerin yakındaki ışık kaynakları etrafındaki spiral uçuşu [11].

Denklem (3.15)'te güve-alevi algoritmasındaki logaritmik uçuş yörüngesi kullanılmıştır. Ancak, bu yüzeysel harekete iki adet güncelleme yapılmıştır. İlk güncelleme olarak, hesapsal maliyeti düşürmek için her bir güveye tümleşik birim gibi davranılır. İkinci güncelleme işlemi ise, Denklem (3.12)'deki temel olasılık fonksiyonu P_p kullanılarak yerel aramayı geliştirmek için ışık kaynağı x_p seçilir.

Güve sürü algoritmasında, her güvenin cinsi dinamik olarak değişir. Dolayısıyla, herhangi bir arayıcı güve, var olan ışık kaynaklarından daha fazla parlaklığı olan bir ışık kaynağı bulur ve yolbulucu güve olarak terfi eder.

3.1.3.4. Göksel Navigasyon

Optimizasyon sürecinde, arayıcı güve sayısındaki azalma izleyici güve sayısını artırır ($n_0 = n - n_f - n_p$), bu da, evrensel çözüme doğru güve sürü algoritmasındaki yakınsama oranı hızında ani bir artışa sebep olur. En düşük parlaklık yoğunluğuna sahip güveler izleyici güve olarak belirlenir. Bu güveler, Şekil 3.2'de gösterildiği gibi en parlak çözüme (Ay'a) doğru uçarlar. Bu aşamada, güve sürü algoritması, izleyici güveleri arayıcı güvelerin etkin noktalarına doğru daha verimli bir arama yapmaya zorlamaktadır. İzleyici güveler iki gruba ayrılır.



Şekil 3.2. Güvelerin Ay'a göre sabit açıda uçuşu [11].

a. Gauss yürüyüşü

Bu kısımda, arama evrenindeki daha fazla ümit veren alanlara odaklanılmıştır. Gauss olasılıksal dağılımı, rastgele örneklerin dağılımını sınırlama kabiliyetinden dolayı bu rolü üstlenir ve bunun sonucunda da bir sonraki nüfusun konumundaki farklılıkları sınırlamış olur. Boyutu $n_G = \text{round}(n_0/2)$ 'ye eşit olan ilk kısım, Denklem (3.5)'i kullanarak Gauss dağılımına göre yürüyüşü gerçekleştirirler. Bu alt-grubun içindeki yeni izleyici güveler (x_i^{t+1}) Gauss yürüyüşü ile hareket ederler. Bu durum:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \varepsilon_1 + [\varepsilon_2 \times \text{best}_g^t - \varepsilon_3 \times x_i^t]; \forall i \in \{1, 2, \dots, n_G\} \quad (3.16)$$

$$\varepsilon_1 \sim \text{random}(\text{size}(d)) \oplus N\left(\text{best}_g^t, \frac{\log t}{t} \times (x_i^t - \text{best}_g^t)\right) \quad (3.17)$$

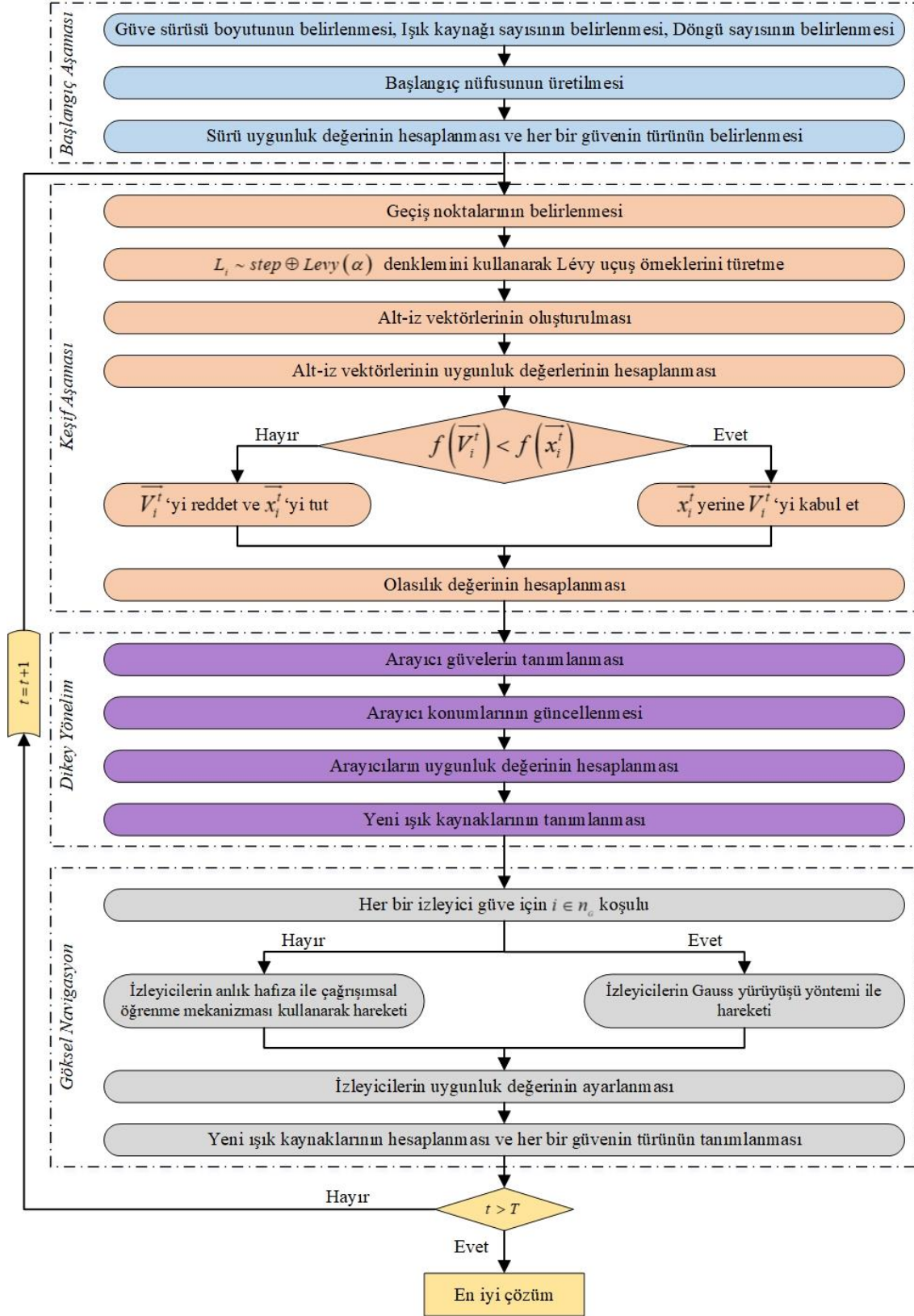
şeklinde ifade edilebilir. Formülde, ε_1 ifadesi bu grubun boyutuna bağlı olarak Gauss olasılıksal dağılımından çıkarım yapılmış rastgele örnekleri, best_g ifadesi geçiş yönelim aşamasından elde edilen evrensel en iyi çözümü ve ε_2 ve ε_3 ifadeleri ise $[0,1]$ arasında eşit oranda dağılan rastgele sayıları temsil eder.

b. Anlık hafıza ile çağrışımsal öğrenme mekanizması

Bu tarzda bir hafıza, bir nesildeki bilgileri bir sonraki nesle aktarmak için birçok optimizasyon algoritmalarında bulunur. Ancak gerçek dünyada, güvelerin evrimsel hafızaları bulunmadığı için ateşe düşerler. Güvelerin davranışları, çağrışımsal öğrenme ve kısa-dönem hafıza tanımlarından kuvvetli bir şekilde etkilenmiştir [33], [34]. Çağrışımsal öğrenme kabiliyeti, güveler arasındaki iletişimde büyük rol oynar [35], [36]. Bu yüzden, boyutu $ton_A = n_0 - n_G$ olan izleyici güvelerin ikinci kısmı, doğadaki güvelerin fiili davranışlarını taklit etmek için anlık hafıza ile çağrışımsal öğrenme operatörlerine göre ay ışığına doğru yönelmekle görevlendirilirler. Anlık hafıza, $x_i^t - x_i^{\min}$ ve $x_i^{\max} - x_i^t$ aralığında sürekli düzgün Gauss dağılımı kullanılarak başlatılmıştır. Bu çeşidin güncelleme denklemi:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + 0.001.G \left[x_i^t - x_i^{\min}, x_i^{\max} - x_i^t \right] + (1 - g/G) \cdot r_1 \cdot (best_p^t - x_i^t) + 2g/G \cdot r_2 \cdot (best_g^t - x_i^t) \quad (3.18)$$

şeklinde tamamlanabilir. Formülde, $i \in \{1, 2, \dots, n_A\}$, $2g/G$ ifadesi sosyal faktörü, $1 - g/G$ ifadesi bilişsel faktörü, r_1 ve r_2 ifadeleri $[0,1]$ arasında rastgele sayıları ifade ederler. Geçiş yöneline benzer olarak, $best_p$ ifadesi, ilişkin çözümün olasılık değerine bağlı olarak yeni yolbulucuların grubundan rastgele seçilmiş ışık kaynağını temsil eder. Algoritmaya ait akış şeması Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Güve Sürü Algoritması akış şeması [11].

3.2. KAOTİK HARİTALAR

Kaos teoremi, belirleyici ve lineer olmayan dinamik sistemlerindeki dengesiz ve düzensiz davranışların nitelikli şekilde çalışılmasıdır [37]. Kaos genellikle lineer olmayan sistemlerde bulunur ayrıca ergodiklik, olasılıksal özellikler ve düzensizlik gibi birçok özelliği de bünyesinde barındırır [38]. Kaosun tekrarlama gibi bir özelliği yoktur, bu yüzden temeli olasılıklara dayanan olasılıksal aramaya göre düşey aramayı daha yüksek hızlarda yapabilir [39].

Kaotik sistemler, başlangıç koşullarından çok fazla etkilenirler. Başlangıç koşullarındaki küçük değişiklikler sistemin sonucunda büyük değişikliklere sebep olurlar. Kaotik sistemler rastgele davranışlar sergilese de, kaotik özellikler göstermesi için sistemin rastgelelik temeline dayanmasına gerek yoktur. Diğer bir ifadeyle, rastgele olmayan sistemler de kaotik özelliklere sahip olabilirler [40].

Sezgisel algoritmalara kaotik davranışlar kazandırmak için rastgele değerlerin yerine kaotik haritalar kullanılmıştır [41]. Mirjalili ve Gandomi çalışmalarında yerçekimi arama algoritmasının lokal minimum noktasına takılmasını ve yavaş yakınsama durumunu ortadan kaldırmak için kaotik haritaları algoritmaya entegre etmiştir [40]. Aynı şekilde; Gandomi et al. tarafından ateşböceği algoritmasını geliştirmek için ve Wang et al. tarafından krill sürü algoritmasını geliştirmek için kaotik haritalar kullanılmıştır [42], [39].

Güvenç et al. çalışmasında, güve sürü algoritmasında güve çeşitlerini belirlemek için farklı kaotik haritalar kullanılmıştır [43]. Bu haritalar aşağıda belirtilen şekilde kullanılmıştır.

- Çebişev (Chebyshev) [40]:

$$x_{i+1} = \cos\left(i \cos^{-1}(x_i)\right) \quad (3.19)$$

haritası (-1,1) değerleri arasında sınırlandırılmıştır.

- Çember (Circle) [40]:

$$x_{i+1} = \text{mod}\left(x_i + b - \left(\frac{a}{2\pi}\right)\sin(2\pi x_i), 1\right) \quad a = 0.5 \quad b = 0.2 \quad (3.20)$$

haritası (0,1) değerleri arasında sınırlandırılmıştır.

- Gauss/Mouse [40]:

$$x_{i+1} = \begin{cases} 1 & x_i = 0 \\ \frac{1}{\text{mod}(x_i, 1)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.21)$$

haritası (0,1) değerleri arasında sınırlandırılmıştır.

- Yinelemeli (Iterative) [40]:

$$x_{i+1} = \sin\left(\frac{a\pi}{x_i}\right), \quad a = 0.7 \quad (3.22)$$

haritası (-1,1) değerleri arasında sınırlandırılmıştır.

- Biçimsel (Logistic) [40]:

$$x_{i+1} = ax_i(1 - x_i) \quad a = 4 \quad (3.23)$$

haritası (0,1) değerleri arasında sınırlandırılmıştır.

- Parçalı (Piecewise) [40]:

$$x_{i+1} = \begin{cases} \frac{x_i}{P} & 0 \leq x_i \leq P \\ \frac{x_i - P}{0.5 - P} & P \leq x_i \leq 0.5 \\ \frac{1 - P - x_i}{0.5 - P} & 0.5 \leq x_i \leq 1 - P \\ \frac{1 - x_i}{P} & 1 - P \leq x_i \leq 1 \end{cases} \quad P = 0.4 \quad (3.24)$$

haritası (0,1) değerleri arasında sınırlandırılmıştır.

- Sinüs (Sine) [40]:

$$x_{i+1} = \frac{a}{4} \sin(\pi x_i) \quad a = 4 \quad (3.25)$$

haritası (0,1) değerleri arasında sınırlandırılmıştır.

- Singer [40]:

$$x_{i+1} = \mu \left(\frac{7.68x_i - 23.31x_i^2 + 28.75x_i^3 - 13.302875x_i^4}{\mu} \right) \quad \mu = 2.3 \quad (3.26)$$

haritası (0,1) değerleri arasında sınırlandırılmıştır.

- Sinüzoidal (Sinusoidal) [40]:

$$x_{i+1} = ax_i^2 \sin(\pi x_i) \quad a = 2.3 \quad (3.27)$$

haritası (0,1) değerleri arasında sınırlandırılmıştır.

- Çadır (Tent) [40]:

$$x_{i+1} = \begin{cases} \frac{x_i}{0.7} & x_i < 0.7 \\ \frac{10}{3}(1-x_i) & x_i \geq 0.7 \end{cases} \quad (3.28)$$

haritası (0,1) değerleri arasında sınırlandırılmıştır.

Bütün kaotik haritaların başlangıç değeri 0.7 alınmıştır.

3.3. KAOS TABANLI GÜVE SÜRÜ ALGORİTMASI

Literatüre kazandırılan güve sürü algoritması yeni bir metot olmasına rağmen problem çözümünde belli başlı eksiklikleri ortaya çıkmaktadır. Güve sürü algoritmasında yolbulucuların konumlarının güncellenme aşamasında kullanılan Lévy uçuşu yöntemi, çözüm etrafında daha uzak noktalar bulmak ve global arama yapmak için nadiren uzun adımlara izin verir. Ancak, uzun adımların nadiren oluşması çözümün yerel noktalarda kalma olasılığını artırmaktadır

Lin ve diğerleri 2012 yılında yapmış oldukları çalışmada yarasa algoritmasının geliştirilmesi için kaos kullanılmıştır. Algoritma içerisinde bulunan Lévy uçuşu yöntemine kaos ekleyerek, çözümün yerel noktalarda takılması önleyen ve ayrıca global arama özelliğini de iyileştiren bir yöntem geliştirilmiştir [44]. Bu çalışmadan esinlenilerek güve sürü algoritmasında benzer bir yöntem kullanılması amaçlanmıştır.

Başlık 3.1.3.2’de b başlığında yer alan Lévy uçuşuna kaos eklenerek güve sürü algoritmasının global arama özelliği bakımından yeterli bir yöntem olması sağlanabilir.

Denklem (3.8)'deki formüle kaos eklenerek aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

$$L_i \sim k \oplus step \oplus Levy(\alpha) \sim k \frac{u}{|y|^{1/\alpha}} 0.01 \quad (3.29)$$

Denklem (3.29)'da k ifadesi Başlık 3.2'de belirtilen haritalardan yola çıkılarak aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$k_i = k_i^{değer} x_i \quad (3.30)$$

$$k^{değer} = \left(\max - \frac{t}{T} (\max - \min) \right) \quad (3.31)$$

Denklem (3.30)'da yer alan x_i ifadesi kullanılan kaos haritasının fonksiyonudur.

Denklem (3.31)'de yer alan $k^{değer}$ ifadesi döngüye bağlı ve $[\min, \max]$ arasında sınırlı kaos değerini gösterir. Bu çalışmada minimum ve maksimum değerler sırasıyla $[10^{-10}, 0.9]$ alınmıştır.

İyileştirilen yöntemin doğruluğunu test etmek için Çizelge 3.1'de verilen en iyi bilinen yedi farklı test fonksiyonu kullanılmıştır ve fonksiyona ait boyut ve aralık değerleri çizelgede verilmiştir [45].

Çizelge 3.1. Test fonksiyonları.

Test Fonksiyonu	Boyut	Aralık
$F_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$	30	[-100,100]
$F_2(x) = \sum_{i=1}^n x_i + \prod_{i=1}^n x_i $	30	[-10,10]
$F_3(x) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)^2$	30	[-100,100]
$F_4(x) = \max_i \{ x_i , 1 \leq i \leq n\}$	30	[-100,100]
$F_5(x) = \sum_{i=1}^{n-1} \left[100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2 \right]$	30	[-30,30]
$F_6(x) = \sum_{i=1}^n ([x_i + 0.5])^2$	30	[-100,100]
$F_7(x) = \sum_{i=1}^n i x_i^4 + random[0,1)$	30	[-1.28,1.28]

Önerilen kaotik güve sürü algoritmasında güve sayısı olarak 50 güve kullanılmıştır. Maksimum döngü sayısı 500 ve yolbulucu sayısı 7 olarak belirlenmiştir. Toplam 10 bağımsız çalıştırma sonucunda minimum, ortalama ve standart sapma (SS) değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2’de yer alan KGSA1’den KGSA10’a kadar olan terimler sırasıyla Çebişev (Chebyshev), Çember (Circle), Gauss/Mouse, Yinelemeli (Iterative), Biçimsel (Logistic), Parçalı (Piecewise), Sinüs (Sine), Singer, Sinüzoidal (Sinusoidal) ve Çadır (Tent) kaotik haritaları eklenmiş güve sürü algoritmalarını temsil etmektedir.

Çizelge 3.2’ye en iyi sonuç açısından bakılırsa, F1 test fonksiyonu için KGSA6 yönteminin, F2 test fonksiyonu için KGSA1 yönteminin, F3 ve F4 test fonksiyonları için KGSA4 yönteminin, F5 test fonksiyonu için KGSA9 yönteminin ve F7 test fonksiyonu için KGSA2 yönteminin en iyi sonuca sahip olduğu görülebilmektedir. Aynı şekilde ortalama değer ve standart sapma açısından bakılırsa, F1 ve F2 için KGSA3 yönteminin, F3 ve F4 için KGSA2 yönteminin, F5 için KGSA6 yönteminin ve F7 için KGSA9 yönteminin en iyi sonuçlara sahip olduğu görülebilir. Test fonksiyonlarından sadece F6 için orijinal GSA yöntemi hem en iyi, hem ortalama hem de standart sapma değerleri için en iyi sonuca sahiptir. Genel bir söyleyişle güve sürü algoritmasına kaos eklenerek oluşturulan yöntemlerle algoritmanın geliştirilmesi sağlanabilmektedir.

Çizelge 3.2. Test fonksiyon sonuçları.

		GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
F1	Min	3,9604e-192	3,1746e-192	7,1969e-194	3,7410e-193	1,7499e-192	4,5093e-193	1,9862e-199	3,9975e-191	4,7337e-196	5,3780e-196	1,7627e-193
	Ort	2,0364e-179	2,0596e-180	2,8452e-184	9,8395e-188	4,4893e-184	2,8563e-180	1,1501e-185	7,5088e-176	4,6488e-182	1,1835e-181	2,5704e-184
	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2	Min	2,2962e-98	1,9838e-103	1,8709e-100	1,2191e-99	4,6399e-97	3,9656e-98	1,5739e-99	1,6250e-97	4,7377e-99	3,9698e-98	1,3185e-99
	Ort	1,1707e-93	2,5510e-95	3,7059e-93	1,3694e-95	1,4094e-93	1,2985e-93	2,8814e-93	9,3197e-94	1,9366e-93	1,0098e-92	2,0310e-94
	SS	1,9482e-93	4,2832e-95	8,1090e-93	3,2225e-95	2,1067e-93	3,8151e-93	9,0588e-93	2,8492e-93	4,1731e-93	2,3350e-92	3,1495e-94
F3	Min	2,0545e-152	6,9824e-160	5,8672e-155	3,6248e-157	2,5001e-162	8,8865e-159	9,9556e-157	5,2217e-155	2,2163e-157	3,5271e-150	1,2447e-155
	Ort	1,0371e-139	1,0030e-139	8,6115e-148	1,4655e-143	9,4537e-141	1,8340e-138	4,0634e-136	9,7489e-140	7,5424e-141	4,2840e-139	6,1564e-142
	SS	3,2628e-139	3,1528e-139	1,7146e-147	3,9404e-143	2,7797e-140	5,7997e-138	1,2849e-135	2,9808e-139	2,3835e-140	1,3540e-138	1,9468e-141
F4	Min	2,9098e-94	2,3402e-91	9,1889e-94	8,4515e-92	1,8629e-94	2,4650e-91	2,9068e-92	1,6981e-92	4,2005e-93	4,2348e-93	6,1603e-93
	Ort	1,0385e-84	8,3789e-87	1,1271e-88	9,3008e-87	1,7733e-87	5,1373e-87	3,1482e-88	1,6551e-87	9,7566e-86	3,3390e-86	1,2639e-86
	SS	3,2614e-84	2,5831e-86	2,0901e-88	2,3793e-86	5,3434e-87	1,5082e-86	8,1991e-88	5,0717e-87	3,0621e-85	1,0555e-85	3,6717e-86
F5	Min	2,6023e+01	2,6202e+01	2,6918e+01	2,6771e+01	2,6617e+01	2,6471e+01	2,6045e+01	2,6552e+01	2,6038e+01	2,5979e+01	2,6098e+01
	Ort	2,6945e+01	2,7105e+01	2,7254e+01	2,7319e+01	2,7104e+01	2,7474e+01	2,6943e+01	2,7377e+01	2,7146e+01	2,7351e+01	2,7401e+01
	SS	1,0003e+00	6,9490e-01	3,9940e-01	6,1710e-01	4,2050e-01	8,4830e-01	3,9160e-01	5,8600e-01	8,2400e-01	1,0471e+00	7,1040e-01
F6	Min	3,3860e-04	1,6496e-03	1,0902e-03	2,9786e-03	8,4064e-04	1,5856e-03	1,6328e-03	1,6055e-03	9,5929e-04	1,6687e-03	1,6344e-03
	Ort	1,6923e-03	5,3640e-03	3,3528e-03	7,3928e-03	5,0877e-03	5,2480e-03	6,3804e-03	4,5284e-03	4,8745e-03	3,0513e-03	3,3938e-03
	SS	1,0937e-03	3,3572e-03	1,9911e-03	3,8677e-03	3,4058e-03	3,5425e-03	5,4346e-03	2,6512e-03	3,8296e-03	1,6974e-03	1,5870e-03
F7	Min	2,6540e-05	4,5611e-05	2,0546e-05	1,4300e-04	5,9433e-05	5,3781e-05	1,3353e-04	9,3395e-05	5,0001e-05	4,7168e-05	8,8387e-05
	Ort	2,5815e-04	2,8462e-04	3,2069e-04	4,7117e-04	3,4645e-04	1,8898e-04	2,6873e-04	2,5505e-04	2,8339e-04	1,5360e-04	2,9297e-04
	SS	2,7886e-04	2,9748e-04	2,7745e-04	3,3170e-04	2,3887e-04	1,1111e-04	1,1436e-04	1,2327e-04	1,6754e-04	1,0695e-04	1,4998e-04

4. SİMULASYON SONUÇLARI

Yapılan çalışmada, rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi için farklı sistemlere ve farklı amaç fonksiyonlarına, geliştirilen yöntem olan kaotik güve sürü algoritması uygulanmıştır. Ayrıca literatürde bulunan ve en çok kullanılan parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma ve güve sürü algoritması, geliştirilen yöntemin karşılaştırılması için aynı test sistemlerine uygulanmıştır. Simülasyon için IEEE’e ait 30 baralı, 57 baralı ve 118 baralı elektrik tesisleri kullanılmıştır. Çizelge 4.1’de belirtildiği gibi IEEE 30 baralı sistemde 11 farklı amaç fonksiyonu için, IEEE 57 baralı sistemde 5 farklı amaç fonksiyonu ve IEEE 118 baralı sistemde 2 farklı amaç fonksiyonu için çözümleme yapılmıştır. Geliştirilen algoritma literatürde bulunan parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma ve güve sürü algoritması ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1. Çalışması yapılan farklı test fonksiyonları.

Adı	Test Fonksiyonu	Test Sistemi
Durum 1	Genel maliyet hesabı	IEEE 30 Bara
Durum 2	Parçalı maliyet hesabı	
Durum 3	Gerilim kararlılığı	
Durum 4	Güç kaybı	
Durum 5	Valf nokta etkili genel maliyet hesabı	
Durum 6	Genel maliyet hesabı ve emisyon maliyeti	
Durum 7	Genel maliyet hesabı ve güç kaybı	
Durum 8	Genel maliyet hesabı ve gerilim sapması	
Durum 9	Genel maliyet hesabı ve gerilim kararlılığı	
Durum 10	Valf nokta etkili genel maliyet hesabı ve emisyon maliyeti	
Durum 11	Genel Maliyet Hesabı, Emisyon Maliyeti, Gerilim Sapması ve Güç Kaybı	
Durum 12	Genel maliyet hesabı	IEEE 57 Bara
Durum 13	Genel maliyet hesabı ve gerilim sapması	
Durum 14	Genel maliyet hesabı ve gerilim kararlılığı	
Durum 15	Genel maliyet hesabı ve emisyon maliyeti	
Durum 16	Valf nokta etkili genel maliyet hesabı	
Durum 17	Genel maliyet hesabı	IEEE 118 Bara
Durum 18	Güç kaybı	

4.1. IEEE 30 BARALI SİSTEM

34

Çizelge 4.2. Çalışılan sistemler için karakteristik özellikler.

	IEEE 30 Bara		IEEE 57 Bara		IEEE 118 Bara	
Karakteristik özellikler	Değer	Ayrıntılar	Değer	Ayrıntılar	Değer	Ayrıntılar
Baralar	30	[47]	57	[48]	118	[48]
Hatlar	41	[47]	80	[48]	186	[48]
Generatörler	4	Baralar: 1, 2, 8, 13	5	Baralar: 1, 2, 6, 8, 12	48	Baralar: 1, 4, 6, 8, 10, 12, 18, 19, 24, 25, 26, 27, 31, 34, 36, 40, 42, 46, 54, 56, 59, 61, 62, 65, 66, 69, 70, 72, 73, 74, 76, 77, 80, 85, 87, 89, 90, 91, 92, 99, 100, 103, 105, 107, 110, 111, 113, 116
Rüzgar generatörleri	2	Baralar: 5, 11	2	Baralar: 6, 9	6	Baralar: 15, 32, 49, 55, 104, 112
Yük gerilim limitleri	24	[0.95-1.05]	50	[0.94-1.06]	64	[0.94-1.06]
Şönt kapasitörler	2	Baralar: 10, 24	3	Baralar: 18, 25, 53	14	Baralar: 5, 34, 37, 44, 45, 46, 48, 74, 79, 82, 83, 105, 107, 110
Transformatör kademe ayarı	4	Hatlar: 11, 12, 15, 36	17	Hatlar: 19, 20, 31, 35, 36, 37, 41, 46, 54, 58, 59, 65, 66, 71, 73, 76, 80	9	Hatlar: 8, 32, 36, 51, 93, 95, 102, 107, 127
Değişkenler	17	-	33	-	130	-

Rüzgar gücü maliyet hesaplamasında kullanılan katsayılar Çizelge 4.3'te verilmiştir [23]. Baralara ve iletim hatlarına ait veriler Kaynak [47]'te detaylı olarak verilmiştir. Sisteme ait aktif ve reaktif güç talebi 283.4 MW ve 126.2 MVAR olarak belirtilmiştir. Sistemde 11 farklı amaç fonksiyonu için çözümler yapılmıştır. Kullanılan her algoritma için nüfus 50 olarak tanımlanmıştır. Ayrıca GSA ve KGSA yöntemlerinde yolbulucu güve sayısı 7 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. IEEE 30 baralı sistem için rüzgar gücüne ait katsayılar.

Katsayılar	Üretim birimleri		Katsayılar	Üretim birimleri	
	W_5	W_{11}		W_5	W_{11}
q	1.60	1.75	c (m/s)	9	10
v_{in} (m/s)	3	3	C_{rwj}	3	3
v_{out} (m/s)	25	25	C_{pwj}	1.5	1.5
v_r (m/s)	16	16	P_r (MW)	3	3
k (m/s)	2	2	P_T (MW)	75	60

4.1.1. Durum 1: Genel Maliyet Hesabı

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.1' de açıklanan genel maliyet hesabı test fonksiyonu kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür. Test sistemine ait, Denklem (2.29)'da geçen generatör maliyet katsayıları Çizelge 4.4'te verilmiştir. Aynı şekilde Denklem (2.30)'da belirtilen rüzgar gücüne ait katsayılar Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Çizelge 4.5'te listelenmiştir.

Çizelge 4.4. IEEE 30 baralı sistem için generatörlere ait maliyet katsayıları.

Üretim Baraları	a	b	c
P_1	0,00375	2	0
P_2	0,0175	1,75	0
P_8	0,00834	3,25	0
P_{13}	0,025	3	0

Çizelge 4.5. Durum 1 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	20,00	80,00	42,070719	41,838905	41,986598	41,788175	41,918845	41,760376	41,967851	41,759975	42,409607	41,617906	41,844556
P ₈ (MW)	0,00	75,00	41,775829	41,947433	41,703532	41,693622	41,787295	41,831197	41,813164	41,589309	41,574414	41,949458	41,631342
P ₁₃ (MW)	10,00	35,00	10,037309	10,000000	10,000057	10,007320	10,001449	10,000152	10,019050	10,094074	10,008383	10,013567	10,099740
W ₅ (MW)	0,00	60,00	35,313101	35,374120	35,548004	35,460113	35,433211	35,390336	35,204738	35,384815	35,230081	35,525655	35,703634
W ₁₁ (MW)	12,00	40,00	12,000000	12,001322	12,000005	12,005088	12,000010	12,000994	12,002632	12,000160	12,001891	12,000776	12,000163
V ₁ (p.u)	0,95	1,10	1,070225	1,072734	1,074770	1,075362	1,076467	1,081642	1,075388	1,075739	1,074811	1,077993	1,075186
V ₂ (p.u)	0,95	1,10	1,056183	1,057207	1,057686	1,057806	1,060080	1,064022	1,057421	1,058921	1,057566	1,060593	1,061463
V ₅ (p.u)	0,95	1,10	1,034582	1,035460	1,036614	1,032235	1,032414	1,035525	1,031423	1,033900	1,031863	1,038085	1,037709
V ₈ (p.u)	0,95	1,10	1,035814	1,039887	1,036894	1,035140	1,034466	1,035070	1,034098	1,035022	1,036928	1,040249	1,039953
V ₁₁ (p.u)	0,95	1,10	1,057613	1,057350	1,074757	1,088927	1,062420	1,033593	1,096114	1,066192	1,069042	1,058374	1,025715
V ₁₃ (p.u)	0,95	1,10	1,082991	1,066362	1,063870	1,060931	1,048149	1,051163	1,065859	1,068382	1,068638	1,057861	1,058369
T ₁ (p.u)	0,90	1,10	0,977829	1,061445	1,014278	1,083402	1,015800	1,062800	1,044875	1,034565	0,995254	1,041659	1,019371
T ₂ (p.u)	0,90	1,10	1,031535	0,907496	0,987940	0,951602	1,059342	0,932382	0,947274	0,960012	1,042253	0,944264	0,993762
T ₃ (p.u)	0,90	1,10	1,021476	0,997206	0,989795	0,979042	0,993073	0,963896	0,995500	0,991531	0,991224	0,971958	0,978425
T ₄ (p.u)	0,90	1,10	0,966257	0,970398	0,974261	0,969707	0,974237	0,965451	0,963237	0,965942	0,967439	0,976784	0,984676
Q ₁ (MVAR)	0,00	30,00	17,556173	16,477416	19,593777	23,707789	29,003280	29,400306	13,283273	15,608464	21,741537	13,058668	29,239600
Q ₂ (MVAR)	0,00	30,00	10,295403	10,612108	11,429163	12,206127	11,530688	11,758206	11,384267	12,544329	11,475759	12,176732	11,740340
P ₁ (MW)	50,00	200,00	142,203043	142,238220	142,161804	142,445682	142,259190	142,416945	142,392564	142,571667	142,175624	142,292638	142,120566

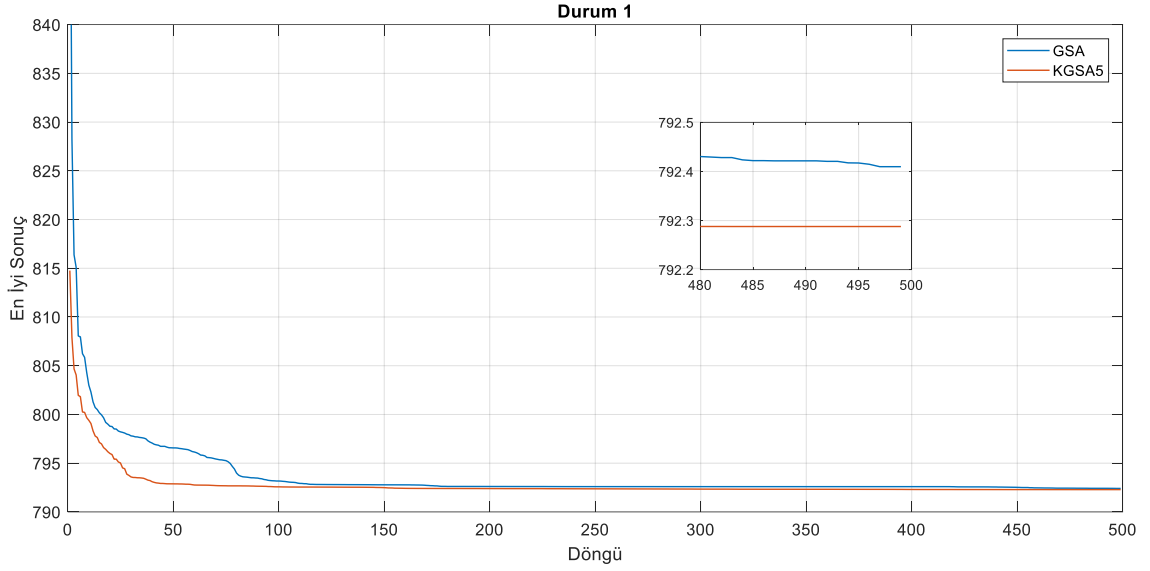
Çizelge 4.6. Durum 1 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	793,6792	793,7682	0,125865
GA	792,3773	792,7982	0,455149
GSA	792,4097	792,4870	0,067334
KGSA1	792,3264	792,4022	0,039252
KGSA2	792,2892	792,3916	0,062738
KGSA3	792,3262	792,3853	0,035269
KGSA4	792,3579	792,4268	0,037942
KGSA5	792,2879	792,4060	0,069729
KGSA6	792,3217	792,3641	0,037112
KGSA7	792,3086	792,3746	0,040985
KGSA8	792,3068	792,4162	0,069725
KGSA9	792,3105	792,3911	0,054276
KGSA10	792,3088	792,3760	0,045592

Çözümüne ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 792,2879 \$/sa değerine sahip KGSA5 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 792,3641 \$/sa ile KGSA6 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir. Ayrıca en iyi sonuca sahip KGSA5’in ve GSA’nın yakınsama grafikleri Şekil 4.2’de verilmiştir.

4.1.2. Durum 2: Parçalı Maliyet Hesabı

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.2’ de açıklanan parçalı maliyet hesabı test fonksiyonu kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür.



Şekil 4.2. Durum 1 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

Test sistemine ait, Denklem (2.32)'de verilen generatör parçalı maliyet katsayıları Çizelge 4.7'de verilmiştir ve Denklem (2.32)'de belirtilen rüzgar gücüne ait katsayılar Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.7. IEEE 30 baralı sistem için generatörlere ait parçalı maliyet katsayıları.

Üretim Baraları	Güç aralığı	a	b	c
P_1	$P_1 > 200$	0,0075	1,05	82,5
	$200 > P_1 > 140$	0,0075	1,05	82,5
	$140 > P_1 > 50$	0,005	0,7	55
	$50 > P_1$	0,005	0,7	55
P_2	$P_2 > 80$	0,02	0,6	80
	$80 > P_2 > 55$	0,02	0,6	80
	$55 > P_2 > 20$	0,01	0,3	40
	$20 > P_2$	0,01	0,3	40
P_8	-	0,00834	3,25	0
P_{13}	-	0,025	3	0

Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Durum 2 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	20,00	80,00	54,999369	54,995950	54,999918	54,997481	54,988205	54,999406	54,999723	54,996562	54,995797	54,997228	54,998079
P ₈ (MW)	0,00	75,00	41,969759	38,014038	38,536068	38,391678	40,241489	41,779006	39,823177	36,906339	36,991141	38,510756	38,356967
P ₁₃ (MW)	10,00	35,00	10,039320	12,445111	10,064668	12,806882	10,031239	10,352323	10,047815	10,728988	10,050213	10,711037	10,225469
W ₅ (MW)	0,00	60,00	31,327084	32,622002	34,847113	31,946187	32,851526	31,486527	33,613033	35,526555	36,205093	33,296879	34,161931
W ₁₁ (MW)	12,00	40,00	12,145528	12,000000	12,020808	12,050283	12,079428	12,071822	12,070002	12,086742	12,548459	12,732022	12,560216
V ₁ (p.u)	0,95	1,10	1,027497	1,065135	1,045215	1,054578	1,059202	1,020997	1,061020	1,059732	1,025038	1,059421	1,057412
V ₂ (p.u)	0,95	1,10	1,011846	1,054296	1,030171	1,040447	1,043043	1,013181	1,040645	1,046431	1,016870	1,042479	1,043309
V ₅ (p.u)	0,95	1,10	0,977093	1,033481	1,003965	1,014848	1,024955	0,982143	0,989288	1,016026	0,990757	1,008934	1,027635
V ₈ (p.u)	0,95	1,10	0,989520	1,041581	1,014601	1,014886	1,035385	0,978377	1,003190	1,030510	0,993162	1,018041	1,026876
V ₁₁ (p.u)	0,95	1,10	1,034673	1,080678	0,972489	1,001689	1,018235	1,009755	0,979306	1,012865	1,004599	0,973318	1,068237
V ₁₃ (p.u)	0,95	1,10	1,071703	1,071354	1,026413	1,078853	1,047182	1,003476	1,003788	1,059662	1,009116	1,052856	1,018613
T ₁ (p.u)	0,90	1,10	0,923856	0,984773	0,977513	0,932642	1,021249	0,996683	0,950943	1,084474	0,922220	0,938509	0,954957
T ₂ (p.u)	0,90	1,10	1,016617	1,090578	0,979987	1,027073	0,962250	0,950799	1,026877	0,906351	0,982167	0,998699	0,998519
T ₃ (p.u)	0,90	1,10	0,993792	0,994238	1,093533	1,043576	1,018044	0,931314	1,013125	1,023558	1,043012	0,993881	0,991994
T ₄ (p.u)	0,90	1,10	0,956480	0,992624	0,970161	0,949650	0,977904	0,943746	0,975313	1,013304	0,982863	0,944824	1,000097
Q ₁ (MVAR)	0,00	30,00	27,899694	15,078947	16,640996	24,342666	26,439787	26,330604	28,388735	18,974976	0,989766	26,891458	2,006295
Q ₂ (MVAR)	0,00	30,00	11,801215	8,138843	15,347687	13,455420	10,216763	10,520479	12,375238	20,077415	19,924023	11,022559	9,297140
P ₁ (MW)	50,00	200,00	132,918940	133,322899	132,931425	133,207489	133,208113	132,710916	132,846251	133,154813	132,609296	133,152078	133,097339

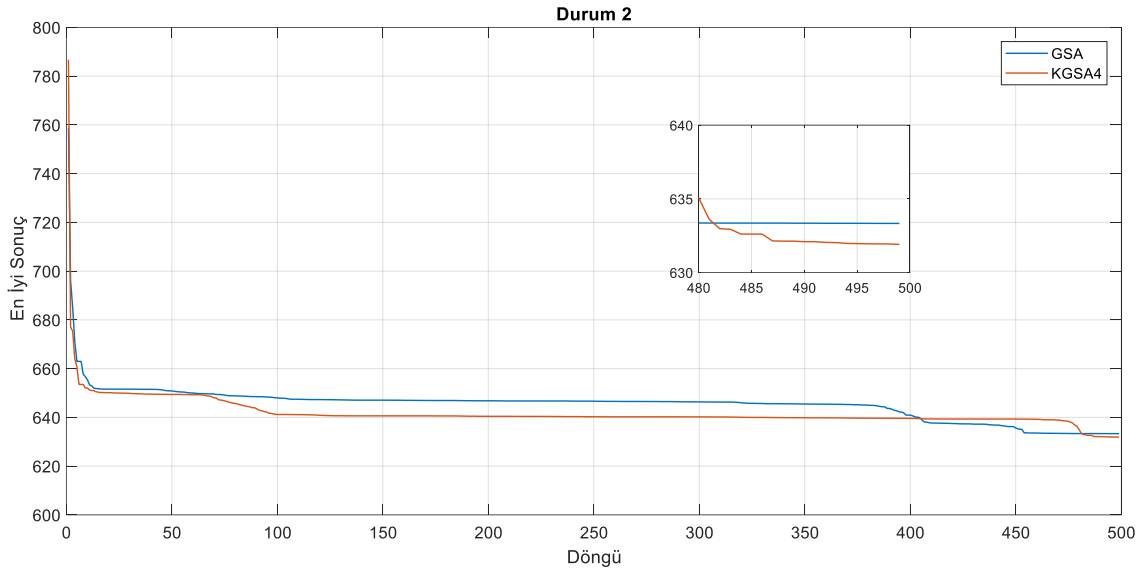
Çizelge 4.9. Durum 2 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	633,5528	639,6075	1,491588
GA	632,0597	638,9260	0,716249
GSA	633,3344	635,6396	2,049413
KGSA1	632,0917	635,1732	2,276449
KGSA2	632,8163	636,5812	3,022093
KGSA3	632,6723	635,4883	1,898054
KGSA4	631,9129	635,7362	3,200275
KGSA5	633,9882	636,4408	2,374232
KGSA6	633,0919	636,8663	2,341246
KGSA7	632,4287	635,4991	2,463614
KGSA8	634,3322	636,7895	2,120417
KGSA9	632,5175	636,2079	2,298164
KGSA10	632,4916	636,1030	2,658626

Çözümüne ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 631,9129 \$/sa değerine sahip KGSA4 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 635,1732 \$/sa ile KGSA1 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir. Ayrıca en iyi sonuca sahip KGSA4’ün ve GSA’nın yakınsama grafikleri Şekil 4.3’te verilmiştir.

4.1.3. Durum 3: Gerilim Kararlılığı

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.3’de açıklanan gerilim kararlılığı test fonksiyonu kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür. Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Durum 2 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

Çözümüne ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 0,137383 değerine sahip KGSA6 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 0,138528 değeri ile KGSA2 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir.

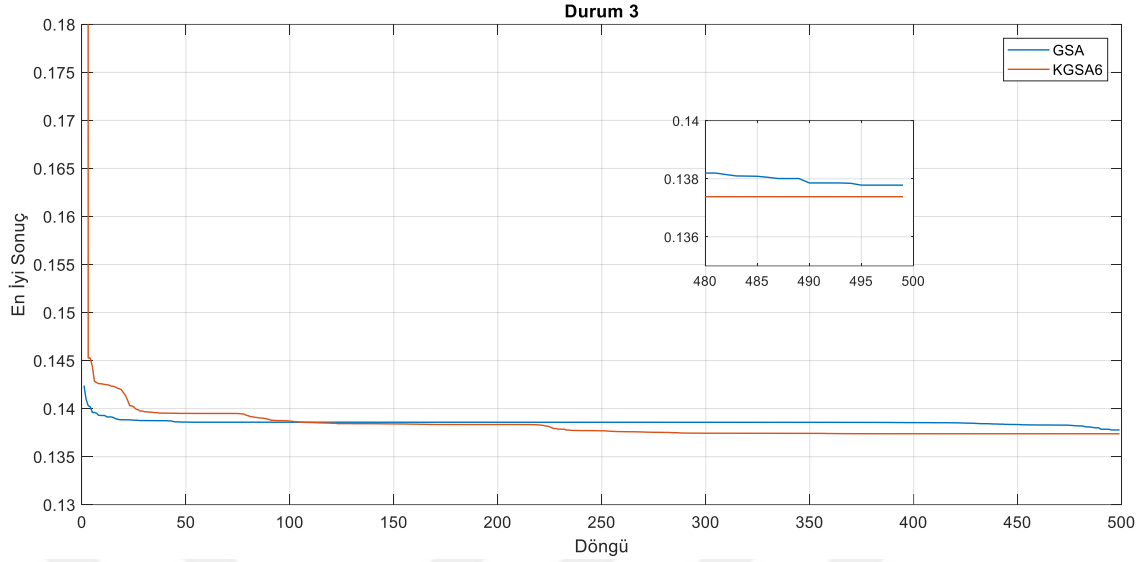
Çizelge 4.10. Durum 3 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	0,138298	0,138834	0,000758
GA	0,138103	0,138611	0,000689
GSA	0,137781	0,139103	0,000843
KGSA1	0,138396	0,138897	0,000515
KGSA2	0,137512	0,138528	0,000737
KGSA3	0,138398	0,139162	0,000489
KGSA4	0,137680	0,138617	0,000636
KGSA5	0,137921	0,138684	0,000467
KGSA6	0,137383	0,138676	0,000772
KGSA7	0,137452	0,138749	0,000713
KGSA8	0,137620	0,138544	0,000707
KGSA9	0,137959	0,138725	0,000505
KGSA10	0,137574	0,138769	0,000803

Çizelge 4.11. Durum 3 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	20,00	80,00	25,845048	40,724976	79,866438	79,477976	75,673231	78,223520	46,973390	76,808851	74,749645	78,086832	42,263117
P ₈ (MW)	0,00	75,00	34,212344	13,284420	74,569868	49,885031	74,113247	42,299632	14,816789	34,866533	44,731750	30,755216	3,382514
P ₁₃ (MW)	10,00	35,00	12,560653	27,901275	14,749615	23,343220	33,197949	18,423655	17,003401	34,863244	27,788498	23,009828	26,035107
W ₅ (MW)	0,00	60,00	55,132083	3,759807	38,528889	26,208840	23,172936	52,407890	5,361061	43,117219	59,488636	52,324782	15,285279
W ₁₁ (MW)	12,00	40,00	22,482422	27,270253	24,261764	16,819784	28,926867	37,839365	12,037301	29,449919	29,144046	37,994173	12,000001
V ₁ (p.u)	0,95	1,10	1,068426	1,098365	1,047839	1,031881	1,067594	1,051341	1,088571	1,076259	1,058988	1,055764	1,075366
V ₂ (p.u)	0,95	1,10	1,058493	1,056624	1,048197	1,025524	1,062294	1,047650	1,066871	1,060533	1,057695	1,045320	1,053028
V ₅ (p.u)	0,95	1,10	1,026278	0,961204	1,049846	1,024756	1,033115	1,038360	1,010057	0,996197	1,016391	0,987128	0,975606
V ₈ (p.u)	0,95	1,10	1,020901	1,012825	1,051429	1,033150	1,025878	1,043187	1,034831	1,041879	1,033265	1,041349	1,024992
V ₁₁ (p.u)	0,95	1,10	1,030423	1,053379	1,076303	1,067229	1,085912	1,022214	1,097329	1,062287	1,060596	1,035657	1,073642
V ₁₃ (p.u)	0,95	1,10	1,097724	1,048319	1,064232	1,081360	1,077340	1,081561	1,045693	1,061805	1,067823	1,098486	1,099855
T ₁ (p.u)	0,90	1,10	1,022043	0,951480	1,095443	0,981251	1,083400	0,991206	1,028177	1,099690	1,095206	0,999626	1,009437
T ₂ (p.u)	0,90	1,10	0,990700	0,907124	0,916501	1,019501	0,912133	0,963535	0,914868	0,924205	0,931724	0,976107	0,903502
T ₃ (p.u)	0,90	1,10	1,027516	0,937456	0,985426	0,998063	1,015224	1,063976	0,947943	0,966246	0,967122	1,052914	1,047295
T ₄ (p.u)	0,90	1,10	0,937595	0,927804	0,974201	0,951593	0,954537	0,964599	0,952707	0,945298	0,940377	0,963139	0,943074
Q ₁ (MVAR)	0,00	30,00	29,525238	7,814742	11,001242	19,428596	12,622373	22,474291	13,021381	19,657546	20,332751	17,451530	14,145129
Q ₂ (MVAR)	0,00	30,00	1,201705	4,687114	16,974037	11,490445	11,011902	15,582539	3,879881	0,021738	0,916644	17,993066	3,433575
P ₁ (MW)	50,00	200,00	133,167451	170,459269	51,423426	87,665149	48,315770	54,205939	187,208058	64,294234	47,497425	61,229170	184,433982

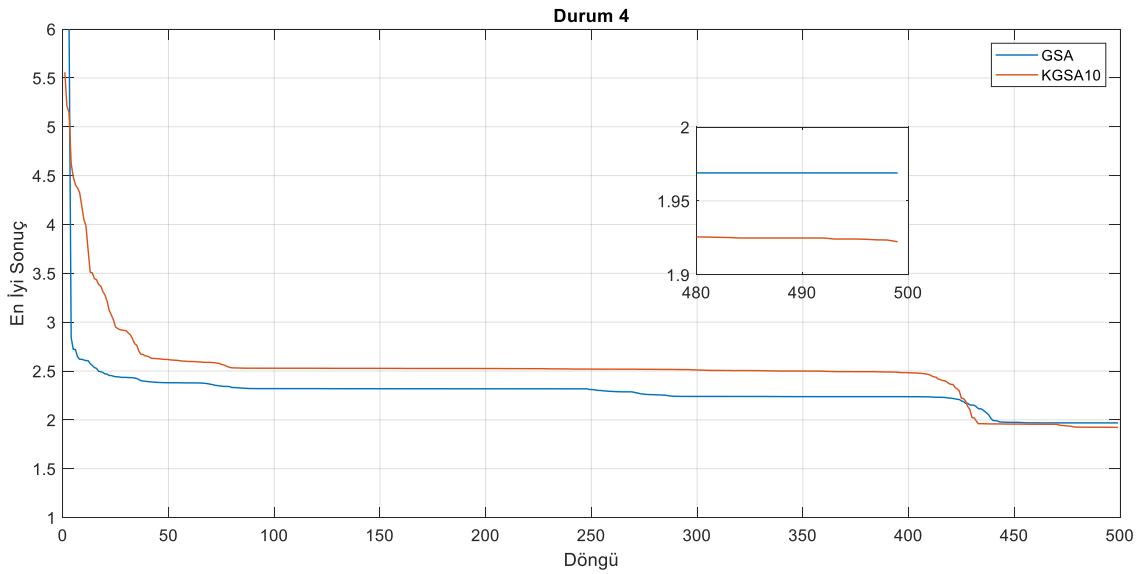
En iyi sonuca sahip KGSA6'nın ve GSA'nın yakınsama grafikleri Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Durum 3 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

4.1.4. Durum 4: Güç Kaybı

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.4'te açıklanan güç kaybı test fonksiyonu kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür. En iyi sonuca sahip KGSA10'un ve GSA'nın yakınsama grafikleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Durum 4 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

Çözümde ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 1,922377 MW değerine sahip KGSA10 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 2,116063 MW değeri ile KGSA4 yöntemi en iyi sonucu vermiştir.

Çizelge 4.12. Durum 4 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	2,181152	2,334750	0,217221
GA	1,994154	2,278081	0,296855
GSA	1,968938	2,123533	0,113667
KGSA1	2,083663	2,178403	0,081898
KGSA2	2,033923	2,179150	0,104728
KGSA3	2,011701	2,156400	0,124795
KGSA4	1,942081	2,116063	0,112464
KGSA5	2,016354	2,150918	0,107444
KGSA6	2,103871	2,225114	0,064936
KGSA7	1,966790	2,127214	0,124745
KGSA8	2,031471	2,166384	0,099927
KGSA9	2,066373	2,167164	0,105973
KGSA10	1,922377	2,183796	0,153019

Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir.

Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Çizelge 4.13’te verilmiştir.

4.1.5. Durum 5: Valf Nokta Etkili Genel Maliyet Hesabı

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.5’te açıklanan valf nokta etkili genel maliyet hesabı test fonksiyonu kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür.

Çizelge 4.13. Durum 4 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	20,00	80,00	27,691829	42,609155	43,670211	38,723528	33,637754	38,266811	41,300284	32,487680	34,701136	44,409888	27,493250
P ₈ (MW)	0,00	75,00	75,000000	75,000000	74,980995	74,976809	74,836549	73,731520	70,828441	75,000000	74,999755	74,795568	74,339817
P ₁₃ (MW)	10,00	35,00	34,954841	27,950293	35,000000	33,763132	34,524262	33,182991	34,964761	34,779709	28,194746	34,975989	34,435915
W ₅ (MW)	0,00	60,00	59,159134	59,940194	59,868938	59,692281	59,803455	59,749738	57,956740	59,532718	59,999723	51,105871	59,920728
W ₁₁ (MW)	12,00	40,00	38,563114	29,977441	21,911563	28,254403	32,538108	30,485294	30,453646	33,559812	37,536003	29,990585	39,129948
V ₁ (p.u)	0,95	1,10	1,050670	1,055975	1,058362	1,033983	1,048324	1,054614	1,062228	1,055105	1,056980	1,057527	1,058230
V ₂ (p.u)	0,95	1,10	1,045661	1,050291	1,052560	1,028636	1,043622	1,048874	1,057597	1,050296	1,051645	1,051437	1,051949
V ₅ (p.u)	0,95	1,10	1,034604	1,037540	1,041032	1,017282	1,030804	1,038177	1,045468	1,038561	1,040374	1,035962	1,038562
V ₈ (p.u)	0,95	1,10	1,038026	1,040750	1,038055	1,023100	1,035675	1,042246	1,049833	1,041523	1,040387	1,039912	1,046892
V ₁₁ (p.u)	0,95	1,10	1,064403	1,007746	1,066815	1,039673	1,029981	1,084477	1,027394	1,051637	1,041470	1,030520	1,057362
V ₁₃ (p.u)	0,95	1,10	1,051187	1,059235	1,074161	1,073981	1,069787	1,056832	1,059790	1,062029	1,050443	1,072658	1,054663
T ₁ (p.u)	0,90	1,10	0,988477	0,998677	0,995839	1,002493	1,070608	0,991873	1,001089	0,988827	1,035540	1,062669	1,017942
T ₂ (p.u)	0,90	1,10	1,076989	1,015822	1,020217	0,962372	0,905514	1,030333	1,002818	1,094899	0,993366	0,912549	1,023356
T ₃ (p.u)	0,90	1,10	1,024876	1,005284	1,016340	0,985441	0,994994	0,991639	0,974055	1,028235	1,017652	1,001750	0,974039
T ₄ (p.u)	0,90	1,10	0,991548	0,978762	0,972177	0,954022	0,958025	0,981249	0,989985	0,996204	0,984762	0,978093	0,971946
Q ₁ (MVAR)	0,00	30,00	20,240901	24,077105	21,929589	26,393515	28,567220	9,235651	15,880754	28,456158	19,908911	25,142165	28,992138
Q ₂ (MVAR)	0,00	30,00	13,079225	12,258793	11,499684	13,502452	10,715555	13,671801	13,664515	12,349544	12,563063	12,933251	12,442704
P ₁ (MW)	50,00	200,00	48,031082	47,922918	47,968294	47,989847	48,059871	47,983646	47,896129	48,040082	47,968637	48,122100	48,080341

Test sistemine ait, Denklem (2.37)'de verilen valf nokta etkili generatör maliyet katsayıları Çizelge 4.14'te verilmiştir ve Denklem (2.37)'de belirtilen rüzgar gücüne ait katsayılar Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.14. IEEE 30 baralı sistem için valf nokta etkili maliyet katsayıları.

Üretim Baraları	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
P ₁	0,00375	2	0	18	0,037
P ₂	0,0175	1,75	0	16	0,038
P ₈	0,00834	3,25	0	12	0,045
P ₁₃	0,025	3	0	13,5	0,041

Çözüme ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.15'te verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 807,4636 \$/sa değerine sahip KGSA4 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 808,5250 \$/sa değeri ile KGSA9 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir.

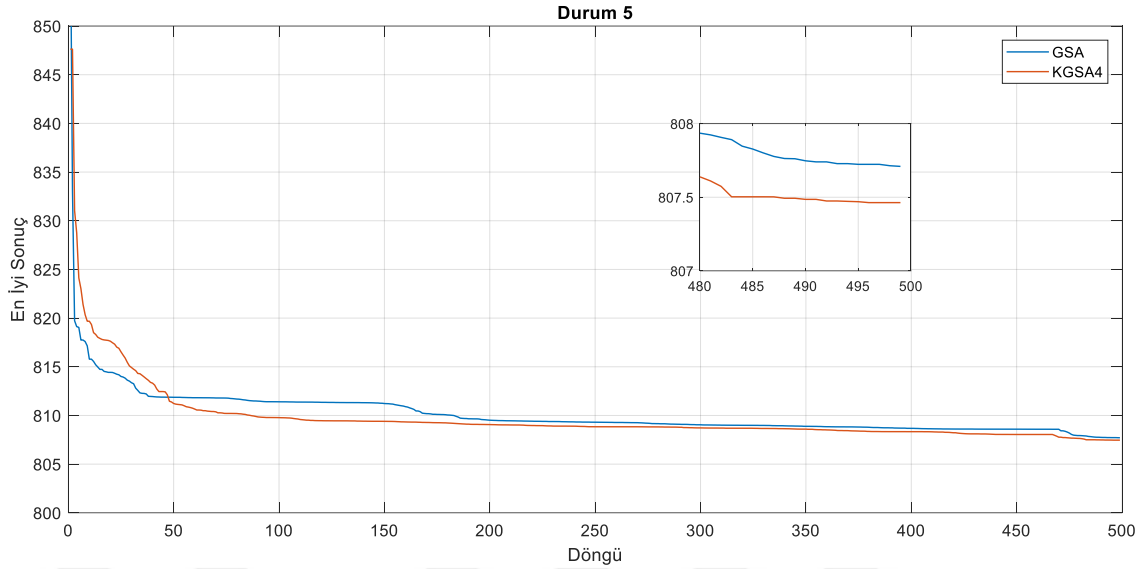
Çizelge 4.15. Durum 5 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	808,0674	810,2331	3,062783
GA	807,9571	808,5276	0,532514
GSA	807,7097	808,8466	1,122872
KGSA1	807,7568	808,6899	0,835296
KGSA2	807,8838	808,8970	0,876011
KGSA3	807,7573	808,7017	0,644814
KGSA4	807,4636	808,6440	1,002766
KGSA5	807,7612	808,5358	0,816998
KGSA6	807,6781	808,9593	0,979720
KGSA7	807,8088	808,7033	0,903093
KGSA8	807,5551	808,5457	0,711595
KGSA9	807,8323	808,5250	0,596009
KGSA10	807,7905	808,9448	0,747056

Çizelge 4.16. Durum 5 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	20,00	80,00	38,919758	41,175997	42,893041	39,761361	41,186500	40,826948	39,997431	39,000161	41,020919	42,093266	40,170075
P ₈ (MW)	0,00	75,00	51,546560	50,611366	47,575565	49,705585	49,481546	50,193593	49,086338	50,455766	49,753657	49,099283	50,275610
P ₁₃ (MW)	10,00	35,00	10,794122	10,141291	10,060670	10,326413	10,003611	10,065998	10,196085	10,056333	10,075010	10,000000	11,368188
W ₅ (MW)	0,00	60,00	40,748643	40,277949	41,720818	42,250692	41,471470	41,139297	42,875347	42,643166	41,273857	41,085247	40,221691
W ₁₁ (MW)	12,00	40,00	12,040077	12,000074	12,017486	12,125583	12,024121	12,000000	12,008990	12,017720	12,052832	12,000255	12,053370
V ₁ (p.u)	0,95	1,10	1,070631	1,072417	1,070001	1,064877	1,075161	1,075838	1,069557	1,063055	1,080105	1,073180	1,074387
V ₂ (p.u)	0,95	1,10	1,055859	1,057825	1,056323	1,051715	1,059152	1,061334	1,054136	1,047113	1,064713	1,057667	1,060127
V ₅ (p.u)	0,95	1,10	1,036083	1,038932	1,036769	1,029988	1,040631	1,040084	1,031867	1,024842	1,038163	1,034610	1,039119
V ₈ (p.u)	0,95	1,10	1,038186	1,038911	1,039544	1,034306	1,035185	1,045664	1,035481	1,024358	1,041094	1,038780	1,039417
V ₁₁ (p.u)	0,95	1,10	1,083732	1,010259	1,033676	1,024555	1,099433	1,006080	1,010770	1,075122	1,061865	1,015218	1,077766
V ₁₃ (p.u)	0,95	1,10	1,071234	1,072236	1,041914	1,077367	1,063750	1,019489	1,064817	1,098583	1,021349	1,047366	1,058644
T ₁ (p.u)	0,90	1,10	1,028885	0,979501	1,004266	0,945341	1,012874	1,081191	1,015122	1,016130	1,014913	0,956818	1,039841
T ₂ (p.u)	0,90	1,10	0,927179	0,966583	1,057512	1,098009	1,034975	0,930284	0,972112	0,905946	1,025825	1,097790	0,933129
T ₃ (p.u)	0,90	1,10	1,003571	1,006133	1,036978	1,013692	0,976474	0,997795	1,006344	1,038233	0,962000	1,031435	0,980622
T ₄ (p.u)	0,90	1,10	0,979911	0,976104	1,011351	0,971611	0,969219	1,020535	0,981625	0,964652	0,969956	1,001278	0,990070
Q ₁ (MVAR)	0,00	30,00	8,720906	14,813382	13,538605	27,300242	12,301855	14,534437	26,211071	7,989215	24,733122	15,320637	12,277292
Q ₂ (MVAR)	0,00	30,00	12,623079	18,790715	13,873669	14,820929	9,089183	12,742442	17,059649	11,617520	11,925355	18,612627	10,241673
P ₁ (MW)	50,00	200,00	129,350839	129,193322	129,132420	129,230366	129,232751	129,174164	129,235808	129,226853	129,223725	129,121950	129,311066

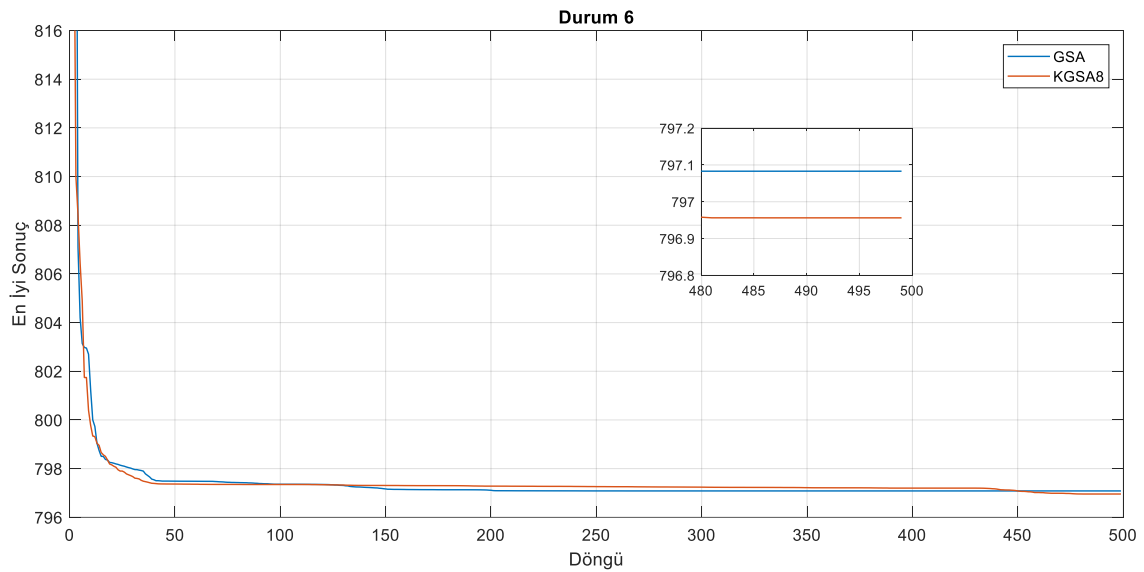
En iyi sonuca sahip KGSA4'ün ve GSA'nın yakınsama grafikleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Durum 5 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

4.1.6. Durum 6: Genel Maliyet Hesabı ve Emisyon Maliyeti

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.6'da açıklanan genel maliyet hesabı test fonksiyonu ve emisyon maliyeti test fonksiyonu birlikte kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür. En iyi sonuca sahip KGSA8'in ve GSA'nın yakınsama grafikleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Durum 6 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

Test sistemine ait, Denklem (2.39)'da verilen generatör maliyet katsayıları ve Denklem(2.40)'da verilen emisyon maliyet katsayıları Çizelge 4.17'de verilmiştir ve Denklem (2.39)'da belirtilen rüzgar gücüne ait katsayılar ise Çizelge 4.3'te verilmiştir. Denklem (2.38)'de belirtilen C_{tax} değeri bu amaç fonksiyonu için 20 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.17. IEEE 30 baralı sistem için genel ve emisyon maliyeti katsayıları.

Üretim Baraları	P_1	P_2	P_8	P_{13}
a	0,00375	0,0175	0,00834	0,025
b	2	1,75	3,25	3
c	0	0	0	0
γ	0,04091	0,02543	0,05326	0,06131
β	-0,05554	-0,06047	-0,0355	-0,05555
α	0,0649	0,05638	0,0338	0,05151
ζ	0,0002	0,0005	0,002	0,00001
λ	2,857	3,333	2	6,667

Çözümüne ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.18'de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 796,9562 \$/sa değerine sahip KGSA8 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 797,0990 \$/sa değeri ile KGSA7 yöntemi en iyi sonucu vermiştir.

Çizelge 4.18. Durum 6 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	797,5623	798,3389	1,098216
GA	797,0708	797,6276	0,553234
GSA	797,0830	797,1810	0,055710
KGSA1	797,0561	797,1782	0,088343
KGSA2	797,0000	797,1466	0,104006
KGSA3	796,9622	797,1690	0,122097
KGSA4	797,0035	797,1348	0,137019
KGSA5	797,0146	797,1446	0,098640
KGSA6	797,0346	797,2280	0,114379
KGSA7	797,0287	797,0990	0,089275
KGSA8	796,9562	797,1697	0,188423
KGSA9	797,0245	797,1248	0,060119
KGSA10	797,0292	797,1690	0,073940

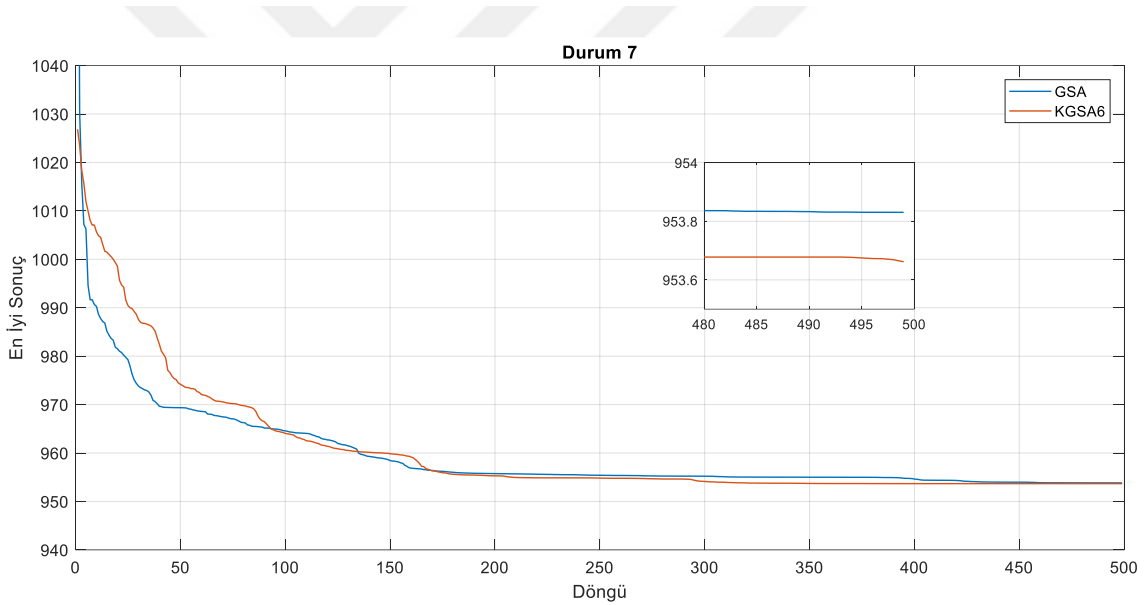
Çizelge 4.19. Durum 6 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	20,00	80,00	42,539270	42,675473	42,588461	42,733033	42,387568	42,811938	42,684966	42,535299	42,706078	42,879386	42,572224
P ₈ (MW)	0,00	75,00	42,382502	42,033639	42,253136	42,167174	42,187176	42,215326	42,267448	42,220629	42,161809	42,285228	42,313274
P ₁₃ (MW)	10,00	35,00	10,001693	10,115672	10,000209	10,000000	10,006061	10,000496	10,016161	10,024595	10,119904	10,009362	10,000332
W ₅ (MW)	0,00	60,00	35,596444	35,877808	35,841619	35,635927	35,749401	35,517610	35,551570	35,731456	35,623791	35,703518	35,861649
W ₁₁ (MW)	12,00	40,00	12,004176	12,000077	12,003343	12,000000	12,000426	12,008718	12,000000	12,001793	12,000047	12,000251	12,003556
V ₁ (p.u)	0,95	1,10	1,073221	1,071944	1,074740	1,077894	1,076439	1,078548	1,074924	1,074700	1,078528	1,072544	1,071145
V ₂ (p.u)	0,95	1,10	1,056720	1,057187	1,059018	1,062928	1,058549	1,060763	1,057979	1,059297	1,062090	1,056196	1,058913
V ₅ (p.u)	0,95	1,10	1,033932	1,031648	1,035450	1,039131	1,033380	1,030736	1,029438	1,036142	1,035578	1,030037	1,037927
V ₈ (p.u)	0,95	1,10	1,035290	1,035744	1,037133	1,038354	1,033330	1,040293	1,032994	1,039041	1,037948	1,034653	1,040091
V ₁₁ (p.u)	0,95	1,10	1,017725	1,011003	1,080744	1,057771	1,070235	1,056660	1,067376	1,061943	1,056874	1,072327	1,099602
V ₁₃ (p.u)	0,95	1,10	1,084155	1,085546	1,070328	1,054328	1,062820	1,059764	1,069286	1,067848	1,058726	1,079226	1,062980
T ₁ (p.u)	0,90	1,10	0,997006	0,977971	1,009698	0,984754	1,037631	1,025010	0,993661	1,029567	1,023704	1,008671	1,046024
T ₂ (p.u)	0,90	1,10	0,940732	1,010841	0,938830	1,052839	0,977933	0,956404	1,056423	0,918704	0,945306	0,978309	0,966418
T ₃ (p.u)	0,90	1,10	1,023072	1,017399	0,998100	0,970658	0,987058	0,972582	1,000170	0,991008	0,972674	1,008849	0,980253
T ₄ (p.u)	0,90	1,10	0,966296	0,972953	0,969042	0,966311	0,971106	0,972426	0,972947	0,969758	0,975631	0,964283	0,977303
Q ₁ (MVAR)	0,00	30,00	18,474845	29,674873	4,156139	23,800982	24,644703	17,791192	27,160435	7,854039	19,144170	18,682689	14,598655
Q ₂ (MVAR)	0,00	30,00	11,588702	10,266434	12,442469	10,671225	12,695648	9,508173	10,711561	14,791300	10,734416	9,708003	11,502965
P ₁ (MW)	50,00	200,00	140,875915	140,697330	140,713232	140,863866	141,069369	140,845913	140,879854	140,886228	140,788371	140,522255	140,648965

Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir. Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Çizelge 4.19’da verilmiştir.

4.1.7. Durum 7: Genel Maliyet Hesabı ve Güç Kaybı

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.7’de açıklanan genel maliyet hesabı test fonksiyonu ve güç kaybı test fonksiyonu birlikte kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür. Test sistemine ait, Denklem (2.42)’de verilen generatör maliyet katsayıları ve rüzgar gücüne ait katsayılar sırasıyla Çizelge 4.4’te ve Çizelge 4.3’te verilmiştir. Denklem (2.41)’de belirtilen λ_{GK} değeri bu amaç fonksiyonu için 40 olarak belirlenmiştir. En iyi sonuca sahip KGSA6’nın ve GSA’nın yakınsama grafikleri Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Durum 7 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

Çözüme ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.20’de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 953,6618 \$/sa değerine sahip KGSA6 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 954,0412 \$/sa değeri ile KGSA5 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir.

Çizelge 4.20. Durum 7 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	958,9037	959,5234	0,876373
GA	954,4281	956,1806	1,515594
GSA	953,8306	954,2739	0,649638
KGSA1	953,7873	954,4769	0,512904
KGSA2	953,9913	954,5015	0,493670
KGSA3	953,9589	954,6105	0,518644
KGSA4	953,7148	954,0917	0,215181
KGSA5	953,7338	954,0412	0,256040
KGSA6	953,6618	954,3002	0,664513
KGSA7	953,7200	954,2547	0,386184
KGSA8	953,6992	954,1509	0,448834
KGSA9	953,6980	954,2570	0,474162
KGSA10	953,7338	954,0925	0,370132

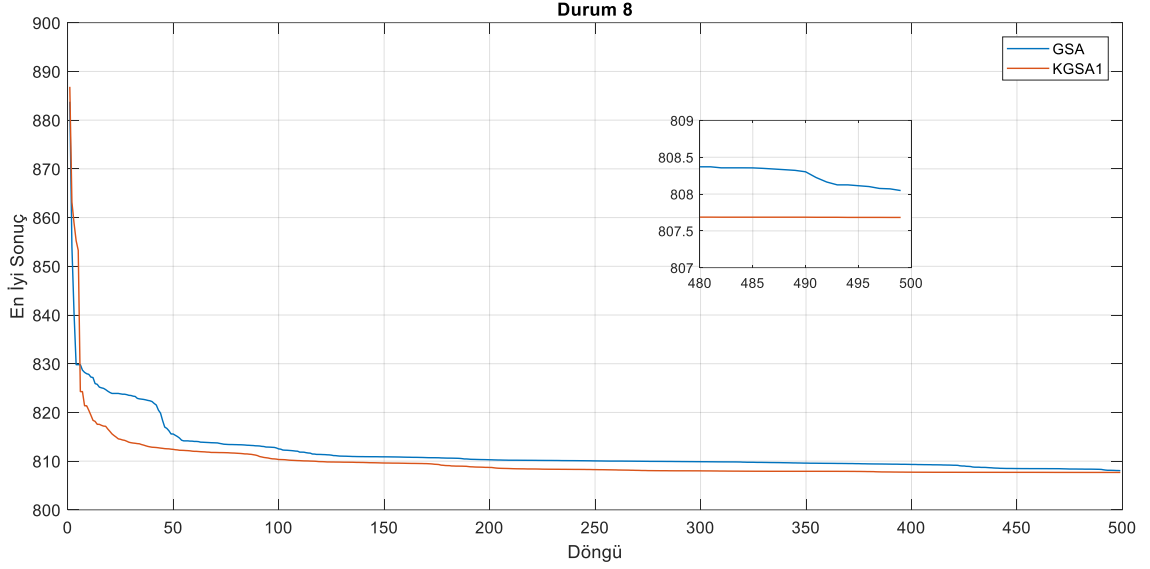
Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Çizelge 4.21’de verilmiştir.

4.1.8. Durum 8: Genel Maliyet Hesabı ve Gerilim Sapması

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.8’de açıklanan genel maliyet hesabı test fonksiyonu ve gerilim sapması test fonksiyonu birlikte kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür. Test sistemine ait, Denklem (2.45)’te verilen generatör maliyet katsayıları ve rüzgar gücüne ait katsayılar sırasıyla Çizelge 4.4’te ve Çizelge 4.3’te verilmiştir. Denklem (2.44)’te belirtilen λ_{GS} değeri bu amaç fonksiyonu için 100 olarak belirlenmiştir. En iyi sonuca sahip KGSA1’in ve GSA’nın yakınsama grafikleri Şekil 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.21. Durum 7 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	20,00	80,00	41,856188	41,061424	42,548956	41,068208	42,717067	42,455176	42,165740	42,167463	41,763532	41,936763	42,555427
P ₈ (MW)	0,00	75,00	69,014160	69,721974	69,591553	69,442269	68,987671	69,517166	68,782356	69,018370	68,476593	69,363417	69,643736
P ₁₃ (MW)	10,00	35,00	34,998866	34,998147	34,965897	34,966984	34,984721	35,000000	34,953963	34,998447	34,983501	35,000000	34,976785
W ₅ (MW)	0,00	60,00	46,861862	46,847066	47,013968	46,951184	46,951575	47,108374	47,414006	47,343735	47,717364	46,940674	46,797062
W ₁₁ (MW)	12,00	40,00	18,617335	18,551134	17,765333	18,985223	18,602940	18,179292	18,019847	18,018208	17,993014	18,654014	18,189634
V ₁ (p.u)	0,95	1,10	1,062659	1,063290	1,064479	1,061191	1,063534	1,062538	1,063886	1,061503	1,063494	1,061655	1,062515
V ₂ (p.u)	0,95	1,10	1,054984	1,055688	1,056938	1,053437	1,056114	1,055260	1,056373	1,054116	1,055544	1,054037	1,055033
V ₅ (p.u)	0,95	1,10	1,041007	1,043140	1,043625	1,039115	1,042058	1,042453	1,042219	1,039931	1,041918	1,040811	1,042579
V ₈ (p.u)	0,95	1,10	1,045011	1,045917	1,046511	1,042961	1,045433	1,044779	1,046438	1,043702	1,044533	1,044030	1,044752
V ₁₁ (p.u)	0,95	1,10	1,066514	1,028856	1,041891	1,042866	1,070721	1,066495	1,038482	1,055717	1,066315	1,052846	1,051876
V ₁₃ (p.u)	0,95	1,10	1,068478	1,065859	1,063005	1,075807	1,059798	1,064479	1,061177	1,071556	1,061525	1,071276	1,064379
T ₁ (p.u)	0,90	1,10	1,050357	1,066480	1,005200	1,043927	1,015583	1,009053	0,991824	0,995207	1,006200	1,004813	1,017416
T ₂ (p.u)	0,90	1,10	0,911779	0,915372	0,981972	0,941966	1,021189	1,035273	1,042282	1,040687	1,034084	1,015447	1,018234
T ₃ (p.u)	0,90	1,10	0,996409	0,988436	0,983762	1,005889	0,979498	0,985490	0,983853	0,998775	0,984680	0,997881	0,986446
T ₄ (p.u)	0,90	1,10	0,968898	0,971280	0,976676	0,970932	0,970949	0,970554	0,971752	0,968376	0,973539	0,969168	0,974588
Q ₁ (MVAR)	0,00	30,00	12,559963	24,223211	21,151952	23,335453	24,794023	25,386046	29,971098	26,903998	26,256590	25,681439	28,810253
Q ₂ (MVAR)	0,00	30,00	11,948850	12,175733	13,208345	11,254368	10,947634	11,555147	11,856337	11,355920	11,327753	11,015436	11,661111
P ₁ (MW)	50,00	200,00	72,051588	72,220255	71,514293	71,986132	71,156026	71,139991	72,064088	71,853777	72,465996	71,505132	71,237355



Şekil 4.9. Durum 8 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

Çözümüne ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.22’de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 807,6827 \$/sa değerine sahip KGSA1 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 808,5497 \$/sa değeri ile KGSA4 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir. Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Çizelge 4.23’te verilmiştir.

Çizelge 4.22. Durum 8 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	809,2895	811,1804	2,674116
GA	808,4875	809,3462	0,609891
GSA	808,0479	809,1738	2,175161
KGSA1	807,6827	808,8161	0,859324
KGSA2	808,0858	809,1346	0,862140
KGSA3	808,1058	809,1153	0,895079
KGSA4	807,8702	808,5497	0,639989
KGSA5	807,8363	809,0945	1,056703
KGSA6	808,0712	808,6991	0,972122
KGSA7	807,9236	808,9578	0,888957
KGSA8	807,8445	809,1023	1,376871
KGSA9	807,9393	808,7600	0,843828
KGSA10	808,1224	809,1667	0,834334

Çizelge 4.23. Durum 8 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	20,00	80,00	43,2360	41,9982	42,2842	42,3539	42,2622	41,4020	42,4433	42,1900	42,0089	42,3131	42,7546
P ₈ (MW)	0,00	75,00	41,8460	42,2625	42,5361	42,2805	42,2794	42,0000	41,9026	41,9289	42,1890	42,0930	41,9929
P ₁₃ (MW)	10,00	35,00	10,9158	10,2678	10,1418	10,0000	10,2327	10,0862	10,0000	10,4039	10,2198	10,3826	10,7698
W ₅ (MW)	0,00	60,00	35,4912	35,1761	35,2191	35,4956	35,7319	35,4812	35,2455	35,4468	35,0944	35,6317	35,2158
W ₁₁ (MW)	12,00	40,00	12,0884	12,0153	12,0026	12,0059	12,0014	12,0025	12,0000	12,0148	12,0009	12,1443	12,0369
V ₁ (p.u)	0,95	1,10	1,0386	1,0436	1,0312	1,0425	1,0294	1,0452	1,0390	1,0399	1,0389	1,0289	1,0380
V ₂ (p.u)	0,95	1,10	1,0267	1,0291	1,0180	1,0310	1,0149	1,0304	1,0257	1,0290	1,0246	1,0164	1,0232
V ₅ (p.u)	0,95	1,10	1,0107	1,0128	1,0058	1,0129	1,0048	1,0126	1,0097	1,0122	1,0102	1,0061	1,0075
V ₈ (p.u)	0,95	1,10	1,0006	1,0066	0,9992	1,0021	1,0036	1,0033	1,0015	1,0033	0,9989	1,0002	1,0044
V ₁₁ (p.u)	0,95	1,10	1,0204	0,9975	1,0016	0,9958	1,0371	0,9955	0,9944	1,0145	1,0424	1,0493	0,9675
V ₁₃ (p.u)	0,95	1,10	1,0078	0,9956	1,0184	1,0119	1,0220	0,9975	1,0129	1,0094	1,0008	1,0196	1,0202
T ₁ (p.u)	0,90	1,10	1,0292	1,0149	1,0098	1,0074	1,0507	1,0095	1,0061	1,0274	1,0597	1,0645	0,9821
T ₂ (p.u)	0,90	1,10	0,9646	0,9450	1,0238	0,9356	0,9258	0,9473	0,9453	0,9235	0,9640	0,9699	0,9814
T ₃ (p.u)	0,90	1,10	0,9315	0,9211	0,9593	0,9472	0,9587	0,9248	0,9523	0,9365	0,9325	0,9514	0,9532
T ₄ (p.u)	0,90	1,10	0,9507	0,9498	0,9538	0,9479	0,9493	0,9497	0,9517	0,9487	0,9535	0,9484	0,9476
Q ₁ (MVAR)	0,00	30,00	15,4826	19,9123	24,6939	14,6539	11,0091	18,3488	15,0378	11,3892	17,8977	20,4183	26,3733
Q ₂ (MVAR)	0,00	30,00	15,2548	11,1396	19,7715	11,9751	13,1126	13,1144	16,6456	11,9621	17,3681	11,6818	10,8433
P ₁ (MW)	50,00	200,00	139,822551	141,679951	141,216275	141,264084	140,892446	142,428139	141,808648	141,415540	141,887056	140,835365	140,630027

4.1.9. Durum 9: Genel Maliyet Hesabı ve Gerilim Kararlılığı

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.9’da açıklanan genel maliyet hesabı test fonksiyonu ve gerilim kararlılığı test fonksiyonu birlikte kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür.

Test sistemine ait, Denklem (2.48)’de verilen generatör maliyet katsayıları ve rüzgar gücüne ait katsayılar sırasıyla Çizelge 4.4’te ve Çizelge 4.3’te verilmiştir. Denklem (2.47)’de belirtilen λ_L değeri bu amaç fonksiyonu için 100 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.24. Durum 9 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

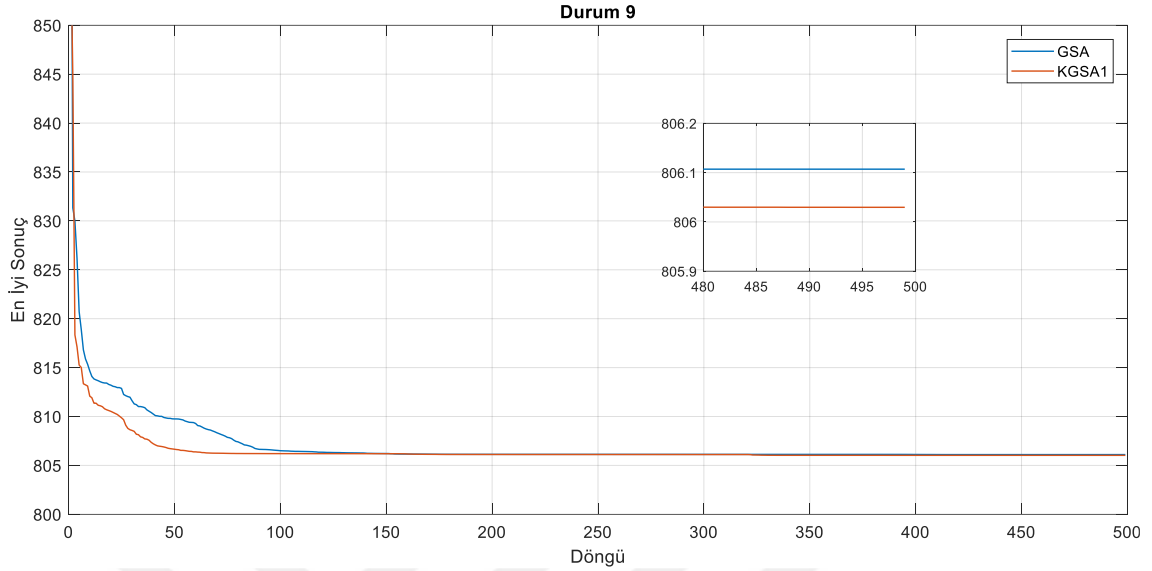
Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	807,5795	807,8020	0,314714
GA	806,4636	807,0799	0,568029
GSA	806,1070	806,3733	0,256217
KGSA1	806,0296	806,3985	0,319294
KGSA2	806,1848	806,4173	0,282253
KGSA3	806,1238	806,3826	0,183370
KGSA4	806,1481	806,4207	0,358162
KGSA5	806,1068	806,4340	0,330525
KGSA6	806,2586	806,4184	0,129789
KGSA7	806,1749	806,3712	0,106980
KGSA8	806,1739	806,3043	0,106376
KGSA9	806,0726	806,2675	0,104450
KGSA10	806,1511	806,3059	0,145030

Çözüme ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.24’te verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 806,0296 \$/sa değerine sahip KGSA1 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 806,2675 \$/sa değeri ile KGSA9 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir. Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Çizelge 4.25’te verilmiştir.

Çizelge 4.25. Durum 9 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	20,00	80,00	41,5481	41,8653	41,8917	42,1963	42,3471	42,1893	42,2161	41,6565	41,3896	42,0439	41,4082
P ₈ (MW)	0,00	75,00	41,8336	41,9173	41,5493	41,7754	41,4395	41,4838	41,4156	41,7494	42,1971	41,7061	41,8077
P ₁₃ (MW)	10,00	35,00	10,0524	10,0113	10,0167	10,0000	10,0222	10,1171	10,3172	10,0630	10,0444	10,0644	10,0003
W ₅ (MW)	0,00	60,00	35,4347	35,0723	35,5698	35,2624	35,1393	35,1067	35,3692	35,0662	35,1732	35,2553	35,5423
W ₁₁ (MW)	12,00	40,00	12,0000	12,0000	12,0030	12,0024	12,0000	12,0719	12,0000	12,0036	12,0001	12,0000	12,0000
V ₁ (p.u)	0,95	1,10	1,0756	1,0765	1,0704	1,0784	1,0782	1,0755	1,0837	1,0715	1,0730	1,0761	1,0753
V ₂ (p.u)	0,95	1,10	1,0578	1,0591	1,0535	1,0635	1,0603	1,0582	1,0664	1,0562	1,0564	1,0608	1,0589
V ₅ (p.u)	0,95	1,10	1,0353	1,0289	1,0312	1,0374	1,0246	1,0325	1,0405	1,0361	1,0329	1,0367	1,0342
V ₈ (p.u)	0,95	1,10	1,0343	1,0381	1,0339	1,0420	1,0361	1,0322	1,0381	1,0359	1,0343	1,0363	1,0382
V ₁₁ (p.u)	0,95	1,10	1,0086	1,0995	1,0994	1,0626	1,0762	1,0988	1,0624	1,0959	1,0384	1,0925	1,0565
V ₁₃ (p.u)	0,95	1,10	1,0736	1,0649	1,0841	1,0541	1,0639	1,0680	1,0316	1,0611	1,0881	1,0628	1,0711
T ₁ (p.u)	0,90	1,10	1,0315	1,0363	1,0325	1,0229	1,0093	1,0407	1,0443	1,0246	1,0012	1,0139	1,0120
T ₂ (p.u)	0,90	1,10	0,9370	0,9203	0,9384	0,9270	1,0181	0,9370	0,9346	1,0139	0,9201	0,9647	1,0165
T ₃ (p.u)	0,90	1,10	1,0045	0,9860	1,0199	0,9663	0,9787	0,9988	0,9570	1,0027	1,0261	0,9874	0,9844
T ₄ (p.u)	0,90	1,10	0,9603	0,9602	0,9645	0,9672	0,9582	0,9613	0,9566	0,9601	0,9597	0,9609	0,9594
Q ₁ (MVAR)	0,00	30,00	29,9359	7,7612	7,8876	6,8244	23,2201	11,3777	17,3184	20,8370	11,2637	4,5354	16,4100
Q ₂ (MVAR)	0,00	30,00	11,3561	8,7631	13,1091	15,1900	8,0207	12,1346	8,6290	10,0982	12,3953	12,9033	11,4679
P ₁ (MW)	50,00	200,00	142,531229	142,533762	142,369495	142,163540	142,451882	142,431332	142,081950	142,861323	142,595560	142,330305	142,641381

En iyi sonuca sahip KGSA1'in ve GSA'nın yakınsama grafikleri Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Durum 9 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

4.1.10. Durum 10: Valf Nokta Etkili Maliyet Hesabı ve Emisyon Maliyeti

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.10'da açıklanan valf nokta etkili genel maliyet hesabı test fonksiyonu ve emisyon maliyeti test fonksiyonu birlikte kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür.

Çizelge 4.26. Valf nokta etkili genel maliyet ve emisyon maliyeti katsayıları.

Üretim Baraları	P_1	P_2	P_8	P_{13}
a	0,00375	0,0175	0,00834	0,025
b	2	1,75	3,25	3
c	0	0	0	0
d	18	16	12	13,5
e	0,037	0,038	0,045	0,041
γ	0,04091	0,02543	0,05326	0,06131
β	-0,05554	-0,06047	-0,0355	-0,05555
α	0,0649	0,05638	0,0338	0,05151
ζ	0,0002	0,0005	0,002	0,00001
λ	2,857	3,333	2	6,667

Test sistemine ait, Denklem (2.51)'de verilen valf nokta etkili generatör maliyet katsayıları ve Denklem (2.52)'de verilen emisyon maliyet katsayıları Çizelge 4.26'da verilmiştir ve Denklem (2.51)'de belirtilen rüzgar gücüne ait katsayılar ise Çizelge 4.3'te verilmiştir. Denklem (2.50)'de belirtilen C_{tax} değeri bu amaç fonksiyonu için 20 olarak belirlenmiştir.

Çözüme ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.27'de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 811,8736 \$/sa değerine sahip KGSA10 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 812,9215 \$/sa değeri ile KGSA7 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir.

Çizelge 4.27. Durum 10 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

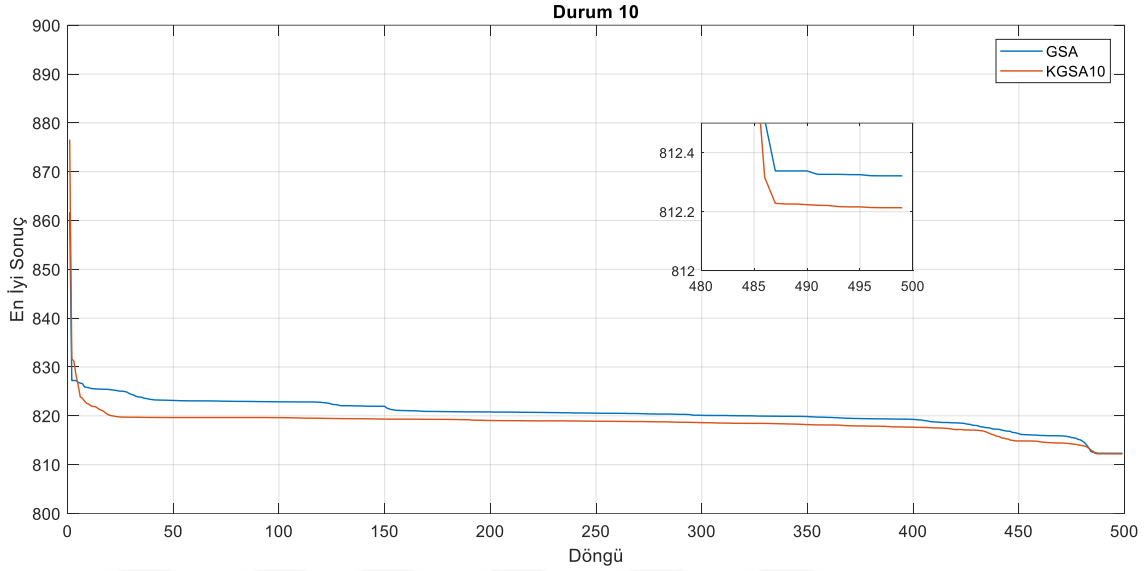
Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	812,3520	813,9040	2,194725
GA	812,1881	813,0445	0,629267
GSA	812,0683	813,2208	1,226592
KGSA1	812,3015	813,3040	1,097698
KGSA2	811,8788	813,2046	1,212477
KGSA3	812,1317	813,5344	1,059153
KGSA4	812,5192	813,2122	0,622968
KGSA5	812,0399	813,8851	1,475464
KGSA6	812,2465	813,0831	0,734048
KGSA7	812,1392	812,9215	0,523852
KGSA8	812,0293	813,1195	0,803744
KGSA9	812,3675	813,3089	0,625510
KGSA10	811,8736	813,0746	0,932979

Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Çizelge 4.28'de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Durum 10 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	20,00	80,00	42,539270	42,675473	42,588461	42,733033	42,387568	42,811938	42,684966	42,535299	42,706078	42,879386	42,572224
P ₈ (MW)	0,00	75,00	42,382502	42,033639	42,253136	42,167174	42,187176	42,215326	42,267448	42,220629	42,161809	42,285228	42,313274
P ₁₃ (MW)	10,00	35,00	10,001693	10,115672	10,000209	10,000000	10,006061	10,000496	10,016161	10,024595	10,119904	10,009362	10,000332
W ₅ (MW)	0,00	60,00	35,596444	35,877808	35,841619	35,635927	35,749401	35,517610	35,551570	35,731456	35,623791	35,703518	35,861649
W ₁₁ (MW)	12,00	40,00	12,004176	12,000077	12,003343	12,000000	12,000426	12,008718	12,000000	12,001793	12,000047	12,000251	12,003556
V ₁ (p.u)	0,95	1,10	1,073221	1,071944	1,074740	1,077894	1,076439	1,078548	1,074924	1,074700	1,078528	1,072544	1,071145
V ₂ (p.u)	0,95	1,10	1,056720	1,057187	1,059018	1,062928	1,058549	1,060763	1,057979	1,059297	1,062090	1,056196	1,058913
V ₅ (p.u)	0,95	1,10	1,033932	1,031648	1,035450	1,039131	1,033380	1,030736	1,029438	1,036142	1,035578	1,030037	1,037927
V ₈ (p.u)	0,95	1,10	1,035290	1,035744	1,037133	1,038354	1,033330	1,040293	1,032994	1,039041	1,037948	1,034653	1,040091
V ₁₁ (p.u)	0,95	1,10	1,017725	1,011003	1,080744	1,057771	1,070235	1,056660	1,067376	1,061943	1,056874	1,072327	1,099602
V ₁₃ (p.u)	0,95	1,10	1,084155	1,085546	1,070328	1,054328	1,062820	1,059764	1,069286	1,067848	1,058726	1,079226	1,062980
T ₁ (p.u)	0,90	1,10	0,997006	0,977971	1,009698	0,984754	1,037631	1,025010	0,993661	1,029567	1,023704	1,008671	1,046024
T ₂ (p.u)	0,90	1,10	0,940732	1,010841	0,938830	1,052839	0,977933	0,956404	1,056423	0,918704	0,945306	0,978309	0,966418
T ₃ (p.u)	0,90	1,10	1,023072	1,017399	0,998100	0,970658	0,987058	0,972582	1,000170	0,991008	0,972674	1,008849	0,980253
T ₄ (p.u)	0,90	1,10	0,966296	0,972953	0,969042	0,966311	0,971106	0,972426	0,972947	0,969758	0,975631	0,964283	0,977303
Q ₁ (MVAR)	0,00	30,00	18,474845	29,674873	4,156139	23,800982	24,644703	17,791192	27,160435	7,854039	19,144170	18,682689	14,598655
Q ₂ (MVAR)	0,00	30,00	11,588702	10,266434	12,442469	10,671225	12,695648	9,508173	10,711561	14,791300	10,734416	9,708003	11,502965
P ₁ (MW)	50,00	200,00	140,875915	140,697330	140,713232	140,863866	141,069369	140,845913	140,879854	140,886228	140,788371	140,522255	140,648965

En iyi sonuca sahip KGSA10'un ve GSA'nın yakınsama grafikleri Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Durum 10 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

4.1.11. Durum 11: Genel Maliyet, Emisyon Maliyeti, Gerilim Sapması ve Güç Kaybı

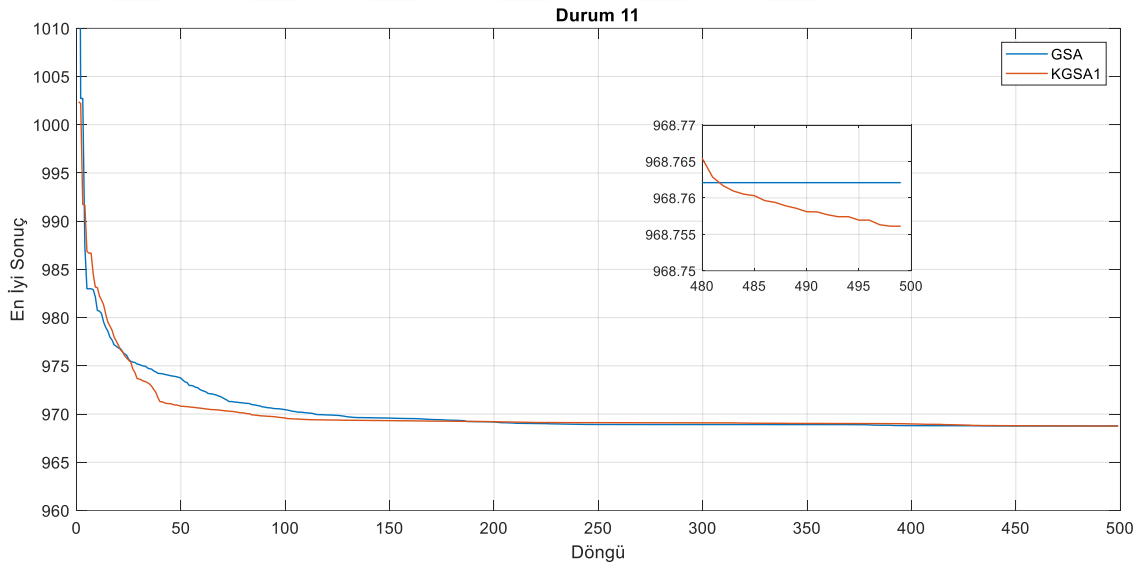
Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.11'de açıklanan genel maliyet hesabı test fonksiyonu, emisyon maliyeti, gerilim sapması ve güç kaybı test fonksiyonları birlikte kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür.

Test sistemine ait, Denklem (2.54)'de verilen generatör maliyet katsayıları ve Denklem (2.55)'te verilen emisyon maliyet katsayıları Çizelge 4.29'da verilmiştir ve Denklem (2.54)'de belirtilen rüzgar gücüne ait katsayılar ise Çizelge 4.3'te verilmiştir. Denklem (2.53)'te belirtilen C_{tax} , λ_E , λ_{GS} , λ_{GK} değerleri bu amaç fonksiyonu için sırasıyla 20, 19, 21 ve 22 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.29. Genel maliyet ve emisyon maliyeti katsayıları.

Üretim Baraları	P_1	P_2	P_8	P_{13}
a	0,00375	0,0175	0,00834	0,025
b	2	1,75	3,25	3
c	0	0	0	0
γ	0,04091	0,02543	0,05326	0,06131
β	-0,05554	-0,06047	-0,0355	-0,05555
α	0,0649	0,05638	0,0338	0,05151
ζ	0,0002	0,0005	0,002	0,00001
λ	2,857	3,333	2	6,667

En iyi sonuca sahip KGSA1'in ve GSA'nın yakınsama grafikleri Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Durum 11 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

Çözüme ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.30'da verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 968,7561 \$/sa değerine sahip KGSA1 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 968,8126 \$/sa değeri ile KGSA9 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir. Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Çizelge 4.31'de verilmiştir.

Çizelge 4.30. Durum 11 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	969,4606	971,1475	2,385624
GA	968,9881	969,3560	0,342776
GSA	968,7621	969,6998	2,814934
KGSA1	968,7561	968,8475	0,076861
KGSA2	968,7607	968,8458	0,078058
KGSA3	968,7863	968,8445	0,042599
KGSA4	968,7711	968,8579	0,060515
KGSA5	968,7914	968,8423	0,031069
KGSA6	968,8327	968,8729	0,045003
KGSA7	968,7698	968,8355	0,039755
KGSA8	968,7668	968,8146	0,035684
KGSA9	968,7743	968,8126	0,044898
KGSA10	968,7713	968,8211	0,041986

Çizelge 4.31. Durum 11 için değişken değerleri.

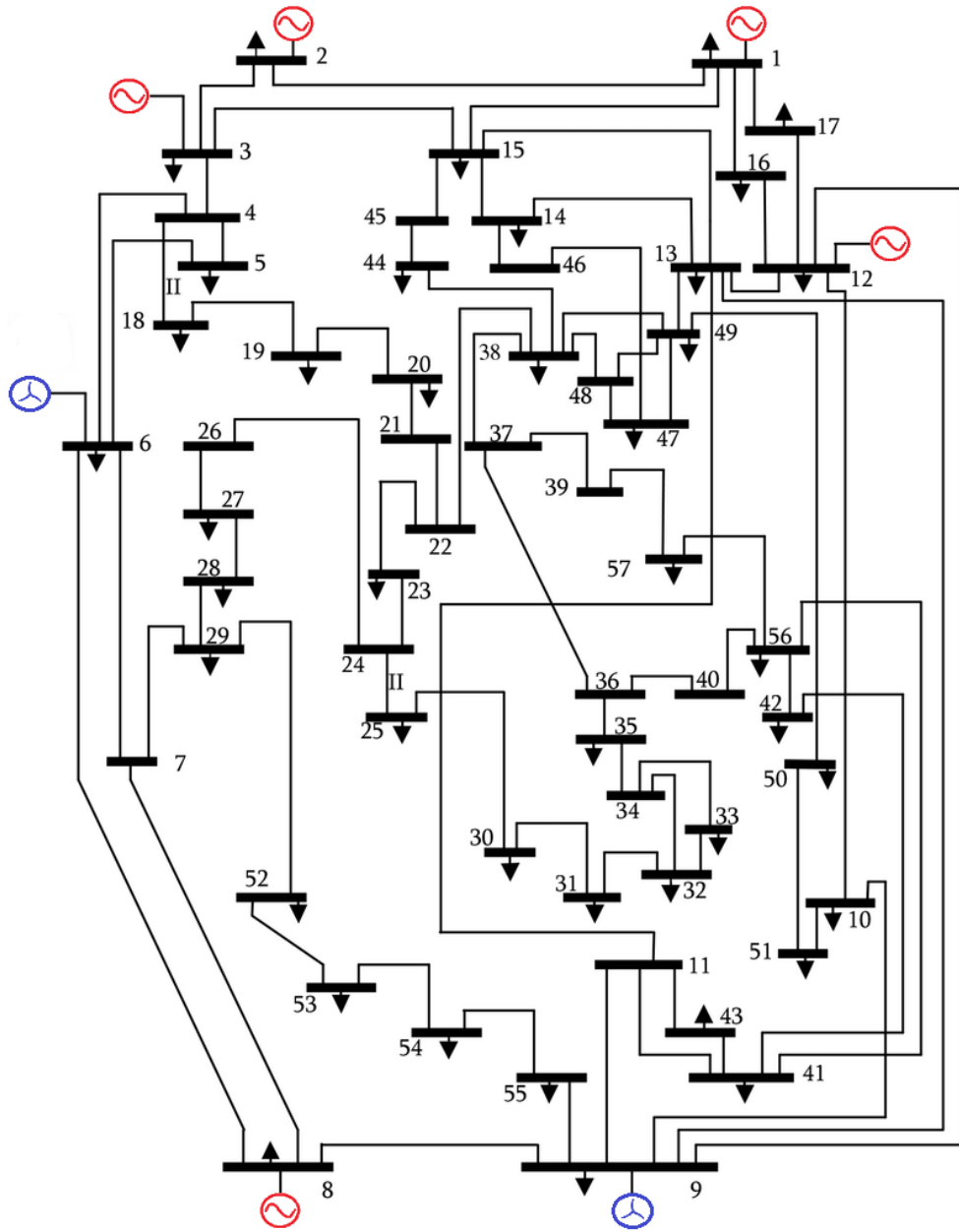
Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	20,00	80,00	44,9887	44,8512	44,8893	44,8692	44,9282	45,0639	44,8618	44,8317	44,8661	44,8532	44,9394
P ₈ (MW)	0,00	75,00	60,4250	60,5507	60,1183	60,1440	60,5316	60,1327	60,5355	60,3308	60,5346	60,5191	60,3829
P ₁₃ (MW)	10,00	35,00	34,9935	34,9946	34,8500	34,8914	34,9965	34,9031	34,9892	34,9566	35,0000	34,9104	34,8742
W ₅ (MW)	0,00	60,00	43,6555	43,7156	43,6371	43,7285	43,6775	43,7316	43,9450	43,7378	43,8852	43,7191	43,6940
W ₁₁ (MW)	12,00	40,00	17,7561	17,5388	17,6105	17,7653	17,9592	17,9819	17,7071	17,8480	17,5115	17,9436	17,7360
V ₁ (p.u)	0,95	1,10	1,0586	1,0623	1,0638	1,0638	1,0562	1,0581	1,0532	1,0619	1,0599	1,0599	1,0648
V ₂ (p.u)	0,95	1,10	1,0492	1,0529	1,0542	1,0545	1,0466	1,0486	1,0438	1,0526	1,0504	1,0506	1,0552
V ₅ (p.u)	0,95	1,10	1,0314	1,0353	1,0361	1,0363	1,0288	1,0309	1,0259	1,0348	1,0326	1,0329	1,0374
V ₈ (p.u)	0,95	1,10	1,0357	1,0397	1,0405	1,0411	1,0332	1,0352	1,0302	1,0394	1,0371	1,0372	1,0419
V ₁₁ (p.u)	0,95	1,10	1,0023	1,0056	1,0056	1,0217	0,9907	1,0125	1,0307	1,0076	1,0061	1,0018	0,9983
V ₁₃ (p.u)	0,95	1,10	1,0359	1,0358	1,0326	1,0333	1,0362	1,0361	1,0341	1,0352	1,0352	1,0347	1,0315
T ₁ (p.u)	0,90	1,10	1,0585	1,0666	1,0689	1,0878	1,0438	1,0693	1,0799	1,0688	1,0634	1,0602	1,0595
T ₂ (p.u)	0,90	1,10	0,9900	0,9955	0,9985	0,9693	0,9979	0,9658	0,9442	0,9731	0,9828	0,9865	1,0050
T ₃ (p.u)	0,90	1,10	1,0209	1,0249	1,0208	1,0229	1,0204	1,0211	1,0122	1,0242	1,0208	1,0215	1,0193
T ₄ (p.u)	0,90	1,10	0,9839	0,9875	0,9886	0,9883	0,9807	0,9833	0,9785	0,9873	0,9841	0,9863	0,9897
Q ₁ (MVAR)	0,00	30,00	26,2025	26,5095	28,1850	22,1784	28,8450	21,8187	16,8129	23,1388	24,0569	25,8205	27,6424
Q ₂ (MVAR)	0,00	30,00	11,0698	11,0289	10,7367	11,0648	11,2640	11,0321	11,3384	11,1698	11,3561	11,5032	11,2686
P ₁ (MW)	50,00	200,00	81,581297	81,749091	82,294803	82,001594	81,306956	81,586687	81,361445	81,695220	81,602729	81,454512	81,773391

4.2. IEEE 57 BARALI SİSTEM

Bu bölümde kaotik güve sürü algoritmasının test edilmesi için Şekil 4.13'te verilen IEEE 57 baralı sistem kullanılmıştır. Sistemde yer alan 6. ve 9. baralardaki generatörlerin yerine sırasıyla 50 ve 40 adet rüzgar türbini olan rüzgar tarlaları eklenmiştir. Rüzgar gücü maliyet hesaplamasında kullanılan katsayılar Çizelge 4.32'de verilmiştir [23]. Baralara ve iletim hatlarına ait veriler Kaynak [48]'de detaylı olarak verilmiştir. Sisteme ait aktif ve reaktif güç talebi 1250.8 MW ve 336.4 MVAR olarak belirtilmiştir. Sistemde 5 farklı amaç fonksiyonu için çözümlerler yapılmıştır. Algoritma içerisinde sürü nüfusu 50 ve yolbulucu güve sayısı 7 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.32. IEEE 57 baralı sistem için rüzgar gücüne ait katsayılar.

Katsayılar	Üretim birimleri	
	W ₆	W ₉
q	1.60	1.75
v_{in} (m/s)	3	3
v_{out} (m/s)	25	25
v_r (m/s)	16	16
k (m/s)	2	2
c (m/s)	9	10
C_{rwj}	3	3
C_{pwj}	1.5	1.5
P_r (MW)	3	3
P_T (MW)	150	120



Şekil 4.13. Rüzgar Entegreli IEEE 57 Baralı Sistem.

4.2.1. Durum 12: Genel Maliyet Hesabı

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.1’de açıklanan genel maliyet hesabı test fonksiyonu kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür.

Test sistemine ait, Denklem (2.29)’da verilen generatör maliyet katsayıları Çizelge 4.33’te verilmiştir ve Denklem (2.30)’da belirtilen rüzgar gücüne ait katsayılar Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Ek-1’de verilmiştir.

Çizelge 4.33. IEEE 57 baralı sistem için generatörlere ait maliyet katsayıları.

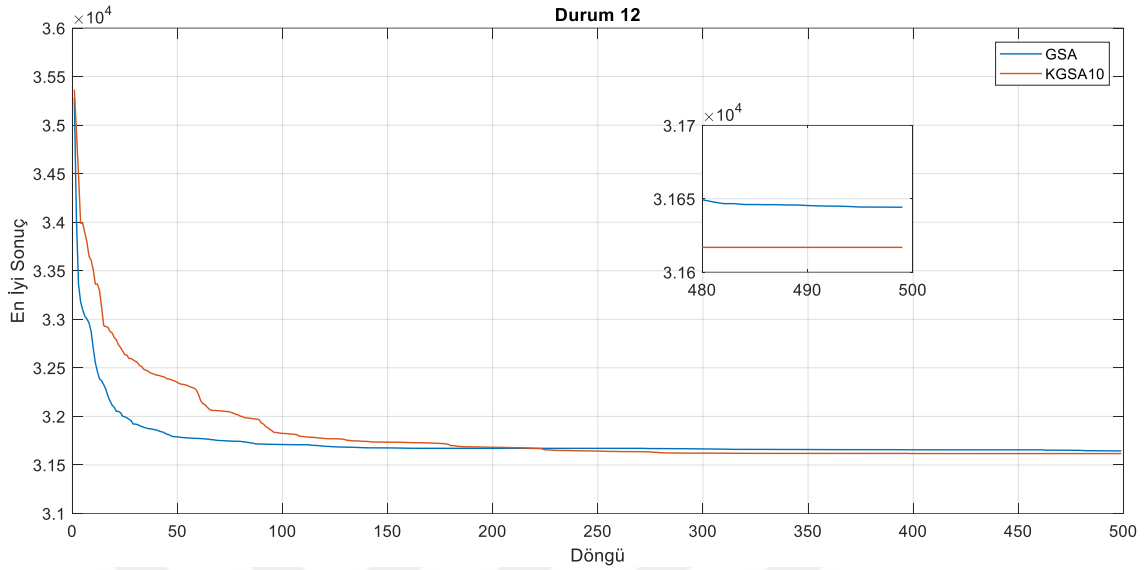
Üretim Baraları	a	b	c
P ₁	0,0775795	20	0
P ₂	0,01	40	0
P ₃	0,25	20	0
P ₈	0,0222222	20	0
P ₁₂	0,0322581	20	0

Çözüme ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.34’te verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 31616,898 \$/sa değerine sahip KGSA10 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 31657,860 \$/sa değeri ile KGSA10 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir.

Çizelge 4.34. Durum 12 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	33400,326	34011,353	372,90838
GA	31637,539	31674,742	42,02340
GSA	31644,253	31678,663	43,51231
KGSA1	31643,330	31692,315	46,91891
KGSA2	31643,440	31686,981	24,08940
KGSA3	31632,225	31673,839	27,88850
KGSA4	31653,108	31687,630	22,36032
KGSA5	31620,368	31662,273	26,63302
KGSA6	31634,476	31686,314	35,07042
KGSA7	31646,452	31681,208	18,99773
KGSA8	31638,856	31675,526	29,87536
KGSA9	31653,425	31681,458	33,43692
KGSA10	31616,898	31657,860	22,30268

En iyi sonuca sahip KGSA10'un ve GSA'nın yakınsama grafikleri Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14. Durum 12 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

4.2.2. Durum 13: Genel Maliyet Hesabı ve Gerilim Sapması

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.8'de açıklanan genel maliyet hesabı test fonksiyonu ve gerilim sapması test fonksiyonu birlikte kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür. Test sistemine ait, Denklem (2.45)'de verilen generatör maliyet katsayıları ve rüzgar gücüne ait katsayılar sırasıyla Çizelge 4.33'te ve Çizelge 4.32'de verilmiştir. Denklem (2.44)'de belirtilen λ_{GS} değeri bu amaç fonksiyonu için 100 olarak belirlenmiştir. Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Ek-2'de verilmiştir.

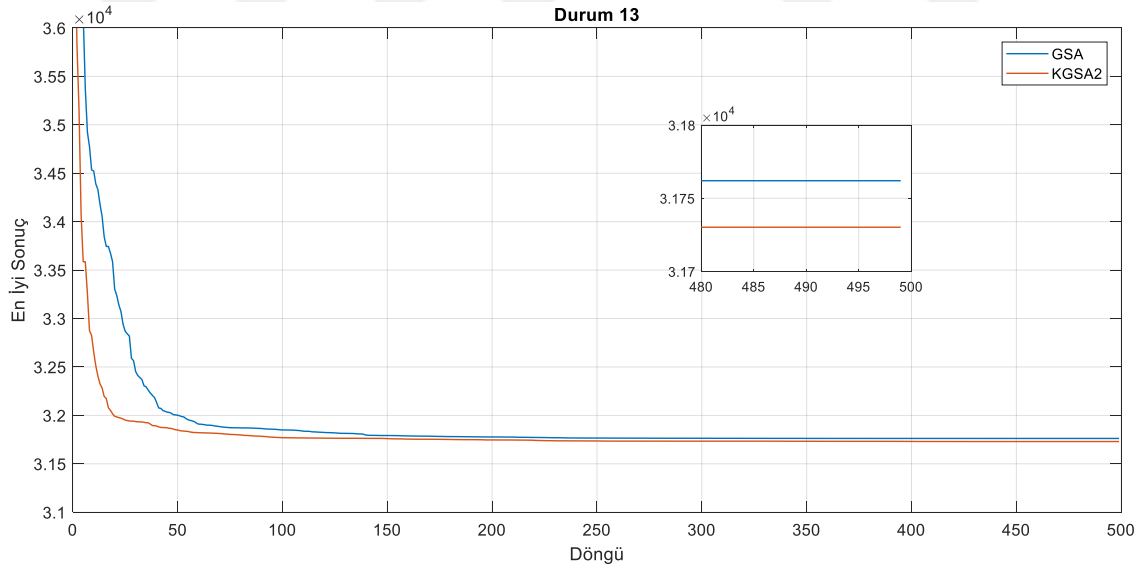
Çözüme ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.35'te verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 31730,243 \$/sa değerine sahip KGSA2 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 31779,434 \$/sa değeri ile KGSA7 yöntemi en iyi sonucu vermiştir.

Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalara oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir.

Çizelge 4.35. Durum 13 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	33074,269	34133,103	681,79467
GA	31740,725	31788,590	30,14663
GSA	31762,010	31797,596	23,98666
KGSA1	31749,703	31790,269	22,30793
KGSA2	31730,243	31790,388	38,13225
KGSA3	31787,123	31833,340	21,83160
KGSA4	31762,045	31795,202	25,68660
KGSA5	31763,666	31788,368	14,58113
KGSA6	31749,997	31807,396	63,26620
KGSA7	31754,275	31779,434	18,90494
KGSA8	31755,087	31799,295	46,55918
KGSA9	31736,800	31798,753	43,00306
KGSA10	31742,276	31796,479	48,36869

En iyi sonuca sahip KGSA2'nin ve GSA'nın yakınsama grafikleri Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15. Durum 13 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

4.2.3. Durum 14: Genel Maliyet Hesabı ve Gerilim Kararlılığı

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.9'da açıklanan genel maliyet hesabı test fonksiyonu ve gerilim kararlılığı test

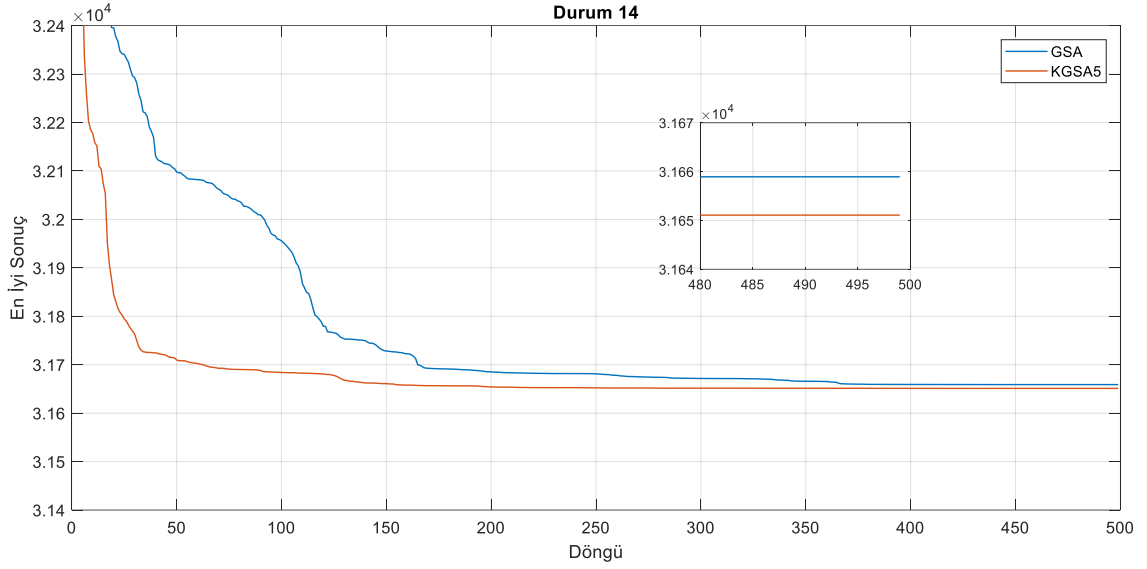
fonksiyonu birlikte kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür. Test sistemine ait, Denklem (2.48)'de verilen generatör maliyet katsayıları ve rüzgar gücüne ait katsayılar sırasıyla Çizelge 4.33'te ve Çizelge 4.32'de verilmiştir. Denklem (2.47)'de belirtilen λ_L değeri bu amaç fonksiyonu için 100 olarak belirlenmiştir. Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Ek-3'te verilmiştir.

Çizelge 4.36. Durum 14 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	33265,566	34026,284	685,21731
GA	31671,485	31723,829	38,58923
GSA	31658,933	31702,507	24,62628
KGSA1	31680,675	31702,914	17,09222
KGSA2	31690,596	31708,622	22,39562
KGSA3	31676,956	31696,190	16,14467
KGSA4	31673,962	31716,260	35,57920
KGSA5	31651,088	31679,262	24,01534
KGSA6	31685,874	31722,403	24,29488
KGSA7	31657,498	31722,718	54,01977
KGSA8	31685,451	31702,253	24,45054
KGSA9	31671,515	31713,426	32,54344
KGSA10	31675,720	31699,856	21,94027

Çözüme ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.36'da verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 31651,088 \$/sa değerine sahip KGSA5 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 31679,262 \$/sa değeri ile KGSA5 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir.

En iyi sonuca sahip KGSA5'in ve GSA'nın yakınsama grafikleri Şekil 4.16'da verilmiştir.

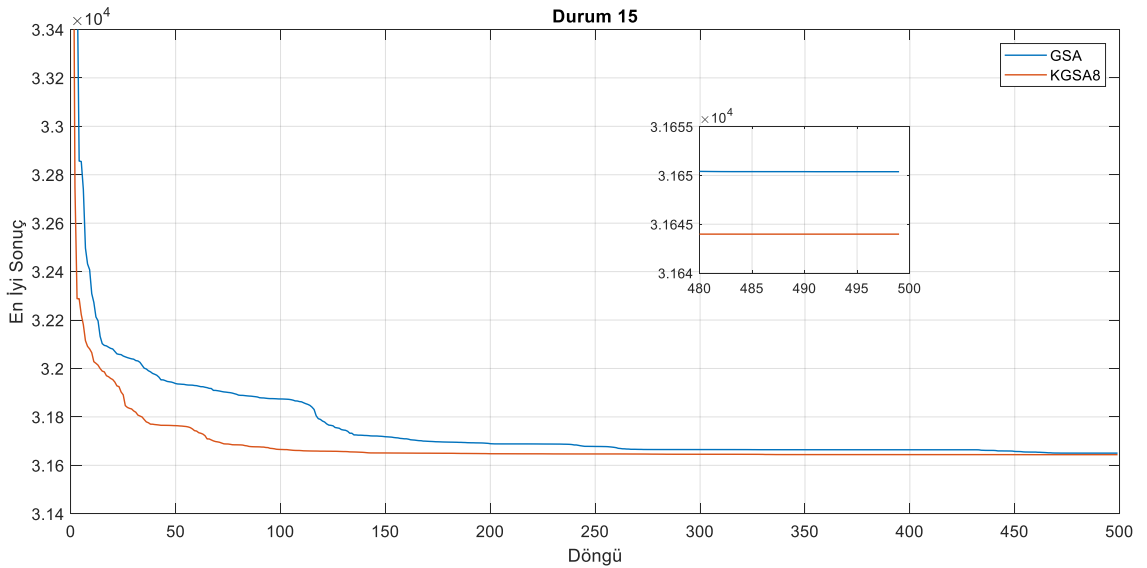


Şekil 4.16. Durum 14 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

4.2.4. Durum 15: Genel Maliyet Hesabı ve Emisyon Maliyeti

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.6’da açıklanan genel maliyet hesabı test fonksiyonu ve emisyon maliyeti test fonksiyonu birlikte kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür.

En iyi sonuca sahip KGSA8’in ve GSA’nın yakınsama grafikleri Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. Durum 15 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

Çizelge 4.37. IEEE 57 baralı sistem için genel ve emisyon maliyeti katsayıları.

Üretim Baraları	P ₁	P ₂	P ₃	P ₈	P ₁₂
<i>a</i>	0,0775795	0,01	0,25	0,0222222	0,0322581
<i>b</i>	20	40	20	20	20
<i>c</i>	0	0	0	0	0
<i>γ</i>	0,04091	0,02543	0,06131	0,04258	0,05326
<i>β</i>	-0,05554	-0,06047	-0,05555	-0,05094	-0,03555
<i>α</i>	0,0649	0,05638	0,05151	0,04586	0,0338
<i>ζ</i>	0,0002	0,0005	0,00001	0,000001	0,002
<i>λ</i>	0,286	0,3333	0,667	0,8	0,2

Test sistemine ait, Denklem (2.39)'da verilen generatör maliyet katsayıları ve Denklem(2.40)'da verilen emisyon maliyet katsayıları Çizelge 4.37'de verilmiştir ve Denklem (2.39)'da belirtilen rüzgar gücüne ait katsayılar ise Çizelge 4.32'de verilmiştir. Denklem (2.38)'de belirtilen C_{tax} değeri bu amaç fonksiyonu için 20 olarak belirlenmiştir. Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Ek-4'te verilmiştir.

Çizelge 4.38. Durum 15 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	33092,210	33902,833	560,60281
GA	31668,644	31698,924	23,44370
GSA	31650,378	31691,178	28,52851
KGSA1	31659,946	31707,411	68,82261
KGSA2	31670,826	31705,425	35,84378
KGSA3	31671,052	31711,862	34,39960
KGSA4	31648,944	31701,589	21,74973
KGSA5	31663,442	31693,626	21,31848
KGSA6	31662,513	31702,774	33,68288
KGSA7	31646,143	31701,634	44,60571
KGSA8	31643,983	31704,747	33,40714
KGSA9	31658,113	31689,175	20,91438
KGSA10	31658,431	31700,963	26,54256

Çözümüne ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.38’de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 31643,983 \$/sa değerine sahip KGSA8 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 31689,175 \$/sa değeri ile KGSA9 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir.

4.2.5. Durum 16: Valf Nokta Etkili Genel Maliyet Hesabı

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.5’de açıklanan valf nokta etkili genel maliyet hesabı test fonksiyonu kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür. Test sistemine ait, Denklem (2.37)’de verilen valf nokta etkili generatör maliyet katsayıları Çizelge 4.39’da verilmiştir ve Denklem (2.37)’de belirtilen rüzgar gücüne ait katsayılar Çizelge 4.32’de verilmiştir. Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Ek-5’te verilmiştir.

Çizelge 4.39. IEEE 57 baralı sistem için valf nokta etkili maliyet katsayıları.

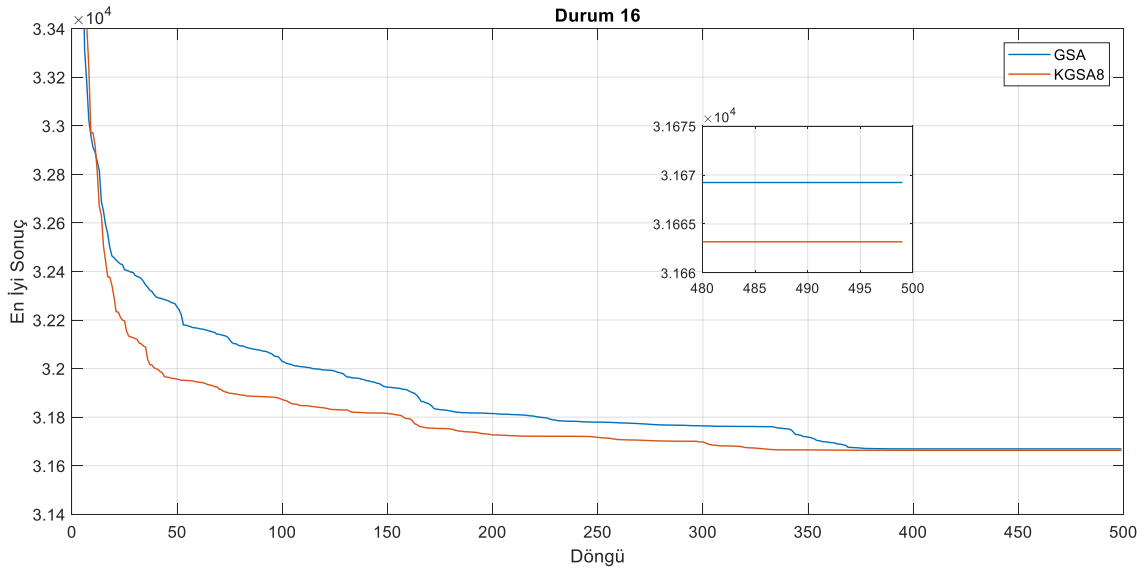
Üretim Baraları	a	b	c	d	e
P ₁	0,0775795	20	0	18	0,037
P ₂	0,01	40	0	16	0,038
P ₃	0,25	20	0	13,5	0,041
P ₈	0,0222222	20	0	14	0,04
P ₁₂	0,0322581	20	0	12	0,045

Çözümüne ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.40’da verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 31663,175 \$/sa değerine sahip KGSA8 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 31714,219 \$/sa değeri ile KGSA8 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir.

Çizelge 4.40. Durum 16 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

T. F	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	33018,493	33802,581	751,67456
GA	31686,265	31715,136	18,25213
GSA	31669,233	31734,190	63,87314
KGSA1	31684,250	31718,723	23,59040
KGSA2	31687,403	31722,005	41,77976
KGSA3	31691,601	31722,598	28,68644
KGSA4	31697,391	31721,495	26,15510
KGSA5	31689,722	31731,373	32,13851
KGSA6	31686,382	31718,293	31,04786
KGSA7	31683,357	31719,565	34,41069
KGSA8	31663,175	31714,219	31,93902
KGSA9	31685,770	31726,721	65,82683
KGSA10	31669,973	31714,596	29,63496

En iyi sonuca sahip KGSA8'in ve GSA'nın yakınsama grafikleri Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18. Durum 16 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

4.3. IEEE 118 BARALI SİSTEM

Bu bölümde kaotik güve sürü algoritmasının test edilmesi için IEEE 118 baralı sistem kullanılmıştır. Sistemde yer alan 15., 32., 49., 55., 104. ve 112. baralardaki generatörlerin yerine sırasıyla 50, 40, 40, 50, 50 ve 40 adet rüzgar türbini olan rüzgar tarlaları eklenmiştir. Rüzgar gücü maliyet hesaplamasında kullanılan katsayılar Çizelge 4.41’de verilmiştir. Baralara ve iletim hatlarına ait veriler Kaynak [48]’te detaylı olarak verilmiştir. Sisteme ait aktif ve reaktif güç talebi 4242 MW ve 1439 MVAR olarak belirtilmiştir. Sistemde 2 farklı test fonksiyonu için çözümler yapılmıştır. Algoritma içerisinde sürü nüfusu 50 ve yolbulucu güve sayısı 7 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.41. IEEE 118 baralı sistem için rüzgar gücüne ait katsayılar.

Katsayılar	Üretim birimleri					
	W_{15}	W_{32}	W_{49}	W_{55}	W_{104}	W_{112}
q	1.60	1.75	1.75	1.60	1.60	1.75
v_{in} (m/s)	3	3	3	3	3	3
v_{out} (m/s)	25	25	25	25	25	25
v_r (m/s)	16	16	16	16	16	16
k (m/s)	2	2	2	2	2	2
c (m/s)	9	10	10	9	9	10
C_{rwj}	3	3	3	3	3	3
C_{pwj}	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
P_r (MW)	3	3	3	3	3	3
P_T (MW)	150	120	120	150	150	120

4.3.1. Durum 17: Genel Maliyet Hesabı

Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.1’de açıklanan genel maliyet hesabı test fonksiyonu kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür. Test sistemine ait, Denklem (2.29)’da verilen generatör maliyet katsayıları Çizelge 4.33’te verilmiştir ve Denklem (2.30)’da belirtilen rüzgar gücüne ait katsayılar Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.42. IEEE 118 baralı sistem için generatörlere ait maliyet katsayıları.

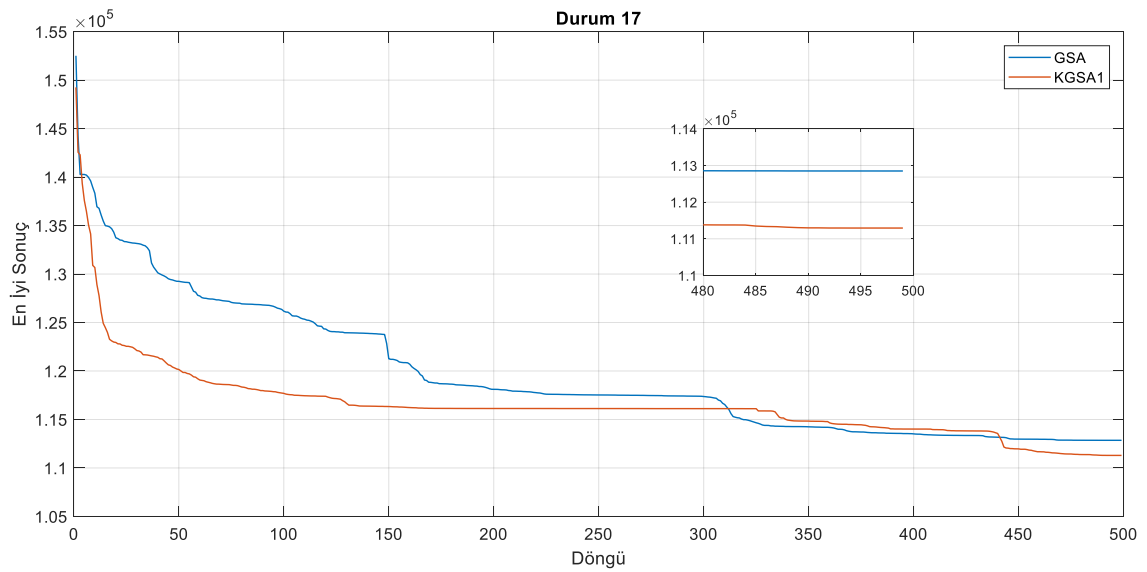
Üretim Baraları	a	b	c	Üretim Baraları	a	b	c
P ₁	0,01	40	0	P ₆₆	0,02551	20	0
P ₄	0,01	40	0	P ₆₉	0,01936	20	0
P ₆	0,01	40	0	P ₇₀	0,01	40	0
P ₈	0,01	40	0	P ₇₂	0,01	40	0
P ₁₀	0,02222	20	0	P ₇₃	0,01	40	0
P ₁₂	0,01	40	0	P ₇₄	0,01	40	0
P ₁₈	0,01	40	0	P ₇₆	0,01	40	0
P ₁₉	0,01	40	0	P ₇₇	0,01	40	0
P ₂₄	0,01	40	0	P ₈₀	0,02096	20	0
P ₂₅	0,04545	20	0	P ₈₅	0,01	40	0
P ₂₆	0,03184	20	0	P ₈₇	2,5	20	0
P ₂₇	0,01	40	0	P ₈₉	0,01647	20	0
P ₃₁	0,01	40	0	P ₉₀	0,01	40	0
P ₃₄	0,01	40	0	P ₉₁	0,01	40	0
P ₃₆	0,01	40	0	P ₉₂	0,01	40	0
P ₄₀	0,01	40	0	P ₉₉	0,01	40	0
P ₄₂	0,01	40	0	P ₁₀₀	0,03968	20	0
P ₄₆	0,04901	20	0	P ₁₀₃	0,25	20	0
P ₅₄	0,01	40	0	P ₁₀₅	0,01	40	0
P ₅₆	0,01	40	0	P ₁₀₇	0,01	40	0
P ₅₉	0,06451	20	0	P ₁₁₀	0,01	40	0
P ₆₁	0,0625	20	0	P ₁₁₁	0,27777	20	0
P ₆₂	0,01	40	0	P ₁₁₃	0,01	40	0
P ₆₅	0,02557	20	0	P ₁₁₆	0,01	40	0

Çözümüne ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.43'te verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 111293,36 \$/sa değerine sahip KGSA1 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 113923,23 \$/sa değeri ile KGSA6 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem minimum değer hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir.

Çizelge 4.43. Durum 17 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	163714,83	177203,94	8149,1004
GA	116975,16	118732,99	1708,2417
GSA	112850,75	115067,15	1610,0793
KGSA1	111293,36	114271,10	1900,6637
KGSA2	112202,94	115361,67	2162,8734
KGSA3	112327,76	116872,11	2749,5940
KGSA4	113358,39	114629,90	1404,3589
KGSA5	112872,33	115476,19	1530,9110
KGSA6	111622,27	113923,23	1384,7495
KGSA7	112531,56	115872,34	2726,4942
KGSA8	112354,03	114191,36	1499,1219
KGSA9	111860,81	115677,62	2107,5166
KGSA10	114100,06	115921,53	1418,2023

Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Ek-6’da verilmiştir. En iyi sonuca sahip KGSA1’in ve GSA’nın yakınsama grafikleri Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19. Durum 17 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

4.3.2. Durum 18: Güç Kaybı

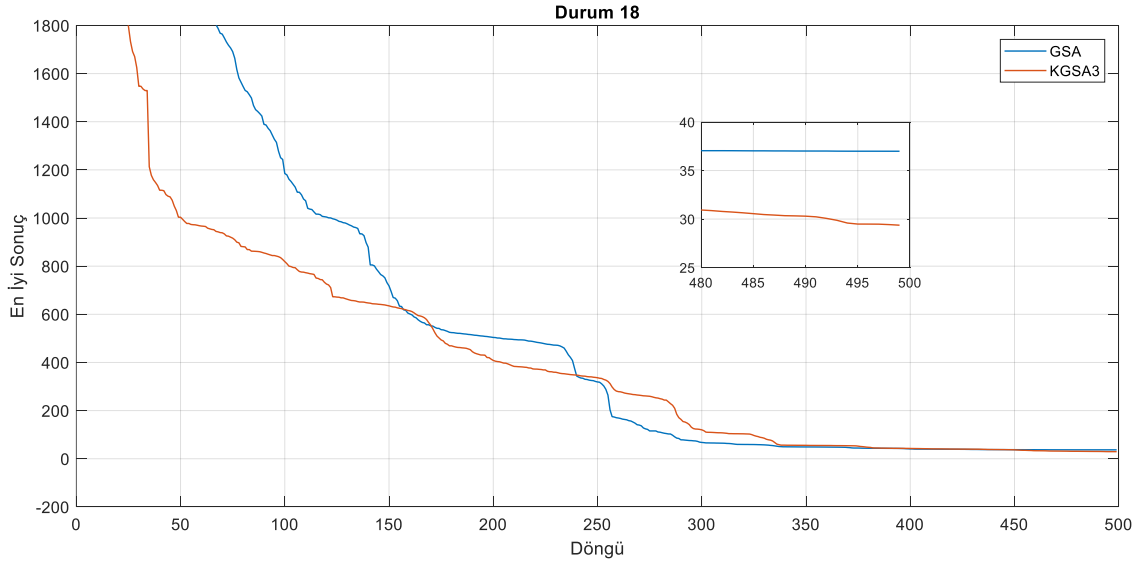
Bu kısımda rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı problemi amaç fonksiyonu olarak Başlık 2.3.4’de açıklanan güç kaybı test fonksiyonu kullanılmıştır. Problem, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma, güve sürü algoritması ve kaotik güve sürü algoritması ile çözülmüştür.

Çözümüne ait minimum, ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.44’te verilmiştir. Tablodan da görülebileceği üzere 29,3671 MW değerine sahip KGSA3 yöntemi ile amaç fonksiyonu için minimum değer elde edilmiştir. Sonuçlara ortalama değer açısından bakıldığında ise 151,6917 MW değeri ile KGSA4 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. Hem en iyi sonuçlar hem de ortalama değer açısından kaotik güve sürü algoritmasının diğer algoritmalarla oranla daha iyi sonuç verdiği görülebilmektedir.

Çizelge 4.44. Durum 18 için minimum, ortalama ve standart sapma değerleri.

Yöntem	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
PSOA	14903,5756	18951,6976	2198,4104
GA	1430,8250	1924,2635	406,4027
GSA	36,9873	536,8315	569,5909
KGSA1	58,7223	236,1201	236,6810
KGSA2	56,9804	284,1983	216,9442
KGSA3	29,3671	229,9728	295,4492
KGSA4	32,2497	151,6917	199,9779
KGSA5	40,3159	316,3669	363,0136
KGSA6	34,1358	354,3480	396,5025
KGSA7	29,6994	335,3587	410,9514
KGSA8	30,4069	188,0419	208,5916
KGSA9	39,9133	354,9724	338,3226
KGSA10	63,1966	240,8859	197,5908

Çözüm sonucunda elde edilen en iyi sonuçlara ait değişken değerleri Ek-7’de verilmiştir. En iyi sonuca sahip KGSA3’ün ve GSA’nın yakınsama grafikleri Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20. Durum 18 için en iyi sonuçlara ait yakınsama grafiği.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde, güç sistemleri alanında günümüzün önemli problemlerinden olan ve rüzgar entegre edilmiş Optimal Güç Akışı probleminin, Kaotik Güve Sürü Algoritması kullanılarak çözümü sağlanmıştır. Önerilen kaotik güve sürü algoritması, güvelerin besin arama ve yön bulma tekniklerinden ilham alınarak oluşturulan güve sürü algoritmasının global arama yöntemini geliştirmek için yolbulucu güvelerin konumlarını güncelleme aşamasında kullanılan Lévy uçuşu yöntemine kaos haritaların eklenmesiyle geliştirilen bir yöntemdir. Geliştirilen algoritma asıl probleme uygulanmadan önce literatürde çok kullanılan yedi farklı test fonksiyonu üzerinde çözümlemeler yapılarak test edilmiş ve genel anlamda KGSA'nın, GSA'ya oranla daha etkin sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda önerilen kaotik güve sürü algoritması, IEEE 30 baralı 6 generatörlü güç sisteminde yer alan 2 generatörün yerine rüzgar tarlaları getirilerek elde edilen yeni sistemde 11 farklı amaç fonksiyonu için çözümlemeler yapılmıştır. Yine IEEE 57 baralı 7 generatörlü güç sisteminde yer alan 2 generatörün yerine rüzgar tarlaları getirilerek elde edilen yeni sistemde 5 farklı amaç fonksiyonu için çözümlemeler yapılmıştır. Ayrıca IEEE 118 baralı 54 generatörlü güç sisteminde yer alan 6 generatörün yerine rüzgar tarlaları getirilerek elde edilen yeni sistemde 2 farklı amaç fonksiyonu için çözümlemeler yapılmıştır.

Çözümlemeler sonucunda elde edilen sonuçlar, parçacık sürü optimizasyon algoritması, genetik algoritma ve güve sürü algoritması ile karşılaştırılmış ve sonuçlardan yola çıkarak geliştirilmiş olan metodun karşılaştırılan metotlara göre daha verimli ve etkin sonuçlar verdiği saptanmıştır.

6. KAYNAKLAR

- [1] J. Carpentier, "Contribution to the economic dispatch problem," *Bulletin de la Societe Francoise des Electriciens*, vol. 3, no. 8, pp. 431–447, 1962.
- [2] X. Yan and V. H. Quintana, "Improving an interior-point-based off by dynamic adjustments of step sizes and tolerances," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 14, no. 2, pp. 709–716, 1999.
- [3] H. Habibollahzadeh, G.-X. Luo, and A. Semlyen, "Hydrothermal optimal power flow based on a combined linear and nonlinear programming methodology," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 4, no. 2, pp. 530–537, 1989.
- [4] R. C. Burchett, H. H. Happ, and D. R. Vierath, "Quadratically convergent optimal power flow," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 103, no. 11, pp. 3267–3275, 1984.
- [5] J. A. Momoh, R. Adapa, and M. E. El-Hawary, "A review of selected optimal power flow literature to 1993. I. Nonlinear and quadratic programming approaches," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 96–104, 1999.
- [6] J. A. Momoh, M. E. El-Hawary, and R. Adapa, "A review of selected optimal power flow literature to 1993. II. Newton, linear programming and interior point methods," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 105–111, 1999.
- [7] M. Huneault and F. D. Galiana, "A survey of the optimal power flow literature," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 6, no. 2, pp. 762–770, 1991.
- [8] M. A. Abido, "Optimal power flow using particle swarm optimization," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 24, no. 7, pp. 563–571, 2002.
- [9] M. Rezaei Adaryani and A. Karami, "Artificial bee colony algorithm for solving multi-objective optimal power flow problem," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 53, no. 1, pp. 219–230, 2013.
- [10] P. K. Roy and C. Paul, "Optimal power flow using krill herd algorithm," *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 25, no. 8, pp. 1397–1419, 2015.
- [11] A. A. A. Mohamed, Y. S. Mohamed, A. A. M. El-Gaafary, and A. M. Hemeida, "Optimal power flow using moth swarm algorithm," *Electric Power Systems Research*, vol. 142, pp. 190–206, 2017.
- [12] C. A. Roa-Sepulveda and B. J. Pavez-Lazo, "A solution to the optimal power flow using simulated annealing," in *IEEE Porto Power Tech Proceedings*, Porto, Portugal, 2001, pp. 148–152.
- [13] S. Duman, U. Guvenc, Y. Sonmez, and N. Yorukeren, "Optimal power flow using gravitational search algorithm," *Energy Conversion and Management*, vol. 59, pp.

86–95, 2012.

- [14] T. Bouktir, L. Slimani, and M. Belkacemi, “A genetic algorithm for solving the optimal power flow problem,” *Leonardo Journal of Sciences*, vol. 4, no. 4, pp. 44–58, 2004.
- [15] A. G. Bakirtzis, P. N. Biskas, C. E. Zoumas, and V. Petridis, “Optimal power flow by enhanced genetic algorithm,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 17, no. 2, pp. 229–236, 2002.
- [16] Z. Gaing, “Constrained optimal power flow by mixed-integer particle swarm optimization,” in *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, San Francisco, USA, 2005, pp. 290–297.
- [17] K. Ayan, U. Kilic, and B. Barakli, “Chaotic artificial bee colony algorithm based solution of security and transient stability constrained optimal power flow,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 64, pp. 136–147, 2015.
- [18] A. Mukherjee and V. Mukherjee, “Solution of optimal power flow using chaotic krill herd algorithm,” *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 78, pp. 10–21, 2015.
- [19] L. Shi, C. Wang, L. Yao, Y. Ni, and M. Bazargan, “Optimal power flow solution incorporating wind power,” *IEEE Systems Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 233–241, 2012.
- [20] A. Panda and M. Tripathy, “Security constrained optimal power flow solution of wind-thermal generation system using modified bacteria foraging algorithm,” *Energy*, vol. 93, pp. 816–827, 2015.
- [21] P. P. Biswas, P. N. Suganthan, and G. A. J. Amaratunga, “Optimal power flow solutions incorporating stochastic wind and solar power,” *Energy Conversion Management*, vol. 148, pp. 1194–1207, 2017.
- [22] M. J. Morshed and A. Asgharpour, “Hybrid imperialist competitive-sequential quadratic programming (HIC-SQP) algorithm for solving economic load dispatch with incorporating stochastic wind power: A comparative study on heuristic optimization techniques,” *Energy Conversion Management*, vol. 84, pp. 30–40, 2014.
- [23] U. Guvenc, S. Duman, and E. Kaymaz, “Economic dispatch of power system including wind power using salp swarm algorithm,” presented at 7th International Conference on Advanced Technologies (ICAT'18), Antalya, Turkey, 2018.
- [24] S. Ozyon, C. Yasar, and H. Temurtas, “Diferansiyel gelişim algoritmasının valf nokta etkili konveks olmayan ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması,” in *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey, 2011, pp. 181–186.
- [25] K. D. Frank, “Impact of outdoor lighting on moths an assessment,” *Journal of the Lepidopterists' Society*, vol. 42, no. 2, pp. 63–93, 1988.
- [26] K. J. Gaston, J. Bennie, T. W. Davies, and J. Hopkins, “The ecological impacts of nighttime light pollution: A mechanistic appraisal,” *Biological Reviews*, vol. 88, no. 4, pp. 912–927, 2013.
- [27] F. Bartumeus, J. Catalan, U. L. Fulco, M. L. Lyra, and G. M. Viswanathan, “Optimizing the encounter rate in biological interactions: Lévy versus Brownian

- strategies,” *Physical Review Letters*, vol. 88, no. 9, p. 4, 2002.
- [28] S. Borak, W. Härdle, and R. Weron, “Stable distributions,” in *Statistical Tools for Finance and Insurance*, 1st ed., Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2005, ch. 1, pp. 21–44.
 - [29] R. N. Mantegna, “Fast, accurate algorithm for numerical simulation of Lévy stable stochastic processes,” *Physical Review E*, vol. 49, no. 5, pp. 4677–4683, 1994.
 - [30] A. Mcfadyen, P. Corke, and L. Mejias, “Visual predictive control of spiral motion,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 30, no. 6, pp. 1441–1454, 2014.
 - [31] K. N. Boyadzhiev, “Spirals and conchospirals in the flight of insects,” *The College Mathematics Journal*, vol. 30, no. 1, p. 23, 1999.
 - [32] S. Mirjalili, “Moth-flame optimization algorithm: A novel nature-inspired heuristic paradigm,” *Knowledge-Based Systems*, vol. 89, pp. 228–249, 2015.
 - [33] J. P. Cunningham, “Learning, odour preference and flower foraging in moths,” *Journal of Experimental Biology*, vol. 207, no. 1, pp. 87–94, 2004.
 - [34] R. Menzel, U. Greggers, and M. Hammer, “Functional organization of appetitive learning and memory in a generalist pollinator, the honey bee,” in *Insect Learning*, 1st ed., Boston, USA: Springer US, 1993, ch. 4, pp. 79–125.
 - [35] R. J. Fan, P. Anderson, and B. Hansson, “Behavioural analysis of olfactory conditioning in the moth *spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: noctuidae),” *Journal of Experimental Biology*, vol. 200, pp. 2969–76, 1997.
 - [36] H. T. Skiri, “Associative learning of plant odorants activating the same or different receptor neurones in the moth *Heliothis virescens*,” *Journal of Experimental Biology*, vol. 208, no. 4, pp. 787–796, 2005.
 - [37] S. H. Kellert, *In the Wake of Chaos : Unpredictable Order in Dynamical Systems (Science and Its Conceptual Foundations series)*, 1st ed., Chicago, USA: University of Chicago Press, 1993, pp. 3–31.
 - [38] V. Jothiprakash and R. Arunkumar, “Optimization of hydropower reservoir using evolutionary algorithms coupled with chaos,” *Water Resources Management*, vol. 27, no. 7, pp. 1963–1979, 2013.
 - [39] G. G. Wang, L. Guo, A. H. Gandomi, G. S. Hao, and H. Wang, “Chaotic krill herd algorithm,” *Information Sciences*, vol. 274, pp. 17–34, 2014.
 - [40] S. Mirjalili and A. H. Gandomi, “Chaotic gravitational constants for the gravitational search algorithm,” *Applied Soft Computing Journal*, vol. 53, pp. 407–419, 2017.
 - [41] S. Saremi and S. Mirjalili, “Integrating chaos to biogeography-based optimization algorithm,” *International Journal of Computer and Communication Engineering*, vol. 2, no. 6, pp. 655–658, 2013.
 - [42] A. H. Gandomi, X. S. Yang, S. Talatahari, and A. H. Alavi, “Firefly algorithm with chaos,” *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, vol. 18, no. 1, pp. 89–98, 2013.
 - [43] U. Guvenc, S. Duman, and Y. Hınıslıoglu, “Chaotic moth swarm algorithm,” in *IEEE International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA)*, Gdynia, Poland, 2017, pp. 90–95.

- [44] J.-H. Lin, C. Chao-Wei, Y. Chorng-Horng, and T. Hsien-Leing, “A chaotic Levy flight bat algorithm for parameter estimation in nonlinear dynamic biological systems,” *Journal of Computer and Information Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 56-63, 2012.
- [45] X. Yao, Y. Liu, and G. Lin, “Evolutionary programming made faster,” *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 3, no. 2, pp. 82–102, 1999.
- [46] J. Kennedy and R. Eberhart, “Particle swarm optimization,” in *Proceedings of ICNN’95 - International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia, 2002, pp. 1942–1948.
- [47] O. Alsac and B. Stott, “Optimal load flow with steady-state security,” *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 93, no. 3, pp. 745–751, 1974.
- [48] R. D. Zimmerman, C. E. Murillo-Sánchez, and R. J. Thomas. (2018, Oct 31). *Matpower* [Online]. Available: <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/>



7. EKLER

7.1. EK 1: DURUM 12 İÇİN DEĞİŞKEN DEĞERLERİ

Çizelge 7.1. Durum 12 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	30	100	59,045719	41,484231	31,952147	45,755971	38,299718	63,658312	57,091544	75,225402	47,710868	73,565613	50,933462
P ₃ (MW)	40	140	47,127560	44,350319	44,484978	42,374790	44,296567	44,809350	45,006755	41,108232	44,488981	42,685050	41,730073
P ₈ (MW)	0	150	149,999989	150,000000	150,000000	150,000000	150,000000	150,000000	149,999999	149,991677	149,999335	150,000000	150,000000
P ₁₂ (MW)	100	550	411,962392	436,784270	424,528817	418,986154	438,208004	410,687971	426,803095	424,024505	424,025671	418,612749	431,385003
W ₆ (MW)	0	120	119,994194	119,996740	120,000000	120,000000	120,000000	120,000000	120,000000	119,998537	119,999077	120,000000	120,000000
W ₉ (MW)	100	410	346,706668	333,763854	357,267347	352,268154	336,681333	344,022888	334,908990	323,009650	343,371136	327,727930	336,020717
V ₁ (p.u)	0,95	1,1	1,025668	1,071938	1,041212	1,041541	1,053100	1,058342	1,055678	1,047389	1,079769	1,078228	1,048513
V ₂ (p.u)	0,95	1,1	1,023382	1,066592	1,037893	1,036912	1,049214	1,055515	1,051545	1,045194	1,073035	1,074765	1,046254
V ₃ (p.u)	0,95	1,1	1,024843	1,061650	1,042391	1,033913	1,050378	1,053495	1,050821	1,042166	1,062151	1,068919	1,049000
V ₆ (p.u)	0,95	1,1	1,046435	1,069728	1,060837	1,046842	1,069324	1,068080	1,065411	1,073323	1,065701	1,081047	1,069787
V ₈ (p.u)	0,95	1,1	1,056731	1,086092	1,066156	1,053896	1,060852	1,071111	1,081443	1,091545	1,071831	1,100000	1,069202
V ₉ (p.u)	0,95	1,1	1,029331	1,070121	1,047932	1,036091	1,047431	1,051175	1,056615	1,060653	1,055151	1,073758	1,045676
V ₁₂ (p.u)	0,95	1,1	1,011535	1,066265	1,047228	1,028999	1,048366	1,043841	1,043956	1,042957	1,049823	1,053458	1,032977
T ₁ (p.u)	0,9	1,1	0,991534	1,100000	1,057776	1,100000	1,045124	1,079569	1,100000	1,094923	1,096107	1,000531	0,985654
T ₂ (p.u)	0,9	1,1	1,009453	0,953550	1,067355	0,925399	1,099945	1,069204	0,968447	0,919143	0,951361	1,014790	1,050980

Çizelge 7.1. (devam). Durum 12 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
T ₃ (p.u)	0,9	1,1	1,027949	0,981433	1,019797	1,044168	1,017894	1,085530	1,018338	1,029440	0,989997	0,991768	0,998183
T ₄ (p.u)	0,9	1,1	0,917374	1,075713	1,079956	1,081558	1,043138	1,082324	0,939904	1,032908	1,043235	1,089411	0,973039
T ₅ (p.u)	0,9	1,1	1,081601	1,081146	1,031803	0,980397	1,034577	1,017394	1,036730	0,912813	1,080549	0,928536	1,037604
T ₆ (p.u)	0,9	1,1	1,025377	1,010877	0,968869	1,044907	1,002786	1,099979	1,074798	1,004752	1,036713	1,000389	1,006869
T ₇ (p.u)	0,9	1,1	0,981197	1,015703	1,004169	0,975422	1,002550	1,042286	0,992944	1,012694	1,039797	1,032672	1,001411
T ₈ (p.u)	0,9	1,1	1,013187	0,900000	1,028374	0,948062	1,008030	0,940553	0,947352	1,019963	1,011480	0,923484	0,957037
T ₉ (p.u)	0,9	1,1	1,016222	1,082520	0,969207	0,968014	1,040101	0,908456	0,900930	0,908127	0,901487	1,001460	0,953184
T ₁₀ (p.u)	0,9	1,1	0,944331	1,003852	1,003903	0,954019	0,985092	0,976407	0,982057	0,973067	1,029403	1,011161	0,991534
T ₁₁ (p.u)	0,9	1,1	0,939853	1,014194	0,974179	0,959895	1,037719	0,960993	0,993357	0,974464	1,034505	1,014907	0,980592
T ₁₂ (p.u)	0,9	1,1	0,984118	1,023624	0,998982	0,962337	1,028077	0,972535	0,984585	1,007998	1,011768	1,022454	0,967486
T ₁₃ (p.u)	0,9	1,1	0,920641	0,972769	0,942600	0,936139	0,955637	0,936518	1,009927	0,945883	0,981836	0,990210	0,958804
T ₁₄ (p.u)	0,9	1,1	0,935350	0,972158	0,954980	0,983846	0,950395	0,991972	1,035586	1,038351	1,097267	0,979924	1,042520
T ₁₅ (p.u)	0,9	1,1	1,027492	1,078726	1,012796	0,912376	1,018025	1,040852	0,991746	1,043158	0,996747	0,957123	0,957030
T ₁₆ (p.u)	0,9	1,1	0,921555	0,900000	0,996257	1,020973	1,007406	1,030867	0,962488	0,971379	0,980754	1,007195	1,028765
T ₁₇ (p.u)	0,9	1,1	0,978604	1,037436	0,984841	1,014700	0,992962	1,049791	1,013522	1,034477	1,066528	1,019033	0,984075
Q ₁ (MVAR)	0	30	17,440536	9,604501	28,398717	18,360485	19,522718	7,990580	23,150924	0,410657	9,787428	11,687321	9,372695
Q ₂ (MVAR)	0	30	13,129168	22,257943	25,943720	15,754060	22,145419	15,825432	10,318723	9,664868	26,390611	16,070649	16,610562
Q ₃ (MVAR)	0	30	15,547555	23,034420	15,675932	10,983392	23,825182	13,279278	3,755577	10,784517	9,697898	19,822453	14,999952
P ₁ (MW)	0	576	115,963478	124,420586	122,566710	121,414930	123,314377	117,621479	116,989618	117,441996	121,204932	118,208658	120,730744

7.2. EK 2: DURUM 13 İÇİN DEĞİŞKEN DEĞERLERİ

Çizelge 7.2. Durum 13 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	30	100	61,634641	30,894187	44,563433	64,215225	70,285323	53,885693	30,704367	39,084799	64,475520	67,675117	43,319646
P ₃ (MW)	40	140	44,718423	44,489450	40,792837	41,532557	41,451331	44,192128	45,869466	42,422965	42,466351	40,956205	44,591167
P ₈ (MW)	0	150	149,999148	150,000000	150,000000	150,000000	149,993213	150,000000	150,000000	150,000000	149,999995	149,999845	150,000000
P ₁₂ (MW)	100	550	433,994291	412,335066	438,149219	427,884736	426,187213	402,771397	441,407035	424,950335	422,245837	408,262103	424,608543
W ₆ (MW)	0	120	120,000000	120,000000	120,000000	120,000000	119,998970	119,999971	120,000000	120,000000	120,000000	119,999834	120,000000
W ₉ (MW)	100	410	320,308933	366,342548	335,099441	330,911229	322,958717	353,859771	340,770894	354,771627	333,694024	348,705073	347,007747
V ₁ (p.u)	0,95	1,1	1,024050	1,030211	1,045952	1,046493	1,051301	1,036338	1,032627	1,034049	1,035754	1,052920	1,025601
V ₂ (p.u)	0,95	1,1	1,022663	1,025485	1,042115	1,042048	1,050914	1,031877	1,027700	1,030542	1,032295	1,049355	1,023015
V ₃ (p.u)	0,95	1,1	1,026583	1,027897	1,041841	1,036014	1,054619	1,027828	1,027995	1,032962	1,029753	1,046492	1,027284
V ₆ (p.u)	0,95	1,1	1,056101	1,048075	1,060503	1,060516	1,069249	1,043310	1,061768	1,059072	1,050418	1,059008	1,041522
V ₈ (p.u)	0,95	1,1	1,068861	1,056168	1,075341	1,086004	1,094286	1,057999	1,072757	1,061045	1,052843	1,066984	1,054885
V ₉ (p.u)	0,95	1,1	1,037094	1,028783	1,050413	1,061136	1,063772	1,042454	1,040809	1,037693	1,025980	1,041386	1,030461
V ₁₂ (p.u)	0,95	1,1	1,013424	1,013363	1,035435	1,054991	1,043186	1,039809	1,015205	1,026685	1,012375	1,030066	1,012713
T ₁ (p.u)	0,9	1,1	0,994035	0,962065	1,100000	1,003311	1,037020	1,000485	0,944842	1,100000	0,962829	1,072690	1,041755
T ₂ (p.u)	0,9	1,1	1,084540	0,992527	1,040092	1,033919	1,080456	1,032514	1,048124	1,030052	1,100000	1,062632	1,098220

Çizelge 7.2. (devam). Durum 13 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
T ₃ (p.u)	0,9	1,1	0,960642	1,001642	0,979199	1,100000	0,977625	0,995311	0,990437	0,998269	1,022451	0,984058	0,976369
T ₄ (p.u)	0,9	1,1	1,100000	1,100000	0,986405	1,023069	0,993906	0,968032	1,100000	1,094390	0,931632	0,978299	1,028980
T ₅ (p.u)	0,9	1,1	1,015053	0,994714	0,999981	0,953632	1,032753	1,082794	1,050653	0,922726	1,021734	1,095086	1,073583
T ₆ (p.u)	0,9	1,1	1,059350	1,028659	1,012688	1,035906	1,031648	1,017810	1,037326	1,030565	1,013755	1,029629	1,078275
T ₇ (p.u)	0,9	1,1	1,048833	1,017817	1,008135	1,035094	1,021830	1,025987	1,023631	1,030469	1,015312	1,030768	1,016795
T ₈ (p.u)	0,9	1,1	0,952140	0,932384	0,956604	1,044337	0,966260	0,953375	0,979537	0,938754	1,058380	0,959696	0,991520
T ₉ (p.u)	0,9	1,1	0,917164	0,906334	0,953974	0,916233	0,900112	0,909484	0,986190	0,927718	0,951042	0,901841	0,902046
T ₁₀ (p.u)	0,9	1,1	0,992178	0,978550	0,990071	0,970525	1,001875	0,958678	0,968715	0,978116	0,972100	0,968792	0,973470
T ₁₁ (p.u)	0,9	1,1	0,961451	0,961183	0,972640	0,990413	0,986036	0,972561	0,970492	0,933159	0,966379	0,975790	0,975572
T ₁₂ (p.u)	0,9	1,1	0,971097	0,941754	1,021689	1,027469	1,008827	1,001602	0,995814	0,983228	0,977254	0,983090	0,976942
T ₁₃ (p.u)	0,9	1,1	0,939695	0,951614	0,963459	0,931057	0,952883	0,976010	0,953630	0,962364	0,928756	0,953602	0,919857
T ₁₄ (p.u)	0,9	1,1	0,997696	0,957691	0,978803	1,024699	1,001042	1,013155	0,942778	1,013819	0,935608	0,985210	1,005374
T ₁₅ (p.u)	0,9	1,1	1,100000	0,965706	0,967118	0,985522	1,052863	1,064928	1,014789	0,991069	1,025954	1,034866	0,901109
T ₁₆ (p.u)	0,9	1,1	0,978158	0,986585	0,987774	1,052182	1,013282	0,906493	0,978170	0,990512	1,027015	0,954121	0,980176
T ₁₇ (p.u)	0,9	1,1	1,039352	0,987461	1,043869	1,012879	1,069179	1,051385	1,063968	0,986565	0,982596	1,014893	1,032587
Q ₁ (MVAR)	0	30	13,514900	1,879114	26,509133	29,424709	11,526049	17,734989	8,961191	29,493126	28,442786	22,557625	30,000000
Q ₂ (MVAR)	0	30	22,348967	18,735258	14,252766	12,823966	16,746082	19,912851	24,927290	13,663466	17,253581	17,581460	21,068009
Q ₃ (MVAR)	0	30	29,976282	14,164921	14,377967	13,631289	8,057679	29,192273	10,756876	25,584938	9,696103	11,707576	25,710490
P ₁ (MW)	0	576	120,144564	126,738749	122,195070	116,256253	119,925234	126,091041	122,048237	119,570274	117,918273	115,201823	121,272897

7.3. EK 3: DURUM 14 İÇİN DEĞİŞKEN DEĞERLERİ

Çizelge 7.3. Durum 14 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	30	100	53,700926	34,723319	54,866604	46,104329	38,481237	59,503857	48,674664	62,051409	31,699892	48,121369	69,372850
P ₃ (MW)	40	140	43,788353	46,931655	42,536756	41,283070	42,184421	40,953890	43,760460	43,056443	44,126193	44,939296	42,437759
P ₈ (MW)	0	150	150,000000	150,000000	149,997971	150,000000	150,000000	150,000000	150,000000	149,999969	150,000000	150,000000	150,000000
P ₁₂ (MW)	100	550	422,037170	443,274625	417,446297	431,616873	434,273129	414,634326	416,533674	421,106855	428,009293	428,758611	428,891970
W ₆ (MW)	0	120	120,000000	120,000000	119,998213	119,999998	119,999976	120,000000	119,999995	120,000000	120,000000	120,000000	119,999996
W ₉ (MW)	100	410	344,085399	333,672394	344,410090	341,490442	343,843016	340,717691	351,970892	333,163651	354,256732	337,583610	323,490729
V ₁ (p.u)	0,95	1,1	1,042601	1,046439	1,073971	1,058465	1,065711	1,051335	1,059002	1,064069	1,066160	1,069878	1,056544
V ₂ (p.u)	0,95	1,1	1,039216	1,043465	1,069401	1,054272	1,060579	1,047992	1,054387	1,061395	1,059137	1,065006	1,053281
V ₃ (p.u)	0,95	1,1	1,039509	1,049052	1,063496	1,053011	1,057294	1,050865	1,050252	1,059669	1,051932	1,059924	1,048291
V ₆ (p.u)	0,95	1,1	1,061675	1,065354	1,065906	1,067654	1,069724	1,068901	1,062691	1,064837	1,067572	1,070816	1,067549
V ₈ (p.u)	0,95	1,1	1,072929	1,071604	1,076019	1,079571	1,081340	1,077643	1,062840	1,074640	1,085309	1,093927	1,072494
V ₉ (p.u)	0,95	1,1	1,047356	1,050816	1,060221	1,064278	1,058454	1,059256	1,048534	1,056386	1,060598	1,071111	1,049534
V ₁₂ (p.u)	0,95	1,1	1,029794	1,044942	1,053941	1,065488	1,046342	1,053466	1,047775	1,047921	1,051309	1,054743	1,039992
T ₁ (p.u)	0,9	1,1	0,920853	0,988681	0,998330	0,947249	0,950781	0,929296	0,902365	1,038548	0,922598	1,009217	1,049574
T ₂ (p.u)	0,9	1,1	1,078870	0,965199	1,060517	1,017035	1,017470	1,060234	1,099829	1,043305	1,080546	0,997059	1,015838

Çizelge 7.3. (devam). Durum 14 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
T ₃ (p.u)	0,9	1,1	0,961986	0,992948	1,026679	1,100000	1,025509	1,043526	1,004692	1,100000	0,996880	0,997657	0,981167
T ₄ (p.u)	0,9	1,1	1,100000	1,059329	1,081573	1,031614	0,956374	1,100000	0,936573	1,008776	0,900061	1,099712	1,076712
T ₅ (p.u)	0,9	1,1	1,054654	1,100000	1,090626	1,005972	1,045416	0,953110	1,019688	1,064306	1,100000	1,081072	0,952783
T ₆ (p.u)	0,9	1,1	1,059542	0,978309	1,076759	1,014399	1,021341	1,002033	1,011106	1,076090	1,089500	1,007611	1,053770
T ₇ (p.u)	0,9	1,1	1,024183	1,004315	1,078131	1,019104	1,004288	1,001791	1,016117	1,018503	1,008101	1,011307	1,018671
T ₈ (p.u)	0,9	1,1	0,974596	0,942811	0,977147	1,021115	0,953533	0,967762	1,063723	0,992753	0,931609	1,034859	1,026351
T ₉ (p.u)	0,9	1,1	0,986137	0,936854	0,991146	1,002890	1,016258	0,914108	0,920805	0,955900	0,924234	1,100000	0,993108
T ₁₀ (p.u)	0,9	1,1	0,980508	1,003663	0,986017	0,972797	0,983247	0,968703	0,973403	1,014573	0,985446	1,014933	1,003406
T ₁₁ (p.u)	0,9	1,1	1,000786	1,006670	1,011250	1,041506	0,963700	0,980457	1,003870	0,983528	0,977265	0,997612	0,975179
T ₁₂ (p.u)	0,9	1,1	0,962144	1,002046	0,997548	1,032273	0,978458	0,987661	0,989828	1,001851	1,006566	1,002055	0,966313
T ₁₃ (p.u)	0,9	1,1	0,978680	0,942799	0,980890	0,990694	0,935654	0,966380	0,942356	0,938726	0,904855	0,950840	0,928931
T ₁₄ (p.u)	0,9	1,1	0,961476	0,985661	0,996892	0,976381	0,978493	1,100000	1,007842	1,024764	1,004910	1,025160	0,956685
T ₁₅ (p.u)	0,9	1,1	1,003930	1,080196	0,969199	0,993691	0,999373	1,058515	1,058293	0,983450	1,032812	1,043138	1,080020
T ₁₆ (p.u)	0,9	1,1	0,962152	0,937493	1,075835	0,981312	0,986916	0,969290	0,984220	0,994874	1,069174	0,907419	0,938273
T ₁₇ (p.u)	0,9	1,1	1,044724	1,013700	1,092126	1,047057	1,012404	1,049899	0,993739	1,040098	1,016688	1,084905	1,020092
Q ₁ (MVAR)	0	30	17,211267	5,682250	23,183889	12,375422	7,936203	11,243163	12,689409	24,320745	14,973719	6,446702	24,672572
Q ₂ (MVAR)	0	30	25,152513	25,982086	23,138613	21,276968	12,245048	16,607259	15,609853	17,980365	4,435976	28,077822	16,886611
Q ₃ (MVAR)	0	30	16,356580	13,675314	21,248386	7,329692	10,753426	14,676918	28,854387	14,140107	8,358425	11,172224	12,547317
P ₁ (MW)	0	576	117,188151	122,198007	121,544068	120,305287	122,018221	124,990236	119,860315	121,421674	122,707890	121,397115	116,606696

7.4. EK 4: DURUM 15 İÇİN DEĞİŞKEN DEĞERLERİ

Çizelge 7.4. Durum 15 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	30	100	63,161152	32,027383	61,816624	52,612790	65,148682	45,446415	58,471272	56,989287	40,906176	48,003867	48,491568
P ₃ (MW)	40	140	43,789615	43,026780	42,077323	45,702308	40,929816	43,161079	48,287580	41,925479	41,662590	45,915627	42,440445
P ₈ (MW)	0	150	149,999726	150,000000	149,999987	150,000000	150,000000	150,000000	149,999033	150,000000	150,000000	150,000000	149,999204
P ₁₂ (MW)	100	550	427,742742	430,221565	435,087632	424,470924	421,854952	415,655833	424,766285	430,615677	432,180911	425,329434	425,058188
W ₆ (MW)	0	120	119,999786	120,000000	119,999976	119,999978	119,999998	120,000000	119,997425	120,000000	119,999999	120,000000	120,000000
W ₉ (MW)	100	410	329,257377	353,661974	324,115101	336,120625	336,995436	351,966462	330,493639	328,913058	344,015943	341,514913	341,924186
V ₁ (p.u)	0,95	1,1	1,065084	1,030772	1,043632	1,040985	1,069300	1,046525	1,063927	1,081117	1,066895	1,068018	1,065208
V ₂ (p.u)	0,95	1,1	1,062149	1,025745	1,043401	1,040064	1,065227	1,043254	1,059713	1,072179	1,059993	1,061758	1,062304
V ₃ (p.u)	0,95	1,1	1,059546	1,029072	1,049806	1,046838	1,059171	1,044241	1,055424	1,055352	1,056994	1,052612	1,063363
V ₆ (p.u)	0,95	1,1	1,066314	1,057296	1,069525	1,072707	1,069266	1,069293	1,072282	1,066134	1,067771	1,067878	1,072894
V ₈ (p.u)	0,95	1,1	1,074155	1,070603	1,090212	1,091528	1,088283	1,092890	1,082347	1,075618	1,085099	1,067632	1,095335
V ₉ (p.u)	0,95	1,1	1,054164	1,048684	1,063875	1,067233	1,067271	1,067237	1,064114	1,055225	1,068374	1,047421	1,074221
V ₁₂ (p.u)	0,95	1,1	1,046265	1,043369	1,048327	1,056810	1,058137	1,054438	1,060388	1,047857	1,064457	1,038428	1,073559
T ₁ (p.u)	0,9	1,1	1,026575	0,947225	1,065154	0,911822	0,900190	0,990852	1,041370	0,996302	1,095682	0,996776	1,088967
T ₂ (p.u)	0,9	1,1	0,980820	1,050010	1,031381	1,053585	1,093084	0,989700	1,019745	0,974680	1,005673	1,100000	1,091090

Çizelge 7.4. (devam). Durum 15 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
T ₃ (p.u)	0,9	1,1	0,937675	1,022348	1,008037	1,008844	0,989240	1,047446	1,038760	1,008341	1,076553	1,022293	1,076349
T ₄ (p.u)	0,9	1,1	0,999803	0,947246	0,970858	0,997864	0,948804	1,010665	1,048134	1,000134	1,069800	1,068019	0,992677
T ₅ (p.u)	0,9	1,1	1,095160	1,100000	1,099992	1,099902	1,065674	0,935698	1,024999	1,032852	0,994270	1,100000	1,091036
T ₆ (p.u)	0,9	1,1	1,031581	1,000588	1,038482	0,990560	0,999913	1,020754	1,066761	1,035923	1,018051	1,062149	1,075543
T ₇ (p.u)	0,9	1,1	1,024724	0,995624	1,032696	1,042073	1,025479	1,010853	1,042940	1,007373	1,012774	1,005932	1,012601
T ₈ (p.u)	0,9	1,1	1,017353	0,963222	1,050185	0,987362	0,941813	0,917003	0,963579	0,957077	0,917533	0,987228	0,994188
T ₉ (p.u)	0,9	1,1	0,900118	0,923147	1,095140	1,075945	0,900116	0,900736	1,094928	0,918158	1,057441	0,930007	0,900080
T ₁₀ (p.u)	0,9	1,1	0,973742	0,959238	0,990890	0,991591	0,998456	0,987810	0,997355	0,979378	0,984445	1,019812	0,980797
T ₁₁ (p.u)	0,9	1,1	0,982859	0,962378	0,970318	0,987508	0,984087	0,989773	1,004518	0,992920	0,965861	0,960399	0,976714
T ₁₂ (p.u)	0,9	1,1	0,989853	0,991421	0,977768	0,997060	0,985059	1,059431	0,983205	0,987318	1,002329	0,959475	0,998037
T ₁₃ (p.u)	0,9	1,1	0,962382	0,989867	0,963491	0,996356	0,976399	0,971208	0,967384	0,957232	0,977915	0,951562	0,948729
T ₁₄ (p.u)	0,9	1,1	0,985369	1,013358	0,959799	0,963937	1,077481	1,092339	0,957769	0,972774	0,975433	1,100000	1,074692
T ₁₅ (p.u)	0,9	1,1	1,080883	1,014145	1,075717	0,942674	0,968680	0,900434	1,010080	1,016785	0,992750	0,971329	1,014382
T ₁₆ (p.u)	0,9	1,1	0,917177	1,051803	0,946098	1,033433	1,006566	0,963962	0,984920	0,992193	0,986926	1,013544	0,961623
T ₁₇ (p.u)	0,9	1,1	1,011168	1,011030	1,072520	1,037866	1,087363	1,009626	1,064703	1,014297	1,032381	0,986185	1,021049
Q ₁ (MVAR)	0	30	9,056683	11,854524	28,068647	5,608411	7,134804	6,116544	20,750939	6,298351	9,251114	18,203187	12,629518
Q ₂ (MVAR)	0	30	20,660569	16,983433	20,926478	24,240649	14,497261	11,508462	18,856941	14,411538	15,786301	21,212279	10,309535
Q ₃ (MVAR)	0	30	15,738860	14,835310	12,221117	19,585904	12,199559	14,659292	13,909960	10,376090	20,691313	13,788771	7,572680
P ₁ (MW)	0	576	116,849601	121,862299	117,703357	121,893375	115,871116	124,570211	118,784766	122,356499	122,034382	120,036159	122,886409

7.5. EK 5: DURUM 16 İÇİN DEĞİŞKEN DEĞERLERİ

Çizelge 7.5. Durum 16 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₂ (MW)	30	100	32,463304	37,801728	46,992615	47,287140	63,504438	73,409188	43,501934	30,000041	32,084328	30,000000	50,331740
P ₃ (MW)	40	140	41,720188	43,345595	41,096617	42,977902	41,036929	40,184723	42,941979	40,000000	42,613636	43,656120	45,123107
P ₈ (MW)	0	150	150,000000	149,999217	149,998489	150,000000	149,998293	149,999048	150,000000	150,000000	150,000000	150,000000	150,000000
P ₁₂ (MW)	100	550	421,176000	426,981729	414,107514	414,710151	419,716430	426,523155	432,263599	431,118646	439,269348	422,911269	426,687218
W ₆ (MW)	0	120	119,999971	120,000000	119,999501	120,000000	119,992992	119,997530	119,999831	120,000000	120,000000	120,000000	120,000000
W ₉ (MW)	100	410	359,269063	345,818202	358,369781	351,610995	336,858100	327,189811	338,684779	349,344304	342,149224	359,294068	336,754234
V ₁ (p.u)	0,95	1,1	1,053258	1,061308	1,062824	1,053815	1,083744	1,062711	1,046235	1,077422	1,056841	1,046590	1,035254
V ₂ (p.u)	0,95	1,1	1,047811	1,056210	1,057938	1,050008	1,078234	1,061645	1,043332	1,069128	1,050391	1,040511	1,033374
V ₃ (p.u)	0,95	1,1	1,045341	1,053167	1,053420	1,049692	1,067122	1,062292	1,046265	1,057847	1,049369	1,036934	1,037745
V ₆ (p.u)	0,95	1,1	1,059296	1,067025	1,066374	1,068302	1,064456	1,070179	1,069725	1,067490	1,068661	1,066628	1,064283
V ₈ (p.u)	0,95	1,1	1,079345	1,077808	1,074835	1,078105	1,071632	1,089626	1,078303	1,073331	1,076842	1,065992	1,070677
V ₉ (p.u)	0,95	1,1	1,061785	1,059889	1,063639	1,057148	1,054802	1,068543	1,052806	1,056766	1,052878	1,041272	1,043928
V ₁₂ (p.u)	0,95	1,1	1,063863	1,055180	1,074657	1,050475	1,047395	1,065668	1,041908	1,054313	1,041988	1,030479	1,028210
T ₁ (p.u)	0,9	1,1	0,912936	1,100000	1,015796	1,002491	1,056611	1,099999	1,065865	1,094402	0,997059	1,009048	0,952592
T ₂ (p.u)	0,9	1,1	1,037919	0,995708	1,041541	1,010847	1,001473	0,989642	1,099873	0,988148	1,048103	1,065305	0,980159

Çizelge 7.5. (devam). Durum 16 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
T ₃ (p.u)	0,9	1,1	1,023485	1,027004	0,987829	1,009024	0,954806	0,993167	0,988310	0,994219	0,992298	0,980118	0,983025
T ₄ (p.u)	0,9	1,1	0,903990	1,094015	1,090578	1,047038	1,037280	1,024983	0,964385	1,096319	1,100000	1,070017	0,922613
T ₅ (p.u)	0,9	1,1	1,003318	1,037067	0,907810	0,972643	1,100000	0,957093	0,983067	1,002633	1,004102	0,928818	1,019812
T ₆ (p.u)	0,9	1,1	1,032758	0,961003	1,018726	1,022473	1,049276	1,060918	0,979113	1,051174	1,024358	0,983839	0,999058
T ₇ (p.u)	0,9	1,1	0,992227	1,002556	1,051852	1,000741	1,025721	1,011207	1,002366	1,022382	0,998517	1,010981	1,000126
T ₈ (p.u)	0,9	1,1	0,984333	1,038281	0,923975	1,053202	0,954326	0,977708	1,051761	0,964546	0,999261	0,958790	0,911588
T ₉ (p.u)	0,9	1,1	0,911586	0,928093	0,900814	0,909068	0,983929	1,034977	0,900542	1,081042	1,068346	1,003513	1,002577
T ₁₀ (p.u)	0,9	1,1	0,984559	1,017576	0,995077	0,997297	0,988337	0,985434	0,961613	0,995948	0,987673	0,999885	0,956589
T ₁₁ (p.u)	0,9	1,1	0,973592	1,028852	1,013565	0,948964	1,018419	0,977885	0,948397	0,973237	0,983084	0,983354	0,969497
T ₁₂ (p.u)	0,9	1,1	0,979559	1,030752	1,005207	0,991236	1,007184	0,991444	1,038507	1,009185	0,981384	0,967586	1,006470
T ₁₃ (p.u)	0,9	1,1	0,983420	0,992941	0,991581	1,024088	0,985395	0,945984	0,947002	0,941254	0,940874	1,024128	0,958196
T ₁₄ (p.u)	0,9	1,1	0,978627	0,976138	1,047246	0,973096	0,979326	0,968731	1,001529	0,983182	0,953340	0,947366	0,950923
T ₁₅ (p.u)	0,9	1,1	1,077390	0,993969	0,943810	1,100000	0,999994	1,039893	1,004618	0,900151	1,054130	1,006185	1,013408
T ₁₆ (p.u)	0,9	1,1	0,958511	1,011478	0,987315	0,960564	0,991755	1,078942	0,977027	1,089547	0,937825	1,014096	0,927035
T ₁₇ (p.u)	0,9	1,1	1,022889	1,029640	1,056644	1,012775	1,099855	1,024155	0,991208	1,007012	0,999374	1,004329	0,980426
Q ₁ (MVAR)	0	30	3,034307	29,571665	10,361921	11,474250	16,457376	16,511998	25,379741	22,216567	17,385903	30,000000	4,665439
Q ₂ (MVAR)	0	30	6,478774	29,999855	16,904591	19,366675	14,671095	7,566877	14,933894	17,642885	17,959599	19,384783	10,637260
Q ₃ (MVAR)	0	30	12,138939	11,581138	13,614641	9,462317	13,815477	6,009988	6,823398	10,547547	7,991744	15,949722	15,977294
P ₁ (MW)	0	576	126,171474	126,853529	120,235484	124,213812	119,692818	113,496544	123,407878	130,337009	124,683464	124,938543	121,903702

7.6. EK 6: DURUM 17 İÇİN DEĞİŞKEN DEĞERLERİ

Çizelge 7.6. Durum 17 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₁ (MW)	30	100	31,129654	31,485530	30,058720	30,000000	38,964145	32,024874	30,214326	30,190624	31,156018	30,044846	39,779137
P ₄ (MW)	30	100	30,906066	32,293812	30,000000	32,440296	60,820387	30,441935	30,540935	30,224664	38,911898	31,544964	31,460724
P ₆ (MW)	30	100	30,502009	31,470926	33,488098	30,618728	30,358274	30,250992	30,083274	30,114018	30,492320	30,000000	30,300179
P ₈ (MW)	30	100	30,811694	30,046461	53,442159	31,305549	30,000000	39,633808	44,398490	30,085640	48,175778	30,359855	30,803110
P ₁₀ (MW)	165	550	192,149001	311,709209	180,966846	204,242704	220,053467	305,312102	226,872497	247,903681	214,161288	270,533350	202,519143
P ₁₂ (MW)	0	150	149,355068	148,323175	149,247599	149,681081	149,991739	149,527623	150,000000	149,889272	149,970371	149,890730	150,000000
P ₁₈ (MW)	30	100	30,720755	30,201588	30,025834	30,137179	55,491513	30,945575	30,044847	30,221192	30,417566	30,041912	30,566174
P ₁₉ (MW)	30	100	30,463975	30,000084	33,013241	30,162047	42,958054	30,270535	52,285410	30,543593	30,431082	30,141065	30,627329
P ₂₄ (MW)	30	100	30,267238	32,952169	36,508714	52,953391	30,201332	49,921338	30,017298	43,903210	34,112934	30,192137	30,588035
P ₂₅ (MW)	30	100	30,678953	30,017641	30,124418	34,632884	30,000000	30,798837	30,351769	30,272095	30,515777	30,566039	64,400435
P ₂₆ (MW)	96	320	120,261745	102,521169	135,267283	128,004376	96,424922	98,584537	145,619886	96,411305	97,356894	108,042336	106,491694
P ₂₇ (MW)	124,2	414	148,365255	164,570592	184,583983	258,280278	167,626069	139,096840	124,474378	159,633483	189,619542	141,029315	125,954736
P ₃₁ (MW)	30	100	31,907163	52,302370	30,794731	33,328264	30,366287	30,438024	51,171595	30,131209	30,000000	53,006479	31,087339
P ₃₄ (MW)	0	120	119,994093	119,593195	118,994494	119,999819	119,713527	120,000000	119,373116	119,711073	119,958608	119,287709	119,990330
P ₃₆ (MW)	30	100	44,429533	32,556986	30,178161	30,000000	47,816711	30,286170	30,303251	30,206469	51,992619	30,209101	30,784607

Çizelge 7.6. (devam). Durum 17 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₄₀ (MW)	30	100	30,297264	33,235616	30,000000	30,426003	30,365180	30,342364	30,346766	30,493047	30,222521	30,590088	30,462600
P ₄₂ (MW)	30	100	30,000030	31,864864	30,000000	30,330970	36,005011	30,492443	30,024157	40,985548	30,040110	30,066744	30,874014
P ₄₆ (MW)	30	100	30,613608	30,086946	63,000344	30,775780	78,156671	30,734512	30,002115	30,260070	31,027018	31,524230	30,271455
P ₅₄ (MW)	30	100	48,879597	30,065992	31,845905	32,631490	30,451195	30,604900	51,620300	31,503690	33,799193	31,636356	53,385112
P ₅₆ (MW)	0	120	119,412057	118,305549	120,000000	119,790964	119,999839	120,000000	119,999990	119,713948	119,999650	118,429314	119,977178
P ₅₉ (MW)	91,2	304	110,823295	99,354781	193,138204	126,311852	135,454413	95,421980	119,920307	117,461599	140,427020	190,289844	100,372861
P ₆₁ (MW)	0	150	148,198504	149,977738	149,999998	149,304289	149,986407	149,335897	150,000000	149,211929	149,998985	149,831127	149,948544
P ₆₂ (MW)	30	100	30,196089	32,079800	30,000000	30,538358	31,225091	30,499681	62,757873	30,321321	30,000000	30,286848	30,288687
P ₆₅ (MW)	30	100	89,566012	42,813553	30,435635	30,429538	30,673154	30,000000	30,046931	30,135267	30,888949	31,344067	30,231267
P ₆₆ (MW)	76,5	255	82,867249	119,259665	101,494609	128,064447	117,990548	78,259683	77,205347	110,865906	96,137334	108,673138	155,044522
P ₇₀ (MW)	78	260	96,658492	100,210407	89,117672	103,551339	80,927161	152,832737	87,681526	111,833910	98,689583	113,027118	90,495917
P ₇₂ (MW)	30	100	30,019380	30,617209	32,294871	52,304161	30,131383	63,731811	30,167708	53,502820	30,000000	32,089242	32,292919
P ₇₃ (MW)	147,3	491	265,993252	226,929305	317,710970	242,315239	215,936936	225,250740	256,523595	224,581625	243,271242	252,874646	153,946773
P ₇₄ (MW)	147,6	492	229,960817	195,482793	207,205300	201,959434	205,107627	155,038036	243,609078	207,172218	169,408049	222,632900	267,205955
P ₇₆ (MW)	30	100	32,087157	32,896062	30,604250	46,125295	30,130685	30,858959	30,127621	30,225284	30,350798	30,089580	66,781786
P ₇₇ (MW)	30	100	37,308771	34,675965	30,000000	36,399274	30,643633	67,022110	30,124284	32,401496	30,139596	30,877398	30,381921
P ₈₀ (MW)	30	100	30,003167	32,171602	31,578950	30,034593	30,084589	30,146443	37,808557	30,033105	30,362303	30,140409	44,889039
P ₈₅ (MW)	30	100	50,259830	30,923904	30,038720	30,096975	30,000004	30,925446	30,345773	30,206233	30,751747	31,790069	31,208159
P ₈₇ (MW)	30	100	41,531797	32,313428	30,830788	40,605919	58,908054	30,729769	30,216979	30,267122	30,000000	30,000000	30,265762

Çizelge 7.6. (devam). Durum 17 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₈₉ (MW)	30	100	30,314535	30,001551	31,881572	30,000000	30,447983	30,000000	30,383349	30,314016	30,000000	56,563324	30,920308
P ₉₀ (MW)	173,1	577	193,791586	278,901736	188,733381	212,483435	220,794187	249,133192	208,671352	221,881639	228,882350	250,169058	258,373435
P ₉₁ (MW)	30	100	30,085994	36,917443	30,000048	31,017111	60,908173	30,296816	30,087128	41,831670	30,670933	30,343569	30,277442
P ₉₂ (MW)	31,2	104	31,201211	31,201538	31,255824	31,373439	31,200002	31,420588	31,359381	31,333084	31,360657	31,226509	31,283960
P ₉₉ (MW)	212,1	707	241,806056	346,112657	278,105490	237,855056	214,863701	316,714855	315,157008	285,074708	382,166547	259,200479	251,001371
P ₁₀₀ (MW)	30	100	30,663497	30,000196	30,000000	35,935265	30,110210	30,735490	30,476587	30,526110	30,204187	31,907850	61,582669
P ₁₀₃ (MW)	30	100	76,320852	32,500513	31,719129	32,075536	30,080660	30,616103	30,067662	75,434197	30,097738	30,424235	31,027331
P ₁₀₅ (MW)	30	100	30,928975	30,000004	30,016030	30,435328	30,001905	30,713795	30,226749	30,099821	73,452405	30,064542	42,085783
P ₁₀₇ (MW)	30	100	30,813324	30,004162	52,546586	32,797266	68,765472	59,499346	30,052988	30,222096	30,386025	31,083814	30,642621
P ₁₁₀ (MW)	105,6	352	175,653484	113,424274	109,019313	119,781627	106,628698	108,168092	110,668927	110,950946	119,374553	111,722172	150,106504
P ₁₁₁ (MW)	42	140	67,095003	42,000206	42,457469	49,188818	42,105228	42,742920	42,375663	42,890296	42,078679	42,114850	42,524510
P ₁₁₃ (MW)	0	150	149,591964	149,994284	149,999993	149,001609	149,971718	149,992437	149,889487	150,000000	149,330814	149,492093	149,968873
P ₁₁₆ (MW)	30	100	30,425008	31,676365	30,914374	30,000000	30,127530	31,033096	32,740460	30,129018	31,001709	56,978049	31,213379
W ₁₅ (MW)	30	100	30,630257	30,064299	30,836814	30,414409	38,999782	30,725816	31,314670	30,917093	30,400735	31,961071	30,732059
W ₃₂ (MW)	30	100	30,137764	31,222305	30,000000	38,573343	30,001710	30,913122	30,204902	30,308201	30,558195	31,227342	30,415329
W ₄₉ (MW)	40,8	136	40,802444	45,524834	40,806963	40,800000	40,800512	41,505452	40,843343	50,111622	41,761060	40,864435	41,099122
W ₅₅ (MW)	0	120	119,794853	119,663908	118,965006	119,841861	119,868893	119,883407	119,999997	119,023614	119,364620	119,944489	119,980532
W ₁₀₄ (MW)	30	100	30,354896	30,001131	30,234515	46,279737	59,422119	30,150386	30,077675	30,603024	30,112397	30,197790	73,328918
W ₁₁₂ (MW)	30	100	30,521321	30,462999	30,381770	32,598917	30,468081	30,516418	30,365240	96,531721	30,393300	31,870652	74,546022

Çizelge 7.6. (devam). Durum 17 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
V ₁ (p.u)	0,95	1,1	0,999910	0,987966	0,960062	0,974777	0,975311	0,954987	1,008561	0,951588	0,963175	0,957030	0,955495
V ₄ (p.u)	0,95	1,1	1,017007	1,006925	0,966335	0,987881	0,986890	0,962838	1,008979	0,985283	0,996095	0,972557	0,958756
V ₆ (p.u)	0,95	1,1	1,025308	1,008339	0,958873	0,988521	0,978988	0,965240	1,003631	0,977137	0,965852	0,970645	0,956222
V ₈ (p.u)	0,95	1,1	1,021682	1,004528	0,959812	0,986615	0,978502	0,956706	1,009750	1,001982	0,969878	0,967664	0,955827
V ₁₀ (p.u)	0,95	1,1	1,013215	1,011371	0,958331	0,982133	0,980696	0,960907	1,064468	0,955372	0,970481	0,959316	0,959593
V ₁₂ (p.u)	0,95	1,1	1,016728	1,005422	0,961721	0,991081	0,975274	0,957585	1,008906	0,967819	0,970382	0,972058	0,956454
V ₁₅ (p.u)	0,95	1,1	1,012166	1,001434	0,961456	0,984219	0,979532	0,957137	1,011157	0,969058	0,963298	0,962349	0,957807
V ₁₈ (p.u)	0,95	1,1	1,015049	1,004803	0,956806	0,993009	0,981982	0,964739	1,008558	0,971782	0,966606	0,964982	0,958092
V ₁₉ (p.u)	0,95	1,1	1,009196	1,000817	0,957348	0,981581	0,976803	0,960498	1,006018	0,966152	0,960425	0,955406	0,957190
V ₂₄ (p.u)	0,95	1,1	1,014926	1,005600	0,961773	0,987488	0,980275	0,990507	1,000859	0,977082	0,951672	0,964253	1,010506
V ₂₅ (p.u)	0,95	1,1	1,001816	1,006493	0,960436	0,985205	1,027061	0,960626	1,010683	0,957325	1,020476	0,968516	0,968186
V ₂₆ (p.u)	0,95	1,1	1,011996	1,004262	0,957259	0,991780	0,985757	0,956717	1,008103	1,000681	0,972704	0,968607	0,956596
V ₂₇ (p.u)	0,95	1,1	1,025027	1,007456	0,967347	0,995038	0,988215	0,952372	1,007279	0,972707	0,957214	0,962614	0,957675
V ₃₁ (p.u)	0,95	1,1	1,014453	1,010927	0,959606	0,983672	0,967867	0,962237	1,010796	0,955212	0,966252	0,962844	0,957058
V ₃₂ (p.u)	0,95	1,1	1,017422	1,007956	0,958540	0,992987	0,977729	0,962438	1,010137	0,965503	0,965955	0,964682	0,953772
V ₃₄ (p.u)	0,95	1,1	1,025701	1,030762	0,962354	0,991228	0,980012	0,959842	1,006944	0,994382	0,972198	0,982354	0,965145
V ₃₆ (p.u)	0,95	1,1	1,016895	1,029707	0,956509	0,987980	0,975288	0,959111	1,001041	0,994836	0,962236	0,976617	0,957301
V ₄₀ (p.u)	0,95	1,1	1,053795	1,002656	0,956318	0,982994	0,979526	0,956413	1,007631	0,961009	0,961357	0,997869	0,955684
V ₄₂ (p.u)	0,95	1,1	1,025400	0,998993	0,955116	0,984069	0,978045	0,958169	1,015884	0,960292	0,969451	1,012536	0,955665

Çizelge 7.6. (devam). Durum 17 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
V ₄₆ (p.u)	0,95	1,1	1,012047	1,020128	0,962264	0,985527	0,980362	0,958885	1,015550	0,973020	0,980918	0,984461	0,953759
V ₄₉ (p.u)	0,95	1,1	1,017630	1,028017	0,960475	0,986701	0,974563	0,971048	1,012737	0,965182	0,966005	0,980687	0,957698
V ₅₄ (p.u)	0,95	1,1	1,021207	1,008017	0,959544	0,990596	0,982033	0,960335	1,009031	0,986654	0,961599	0,965427	0,958642
V ₅₅ (p.u)	0,95	1,1	1,020199	1,006573	0,957935	0,987010	0,979181	0,957907	1,008188	0,979012	0,959096	0,965329	0,955370
V ₅₆ (p.u)	0,95	1,1	1,020505	1,006578	0,958195	0,987180	0,979104	0,958100	1,007481	0,981634	0,959356	0,964488	0,955643
V ₅₉ (p.u)	0,95	1,1	1,026271	1,001255	0,979874	0,989147	0,980474	0,960013	1,012139	0,986393	0,965678	0,983502	0,957796
V ₆₁ (p.u)	0,95	1,1	1,011138	1,002715	0,961871	0,992767	0,983362	0,963525	1,010300	0,972622	0,973597	0,965117	0,963219
V ₆₂ (p.u)	0,95	1,1	1,006805	1,004658	0,953805	0,989361	0,972684	0,953301	1,006068	0,967484	0,963685	0,957246	0,956231
V ₆₅ (p.u)	0,95	1,1	1,025655	1,009177	0,962433	0,985555	0,979591	0,957996	1,010271	0,971164	0,961853	0,966524	0,957838
V ₆₆ (p.u)	0,95	1,1	1,028145	1,044449	0,967524	0,987783	0,979546	0,959080	1,019700	0,977100	0,964441	0,971991	0,960369
V ₆₉ (p.u)	0,95	1,1	1,034312	1,024482	0,959365	1,037536	0,981674	0,957387	1,006714	0,982362	0,959655	0,965750	0,957730
V ₇₀ (p.u)	0,95	1,1	1,019612	1,005455	0,970703	0,996362	0,984542	0,967176	1,015730	0,970516	0,962619	0,966853	0,957060
V ₇₂ (p.u)	0,95	1,1	1,036631	1,007183	0,965606	1,016448	0,984239	0,959745	1,013982	0,965022	0,961059	0,962529	0,959287
V ₇₃ (p.u)	0,95	1,1	1,006523	1,002886	0,972986	0,986145	0,983950	0,963449	1,007477	0,959819	0,950971	0,967613	0,953915
V ₇₄ (p.u)	0,95	1,1	1,002080	0,981932	0,951118	0,985493	0,977355	0,954049	0,998980	0,962011	0,966380	0,956773	0,957826
V ₇₆ (p.u)	0,95	1,1	1,005525	0,993649	0,960903	0,985148	0,985437	0,956701	0,991595	0,956750	0,955855	0,964440	0,956121
V ₇₇ (p.u)	0,95	1,1	1,014326	1,011382	0,958030	0,992582	0,997202	0,971181	1,001325	0,999099	0,961893	0,968220	0,957120
V ₈₀ (p.u)	0,95	1,1	1,021310	1,022411	0,961082	1,011534	1,035883	0,995440	1,009994	1,023535	0,978602	0,973278	0,959930
V ₈₅ (p.u)	0,95	1,1	1,009639	1,002151	0,958387	0,987040	0,979140	0,952615	1,009794	0,967972	0,957559	0,962685	0,957479

Çizelge 7.6. (devam). Durum 17 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
V ₈₇ (p.u)	0,95	1,1	0,972361	1,002486	0,961794	0,988223	0,978940	0,959384	1,008827	0,986957	0,972076	0,997383	0,956409
V ₈₉ (p.u)	0,95	1,1	1,031189	1,019295	0,974131	0,988785	0,982848	0,968367	1,016164	0,969464	0,976038	0,966000	0,963220
V ₉₀ (p.u)	0,95	1,1	1,020033	1,046515	0,953150	1,041418	0,981785	0,957833	1,002812	0,967544	0,969608	0,954635	0,959298
V ₉₁ (p.u)	0,95	1,1	1,008412	1,001754	0,958752	0,989995	0,982878	0,956549	1,011229	0,958810	0,968914	0,959847	0,998971
V ₉₂ (p.u)	0,95	1,1	1,013222	1,004414	0,960043	0,983785	0,979448	0,956195	1,004144	0,958032	0,962016	0,956979	0,959589
V ₉₉ (p.u)	0,95	1,1	1,012352	1,008713	0,956471	0,984879	1,010006	0,957472	1,007685	0,959131	0,975596	0,964230	0,956916
V ₁₀₀ (p.u)	0,95	1,1	1,012389	1,006037	0,968169	0,990742	0,987759	0,959435	1,006676	0,959940	0,958047	0,964937	0,961054
V ₁₀₃ (p.u)	0,95	1,1	1,008215	1,007100	0,963016	0,992132	0,982322	0,958360	1,009779	0,973603	0,958109	0,964816	0,958406
V ₁₀₄ (p.u)	0,95	1,1	1,020150	1,004171	0,970471	0,986401	0,987465	0,963313	1,020035	0,970876	0,966889	0,969344	0,958332
V ₁₀₅ (p.u)	0,95	1,1	1,012975	1,003464	0,959987	0,987909	0,979770	0,961796	1,010334	0,971506	0,964055	0,961455	0,960127
V ₁₀₇ (p.u)	0,95	1,1	1,020146	1,004764	0,958340	0,991727	0,975228	0,959286	1,005204	0,989980	0,963170	0,982342	0,956869
V ₁₁₀ (p.u)	0,95	1,1	1,014072	1,010671	0,958005	0,986802	0,978415	0,955848	1,008649	0,964175	0,955861	0,963389	0,965692
V ₁₁₁ (p.u)	0,95	1,1	1,024971	1,012097	0,963390	1,003257	0,982635	0,969635	1,006665	0,957011	0,952787	0,967619	0,957673
V ₁₁₂ (p.u)	0,95	1,1	1,017927	1,006721	0,958549	0,987084	0,979705	0,957289	0,998426	0,967397	0,967150	0,964706	0,971111
V ₁₁₃ (p.u)	0,95	1,1	1,017802	1,010249	0,969509	0,989162	1,004565	0,959153	1,012260	0,957458	0,972990	0,973227	0,956731
V ₁₁₆ (p.u)	0,95	1,1	1,000424	1,020362	0,960839	0,994072	0,983225	0,960927	1,005175	0,973082	1,011957	0,979290	0,957879
T ₁ (p.u)	0,9	1,1	0,965497	0,990023	0,913031	0,939218	0,925272	0,911913	0,956362	0,971191	0,914517	0,919741	0,912940
T ₂ (p.u)	0,9	1,1	0,966820	0,957459	1,002222	0,968479	0,928238	0,907025	0,959201	1,057054	0,913653	0,904288	0,908496
T ₃ (p.u)	0,9	1,1	0,956730	1,023079	0,906043	0,938903	1,007873	1,084439	0,921296	0,915641	0,904885	0,941896	0,907427
T ₄ (p.u)	0,9	1,1	0,960377	1,008435	0,942177	0,969594	0,986191	1,038784	0,958380	0,948138	0,913781	0,921769	0,912349

Çizelge 7.6. (devam). Durum 17 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
T ₅ (p.u)	0,9	1,1	0,962376	0,991523	0,977963	0,944416	0,930604	0,916416	0,951921	0,910870	1,015379	0,917328	0,907506
T ₆ (p.u)	0,9	1,1	0,965556	0,953376	0,971005	0,941296	0,983401	0,906485	1,057522	0,945563	0,912749	0,922907	0,908851
T ₇ (p.u)	0,9	1,1	0,967809	0,950011	0,913195	0,934460	0,927450	0,908310	0,975667	0,912850	0,911869	0,984388	0,980868
T ₈ (p.u)	0,9	1,1	1,019598	0,952681	0,914994	0,935703	0,930331	0,908454	0,960399	0,955550	0,907776	0,920095	0,907661
T ₉ (p.u)	0,9	1,1	0,962543	0,950029	0,910297	0,932034	0,927954	0,936250	0,956286	0,905930	0,913721	0,920646	0,908733
Q ₁ (MVAR)	0	25	0,324067	21,452260	0,094058	10,220556	24,999999	8,501355	0,000000	10,522399	22,573672	23,828145	23,210208
Q ₂ (MVAR)	0	25	0,376107	18,725904	15,641434	2,799379	10,296755	0,029746	4,581999	0,358368	11,836362	0,050152	0,158002
Q ₃ (MVAR)	0	25	12,686443	23,638162	2,027370	0,384431	7,546447	11,497479	0,000000	24,964164	9,552524	0,236043	8,192665
Q ₄ (MVAR)	0	25	0,159171	23,965109	3,487721	16,880662	16,134482	0,039647	20,558916	14,869587	14,528224	0,214482	25,000000
Q ₅ (MVAR)	0	25	0,155032	9,609716	8,535784	5,984711	24,993918	23,797448	9,706719	24,111067	3,247110	8,895223	24,984079
Q ₆ (MVAR)	0	25	12,402613	0,484571	0,342106	6,071710	9,653639	0,251025	23,948735	0,884535	0,106099	23,716075	0,051128
Q ₇ (MVAR)	0	25	15,624093	0,562991	10,597617	23,801278	4,524797	0,000000	0,000000	24,919883	0,589019	24,352084	24,963664
Q ₈ (MVAR)	0	25	15,404220	0,472755	19,682636	21,422914	14,522280	24,794482	24,427752	23,571736	24,925134	24,350266	7,268840
Q ₉ (MVAR)	0	25	12,669405	24,524657	18,681563	23,643518	9,345216	0,000000	16,417442	24,470543	19,994952	7,511497	12,640899
Q ₁₀ (MVAR)	0	25	11,344375	13,154543	23,556490	23,196458	14,235353	0,000000	18,117434	24,728832	9,514717	24,541885	24,996180
Q ₁₁ (MVAR)	0	25	4,573781	22,001246	24,833398	11,446647	24,696661	0,000000	24,593026	17,895810	5,780150	23,556007	25,000000
Q ₁₂ (MVAR)	0	25	10,063385	11,197378	24,544277	19,553856	24,932629	24,989104	6,753817	15,848410	24,997478	0,539182	24,991559
Q ₁₃ (MVAR)	0	25	14,795985	0,790242	8,019379	12,406136	24,998916	0,095994	24,071117	24,787811	11,881918	15,898178	0,117937
Q ₁₄ (MVAR)	0	25	8,703050	15,635932	12,596147	5,092391	11,187207	0,000000	23,743520	24,706033	21,164385	23,790919	24,865681
P ₆₉ (MW)	0	805,2	254,448406	189,015507	238,135228	223,764729	253,469427	257,477973	282,757457	243,199460	237,616304	203,560723	197,212393

7.7. EK 7: DURUM 18 İÇİN DEĞİŞKEN DEĞERLERİ

Çizelge 7.7. Durum 18 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₁ (MW)	30	100	75,826888	92,906398	71,774897	57,272032	35,782343	82,289902	42,790486	42,830389	63,797494	40,556139	58,300889
P ₄ (MW)	30	100	85,213633	63,392236	50,382090	72,932751	69,136261	81,843555	40,658306	40,338901	31,410455	51,835957	33,522570
P ₆ (MW)	30	100	36,837969	34,505908	33,846768	35,266222	40,353689	34,809636	47,260728	51,224485	39,262858	37,924928	41,042683
P ₈ (MW)	30	100	51,497274	34,620470	34,229871	34,491120	37,312349	31,129753	58,585949	58,826683	46,615306	45,463453	32,104512
P ₁₀ (MW)	165	550	173,253078	334,736132	231,066702	168,542643	168,075630	258,188965	165,000000	165,000000	264,284765	165,097841	236,242635
P ₁₂ (MW)	0	150	30,605263	54,189313	79,537460	21,385760	92,822659	29,798501	103,767485	103,658229	52,379228	96,392738	63,855848
P ₁₈ (MW)	30	100	66,299909	50,112903	49,105599	75,423108	44,795557	32,335083	35,184746	41,922950	73,863800	74,979710	38,035782
P ₁₉ (MW)	30	100	89,923694	34,470205	35,461342	65,184489	46,857426	48,923128	62,194313	44,610816	41,316804	39,310570	52,470180
P ₂₄ (MW)	30	100	47,967396	53,341684	41,903300	41,334067	42,265689	46,476913	46,705476	56,147665	56,162111	50,300778	43,159018
P ₂₅ (MW)	30	100	44,840275	30,890995	49,190114	45,348601	37,837245	51,904186	51,757786	33,817503	33,782140	37,949515	35,030800
P ₂₆ (MW)	96	320	97,579975	108,408113	118,086974	111,362678	96,403412	103,320837	99,289789	122,768557	97,707587	120,898749	146,375344
P ₂₇ (MW)	124,2	414	124,820290	138,808699	150,503693	125,644965	159,952936	159,406452	128,454688	125,110984	124,999753	125,673532	253,095420
P ₃₁ (MW)	30	100	69,298338	90,469422	35,477344	36,167652	42,435243	62,852613	50,109963	49,965091	42,327058	36,526439	41,315198
P ₃₄ (MW)	0	120	37,834121	84,020280	39,074993	32,826370	67,485152	25,356494	52,099331	37,349150	40,962323	62,655690	45,190334
P ₃₆ (MW)	30	100	52,101641	43,369533	37,228832	64,943223	53,338584	92,690648	73,384257	46,429310	39,858170	35,845109	35,109457

Çizelge 7.7. (devam). Durum 18 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₄₀ (MW)	30	100	38,572534	38,089810	68,898681	78,284826	54,487346	39,416565	76,867130	48,220848	64,272675	63,963652	42,446949
P ₄₂ (MW)	30	100	48,543918	44,769778	36,190465	39,913829	35,882654	32,569016	38,071170	50,444572	37,700636	34,708598	66,415149
P ₄₆ (MW)	30	100	46,774436	41,984837	63,843260	51,295806	65,239459	70,250337	74,036663	60,415411	40,854062	36,242478	31,309717
P ₅₄ (MW)	30	100	50,125383	39,927468	42,997738	56,852882	58,081236	55,813221	35,370942	43,629983	97,338503	37,017036	37,586377
P ₅₆ (MW)	0	120	46,694827	110,663347	39,980157	48,539287	52,428357	82,110887	102,467023	78,944797	75,615315	73,409461	35,251096
P ₅₉ (MW)	91,2	304	287,848014	100,995176	168,098943	258,730498	192,274958	112,851449	185,020165	128,351748	126,325781	302,113317	97,935765
P ₆₁ (MW)	0	150	145,466136	139,813416	51,319829	77,846428	149,863562	144,298688	97,761083	103,717494	133,081505	84,459963	133,662101
P ₆₂ (MW)	30	100	34,130163	35,355620	42,323092	62,411706	38,876828	37,200846	53,249730	97,009734	72,308360	34,528043	37,446208
P ₆₅ (MW)	30	100	74,567367	51,278544	53,657837	99,587581	51,741143	98,721190	49,518992	98,335906	64,881627	72,066178	32,610750
P ₆₆ (MW)	76,5	255	123,595802	86,171653	111,599141	253,436901	252,453659	120,582338	173,277598	248,194608	217,676251	95,814906	89,957033
P ₇₀ (MW)	78	260	100,863288	82,619506	122,541665	95,395614	98,068767	162,765833	132,271895	106,932910	214,260607	96,804332	237,231006
P ₇₂ (MW)	30	100	39,573042	37,937459	37,765005	41,148459	45,552663	85,871713	35,546658	40,000450	35,381620	62,425141	32,851538
P ₇₃ (MW)	147,3	491	219,220043	268,706743	180,900759	232,666526	217,670070	176,589823	284,558610	151,221924	206,732259	188,889241	164,222071
P ₇₄ (MW)	147,6	492	236,717214	168,660335	443,640831	151,784659	185,006944	167,572255	162,427935	238,291607	148,079036	187,468147	311,225013
P ₇₆ (MW)	30	100	42,480446	38,823382	57,334487	58,962297	66,277351	38,406900	63,375420	40,364958	43,608740	38,618900	45,157866
P ₇₇ (MW)	30	100	34,573092	37,874642	32,120695	61,260579	55,552100	68,940956	32,932036	46,891797	32,321528	34,778534	86,328301
P ₈₀ (MW)	30	100	40,065550	48,356817	93,421875	32,781964	42,824266	59,266567	59,152732	64,828254	37,881384	75,839812	42,861720
P ₈₅ (MW)	30	100	56,724380	60,224837	73,689362	47,532934	38,294949	42,091878	44,847790	81,053989	80,038768	72,970477	75,882105
P ₈₇ (MW)	30	100	75,661504	40,172408	47,963999	79,820264	89,702669	52,982743	39,160654	46,445879	62,498024	38,942879	45,828612

Çizelge 7.7. (devam). Durum 18 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
P ₈₉ (MW)	30	100	44,270732	35,524545	51,721209	65,389805	65,316277	37,579058	36,552092	68,981361	41,504921	42,503049	54,912791
P ₉₀ (MW)	173,1	577	254,106126	208,347091	221,866703	281,638875	224,599668	338,959030	455,926137	310,634993	285,934174	426,024465	184,361945
P ₉₁ (MW)	30	100	64,258176	33,360110	52,861901	57,018227	31,616791	70,090588	34,229474	36,954858	49,825881	67,614370	40,113680
P ₉₂ (MW)	31,2	104	51,452614	33,010457	47,035367	35,256112	33,677831	34,939803	34,126651	40,602988	32,183363	76,417496	100,883448
P ₉₉ (MW)	212,1	707	212,140723	293,411483	234,120063	223,554022	254,827806	212,668253	213,897367	213,161744	213,865310	221,383559	258,807974
P ₁₀₀ (MW)	30	100	41,315933	34,591606	37,727652	60,008033	35,308395	36,332908	44,391892	65,054152	87,356927	30,495756	36,225662
P ₁₀₃ (MW)	30	100	51,911003	37,262270	30,243797	38,571162	38,181480	45,578174	72,084287	40,270841	35,214789	69,012053	44,999749
P ₁₀₅ (MW)	30	100	32,692460	30,746258	35,682274	35,607127	54,665352	32,454067	33,501038	39,186529	32,283105	30,286824	41,019330
P ₁₀₇ (MW)	30	100	30,204708	31,835996	92,861218	55,077297	38,558548	39,038009	64,317839	35,991579	42,653416	66,601625	51,812462
P ₁₁₀ (MW)	105,6	352	154,090856	114,756390	259,361202	114,623691	132,470282	112,220903	111,302439	135,277092	134,515282	107,214734	123,060178
P ₁₁₁ (MW)	42	140	62,773825	74,590528	48,670869	64,179926	53,824161	45,374114	47,336185	47,075713	81,591066	49,585669	108,644345
P ₁₁₃ (MW)	0	150	38,274108	14,115917	7,460799	33,557214	22,156218	59,547728	10,891737	2,681087	58,248602	11,161268	0,021570
P ₁₁₆ (MW)	30	100	33,764947	33,553871	86,570628	31,766685	44,895963	33,764983	40,432111	79,689906	30,450422	51,665767	84,709046
W ₁₅ (MW)	30	100	48,168695	51,768173	34,663547	43,011289	38,023543	48,691320	62,365649	31,625681	34,006921	34,933949	32,431717
W ₃₂ (MW)	30	100	56,236461	54,312717	41,849307	36,002085	64,795704	41,413743	68,963196	67,933667	36,100333	64,982589	64,096499
W ₄₉ (MW)	40,8	136	54,115318	107,315307	56,338227	41,197174	41,018703	85,041923	41,001955	41,941428	43,719899	40,800000	46,130793
W ₅₅ (MW)	0	120	35,127576	41,268351	42,890460	46,858603	50,697979	22,543209	18,721883	37,080696	33,806937	38,450077	52,084675
W ₁₀₄ (MW)	30	100	32,215519	36,783463	36,901770	54,695321	44,255778	47,741378	48,755004	52,600619	61,053465	66,677720	47,577531
W ₁₁₂ (MW)	30	100	35,669943	33,958811	45,816578	45,368908	85,747939	62,507751	34,976771	60,709128	51,764608	38,221358	33,551802

Çizelge 7.7. (devam). Durum 18 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
V ₁ (p.u)	0,95	1,1	0,978641	1,004228	0,990256	1,007542	0,977385	1,013437	0,973985	1,015384	0,993131	1,010861	1,009907
V ₄ (p.u)	0,95	1,1	1,001002	1,011713	1,011617	1,037626	1,006087	1,051908	0,999473	1,053049	1,015917	1,036417	1,047206
V ₆ (p.u)	0,95	1,1	0,992419	1,017075	0,994936	1,021418	0,996634	1,026005	0,994801	1,037605	1,013008	1,022296	1,016990
V ₈ (p.u)	0,95	1,1	0,981391	1,023196	0,978198	1,024807	0,989821	0,992115	0,998120	1,026553	1,000402	1,017038	1,021824
V ₁₀ (p.u)	0,95	1,1	0,975829	1,011465	1,011489	1,055088	0,997088	1,016323	0,993099	1,016612	1,050396	1,013487	1,006267
V ₁₂ (p.u)	0,95	1,1	0,986517	1,006572	0,996059	1,014785	0,992624	1,022574	0,988857	1,024295	1,003060	1,023109	1,018515
V ₁₅ (p.u)	0,95	1,1	0,996286	1,006542	1,003555	1,021370	0,995547	1,017976	0,993001	1,009433	0,996331	1,029313	1,018374
V ₁₈ (p.u)	0,95	1,1	1,005729	1,006709	1,010801	1,017361	0,996540	1,021419	0,998847	1,011650	0,999061	1,027637	1,018427
V ₁₉ (p.u)	0,95	1,1	0,999724	1,007306	1,004952	1,016876	0,994286	1,020092	0,994728	1,010466	0,994938	1,022624	1,017193
V ₂₄ (p.u)	0,95	1,1	1,009074	1,017489	0,986030	1,020554	1,010209	1,056122	0,980719	1,021767	1,001297	1,019891	1,017350
V ₂₅ (p.u)	0,95	1,1	1,028615	1,069158	1,064987	1,037476	0,980500	1,024874	1,007678	1,045895	1,001563	1,024114	1,014984
V ₂₆ (p.u)	0,95	1,1	0,985881	1,011128	1,020225	1,017447	1,003353	1,008823	0,968865	1,036823	1,025560	0,999007	1,014235
V ₂₇ (p.u)	0,95	1,1	0,997521	1,028892	1,001332	1,014995	1,010214	1,018269	1,003688	1,039715	1,000032	1,031021	1,011725
V ₃₁ (p.u)	0,95	1,1	0,995237	1,009682	0,986406	1,016664	0,993090	1,020127	0,988088	1,017135	0,999731	1,029038	1,016596
V ₃₂ (p.u)	0,95	1,1	0,999731	1,026683	1,000817	1,015234	1,005673	1,026532	0,993725	1,026911	0,998984	1,029828	1,016513
V ₃₄ (p.u)	0,95	1,1	0,994134	1,011330	0,997850	1,016943	1,008021	1,031598	1,012034	1,027960	1,005948	1,029586	1,021383
V ₃₆ (p.u)	0,95	1,1	0,991309	1,008749	0,992061	1,012976	1,002895	1,027464	1,008976	1,024427	1,003720	1,024471	1,017309
V ₄₀ (p.u)	0,95	1,1	1,012192	1,008990	0,987333	1,019158	1,014657	1,028479	1,004917	1,014198	1,003064	1,023220	1,016343
V ₄₂ (p.u)	0,95	1,1	1,008929	1,023646	0,997497	1,013388	1,001180	1,022837	0,997104	1,011372	1,005096	1,019259	1,002985

Çizelge 7.7. (devam). Durum 18 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
V ₄₆ (p.u)	0,95	1,1	1,022911	1,034786	1,030413	1,035317	0,999627	1,020117	1,018450	1,012388	1,001008	1,019962	1,014971
V ₄₉ (p.u)	0,95	1,1	1,015145	1,022006	0,999068	1,032389	1,013977	1,017832	1,004675	1,016797	1,006908	1,038085	1,024464
V ₅₄ (p.u)	0,95	1,1	0,999568	1,013609	0,987285	1,012145	1,000685	1,020658	0,991706	1,010264	0,999037	1,023063	1,018272
V ₅₅ (p.u)	0,95	1,1	0,996399	1,012468	0,988220	1,011935	1,002419	1,020354	0,991849	1,011652	1,001800	1,022913	1,017612
V ₅₆ (p.u)	0,95	1,1	0,997962	1,012400	0,987422	1,011986	1,001315	1,019816	0,991042	1,010727	1,000203	1,022892	1,017149
V ₅₉ (p.u)	0,95	1,1	1,016148	1,016286	1,005462	1,016549	1,029522	1,034329	1,001589	1,034508	1,025631	1,029929	1,026873
V ₆₁ (p.u)	0,95	1,1	1,002706	1,007639	0,996817	1,021471	1,034699	1,016641	0,993559	1,024287	1,006358	1,033496	1,014331
V ₆₂ (p.u)	0,95	1,1	0,997814	1,003771	0,990587	1,019945	1,033495	1,011445	0,997609	1,017339	1,003326	1,027417	1,007890
V ₆₅ (p.u)	0,95	1,1	0,980309	1,020910	0,985719	1,005988	1,042179	1,020893	0,995990	1,046995	1,013630	1,027173	1,010852
V ₆₆ (p.u)	0,95	1,1	1,004145	1,032650	1,001913	1,027834	1,034560	1,021695	1,024657	1,025114	1,019507	1,036294	1,018866
V ₆₉ (p.u)	0,95	1,1	1,012877	1,012343	0,995120	1,017441	1,023505	1,029351	1,026288	1,037839	1,033687	1,025041	1,023462
V ₇₀ (p.u)	0,95	1,1	1,007920	1,015869	0,998252	1,025400	1,012240	1,022646	1,006268	1,027625	1,008704	1,024327	1,015881
V ₇₂ (p.u)	0,95	1,1	0,995179	1,065415	0,996572	1,018715	1,009962	1,014659	0,999924	1,007675	0,998210	1,023807	1,017103
V ₇₃ (p.u)	0,95	1,1	1,008068	1,006255	1,007745	1,032111	1,017789	1,021565	1,018619	1,025500	0,999196	1,029226	1,017488
V ₇₄ (p.u)	0,95	1,1	0,995247	1,006047	0,977694	1,006948	0,989857	1,009609	0,985439	1,011932	1,004840	1,014827	1,003298
V ₇₆ (p.u)	0,95	1,1	0,986965	0,990019	0,966000	0,998541	0,977966	1,007434	0,972639	1,000851	0,989929	0,993020	0,987496
V ₇₇ (p.u)	0,95	1,1	1,006305	1,019653	0,994540	1,016472	0,984680	1,040244	0,998786	1,027532	1,007471	1,016615	1,011418
V ₈₀ (p.u)	0,95	1,1	1,020948	1,038906	1,009575	1,026493	0,989911	1,062322	1,006361	1,040412	1,013257	1,024337	1,018985
V ₈₅ (p.u)	0,95	1,1	0,978653	1,014877	0,995002	1,006404	0,994446	1,025911	0,991370	1,012582	1,003119	1,037642	1,011233

Çizelge 7.7. (devam). Durum 18 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
V ₈₇ (p.u)	0,95	1,1	0,992075	1,013860	0,991146	1,011568	0,991483	1,020831	0,996527	1,009984	1,009119	1,023635	1,017866
V ₈₉ (p.u)	0,95	1,1	0,978656	1,029646	1,024323	1,027473	1,012291	1,033601	1,000790	1,029946	1,006055	1,066427	1,024008
V ₉₀ (p.u)	0,95	1,1	0,990461	1,051276	0,994979	1,014006	0,995745	1,030244	0,996895	1,023690	1,000911	1,024434	1,012999
V ₉₁ (p.u)	0,95	1,1	1,015510	1,004688	0,991591	1,014686	1,001429	1,020978	0,999747	1,037752	1,009191	1,041585	1,030580
V ₉₂ (p.u)	0,95	1,1	0,981456	1,011633	1,003997	1,014875	0,996001	1,021661	0,993118	1,023375	1,000597	1,046319	1,014214
V ₉₉ (p.u)	0,95	1,1	0,980582	1,030259	0,984194	1,016633	0,988340	1,021402	0,996863	1,015210	0,998513	1,023892	1,010522
V ₁₀₀ (p.u)	0,95	1,1	0,985923	1,006619	0,997979	1,015834	0,989459	1,022352	0,997349	1,027885	1,008591	1,036162	1,014625
V ₁₀₃ (p.u)	0,95	1,1	0,983739	1,012608	0,999580	1,018418	1,002410	1,020917	0,999182	1,024779	1,013062	1,028798	1,016760
V ₁₀₄ (p.u)	0,95	1,1	0,967613	1,021734	0,986714	1,013890	0,998567	1,019475	0,996363	1,018890	1,004213	1,021126	1,011181
V ₁₀₅ (p.u)	0,95	1,1	0,970871	1,025910	0,989710	1,012666	0,996759	1,019720	0,995467	1,015940	1,003730	1,021321	1,016019
V ₁₀₇ (p.u)	0,95	1,1	0,998826	1,063419	1,004564	1,011117	0,995032	1,034042	0,996621	0,997245	1,001520	1,023396	1,023121
V ₁₁₀ (p.u)	0,95	1,1	0,980578	1,016343	0,989879	1,026076	1,003924	1,023296	0,992970	1,015670	1,001979	1,028069	1,022712
V ₁₁₁ (p.u)	0,95	1,1	0,999143	1,015276	0,981423	1,052285	0,989186	1,034581	0,990158	1,007009	1,008968	1,042193	1,023347
V ₁₁₂ (p.u)	0,95	1,1	0,976424	1,015988	0,991932	1,019729	1,011475	1,023168	0,983220	1,017977	1,000406	1,021709	1,021979
V ₁₁₃ (p.u)	0,95	1,1	1,006361	1,026827	0,988798	1,034195	1,013339	1,019487	1,001793	1,019503	0,998150	1,050406	1,015219
V ₁₁₆ (p.u)	0,95	1,1	0,970610	1,017209	1,005793	1,000130	1,044115	1,018475	0,994217	1,055381	1,030807	1,016090	1,012074
T ₁ (p.u)	0,9	1,1	0,962624	0,962451	0,941293	0,956701	0,977897	0,968991	0,955955	0,997370	0,944412	0,969338	1,024916
T ₂ (p.u)	0,9	1,1	0,940349	0,955310	0,965990	0,968886	1,049522	0,987901	0,952673	0,991454	1,074548	0,980010	0,996474
T ₃ (p.u)	0,9	1,1	0,971587	1,047409	0,934413	0,962717	0,946994	0,968598	0,992075	1,036663	0,967231	0,977034	0,955648
T ₄ (p.u)	0,9	1,1	1,003826	1,017125	0,962837	1,014733	0,978674	0,995036	0,991685	0,981532	1,001094	0,992090	0,984261

Çizelge 7.7. (devam). Durum 18 için değişken değerleri.

Değişkenler	Min	Max	GSA	KGSA1	KGSA2	KGSA3	KGSA4	KGSA5	KGSA6	KGSA7	KGSA8	KGSA9	KGSA10
T ₅ (p.u)	0,9	1,1	0,927777	0,962886	0,946883	0,967881	1,002261	0,992861	0,950577	0,995462	0,956291	0,987227	0,956225
T ₆ (p.u)	0,9	1,1	0,937971	1,007660	0,948896	0,962762	1,008707	0,992651	1,007038	0,997445	0,975413	1,000830	0,963195
T ₇ (p.u)	0,9	1,1	0,970745	0,977219	0,966736	0,960109	0,989329	0,972656	0,945218	0,995965	0,965516	0,971031	0,982876
T ₈ (p.u)	0,9	1,1	1,016705	0,977048	0,934354	0,966814	0,998379	0,996062	0,947971	0,999841	0,958329	1,026631	0,974523
T ₉ (p.u)	0,9	1,1	0,998855	0,982592	0,963076	1,010773	1,014813	0,959628	0,985984	0,992744	0,955645	0,981941	0,968167
Q ₁ (MVAR)	0	25	19,150480	3,702580	2,467669	3,335164	9,869251	12,971496	5,172654	17,960265	23,128128	19,064717	1,498271
Q ₂ (MVAR)	0	25	3,685904	4,039609	1,080830	6,387388	5,605466	11,269041	4,401172	3,597725	10,710836	6,825941	23,127051
Q ₃ (MVAR)	0	25	5,607397	13,752647	1,005385	3,832576	1,337826	13,190024	11,999608	3,494864	2,426599	18,877757	5,914544
Q ₄ (MVAR)	0	25	7,167254	2,375123	22,151061	13,670706	1,768624	2,502713	8,477295	2,849730	9,718877	5,883765	8,090633
Q ₅ (MVAR)	0	25	9,246171	1,011679	18,579310	5,235643	15,506718	12,440435	13,173432	11,173394	22,987045	1,620549	0,787625
Q ₆ (MVAR)	0	25	3,748092	18,676767	21,643419	6,378580	1,736513	7,004459	10,289944	2,060735	10,175463	5,471355	17,191344
Q ₇ (MVAR)	0	25	6,782161	10,186874	22,158788	15,167153	1,712877	18,901606	9,987641	2,280728	18,159802	19,730069	0,019736
Q ₈ (MVAR)	0	25	14,068916	24,097817	1,625900	13,066772	9,496397	10,114372	3,059479	10,635222	22,648163	22,738173	11,388858
Q ₉ (MVAR)	0	25	10,239687	9,436479	9,569692	20,127596	12,017874	22,770697	23,935521	3,912198	15,995755	19,532474	19,650208
Q ₁₀ (MVAR)	0	25	9,350940	13,964542	20,313642	2,313180	15,508544	0,517822	4,940227	2,171232	22,536814	1,476529	12,672686
Q ₁₁ (MVAR)	0	25	8,730904	13,592242	2,117535	11,796291	14,227453	6,329713	12,706330	4,600270	24,475484	13,914344	19,558748
Q ₁₂ (MVAR)	0	25	8,969965	23,119502	8,009766	19,799225	5,999670	11,781469	11,855363	5,967060	10,388106	21,166527	11,448746
Q ₁₃ (MVAR)	0	25	8,248115	1,883690	23,095868	17,072702	4,648840	10,917899	6,705104	2,056435	11,559162	21,792959	5,789049
Q ₁₄ (MVAR)	0	25	8,262202	6,174757	9,280054	6,009990	12,380162	6,723271	6,269774	3,064101	6,540714	12,914966	7,848453
P ₆₉ (MW)	0	805,2	83,113397	220,818586	-47,801370	62,239723	62,228427	45,883183	-28,931239	41,248357	16,334044	55,495431	35,494754

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Yunus HINISLIOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri :13.06.1992 Kocasinan
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :yunushinislioglu@duzce.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Melikşah Üniversitesi	2015
Lise	Fen	Kırıkkale Fen Lisesi	2010

YAYINLAR

- [1] Y. Hınıslioğlu, U. Güvenç. “Ekonomik Yük Dağıtımı Probleminin Stokastik Fraktal Arama Algoritması ile Çözümü,” Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (ASYU2016), Düzce, Türkiye, 2016.
- [2] U. Güvenç, S. Duman, and Y. Hınıslioğlu, “Chaotic Moth Swarm Algorithm,” in 2017 IEEE International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), Gdynia, Poland, 2017, pp. 90–95.
- [3] U. Güvenç, S. Duman, and Y. Hınıslioğlu, “Moth Swarm Algorithm for Combined Heat and Power Economic Dispatch,” in IV. IMCOFE International Multidisciplinary Congress of Eurasia 2017, Rome, Italy, 2017, pp. 316–322.
- [4] U. Güvenç, S. Duman, and Y. Hınıslioğlu, “Escape Velocity Based Gravitational Search Algorithm For Solving The Optimal Power Flow Problem Integrated With Wind Power,” in IV. International Academic Research Congress, Antalya, Turkey, 2018, pp. 584–590.