



KISA DÖNEM HİDROTERMAL KOORDİNASYON PROBLEMİNİN
GELİŞTİRİLEN ARTIRIMLI YERÇEKİMSSEL ARAMA ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ

Serdar ÖZYÖN

Doktora Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs - 2018

KISA DÖNEM HİDROTHERMAL KOORDİNASYON PROBLEMİNİN GELİŞTİRİLEN
ARTIRIMLI YERÇEKİMSSEL ARAMA ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ

Serdar ÖZYÖN

Dumlupınar Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca

Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında

DOKTORA TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Celal YAŞAR

Mayıs - 2018

KABUL VE ONAY YAZISI

Serdar ÖZYÖN tarafından hazırlanan “KISA DÖNEM HİDROTHERMAL KOORDİNASYON PROBLEMİNİN GELİŞTİRİLEN ARTIRIMLI YERÇEKİMSEL ARAMA ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ” adlı tez çalışması, aşağıda belirtilen jüri tarafından Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek OY BİRLİĞİ ile Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

07 / 05 /2018

Prof. Dr. Önder UYSAL

Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Mehmet Ali EBEOĞLU

Bölüm Başkanı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Celal YAŞAR

Danışman, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Salih FADIL

ESOGÜ, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Celal YAŞAR

DPÜ, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Doğan AYDIN

DPÜ, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Yılmaz ASLAN

DPÜ, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Ümmühan BAŞARAN FİLİK

AÜ, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %10 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Doç. Dr. Celal YAŞAR

Serdar ÖZYÖN

KISA DÖNEM HİDROTERMAL KOORDİNASYON PROBLEMİNİN GELİŞTİRİLEN ARTIRIMLI YERÇEKİMSSEL ARAMA ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜMÜ

Serdar ÖZYÖN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Doktora Tezi, 2018

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Celal YAŞAR

ÖZET

Hem termik hem de hidrolik üretim birimlerinin bulunduğu enerji sistemlerinin belirli bir periyodik dönem boyunca ekonomik olarak işletimi, sadece termik üretim birimlerinden oluşan sistemlere göre daha zor ve karmaşıktır. Çünkü hidrolik üretim birimleri bulunan sistemlerde sağlanması gereken elektriksel kısıtların yanında hidrolik kısıtlarda yer almaktadır. Bu tür problemlerde işletim süresi olarak bir günden bir haftaya kadar olan süre dikkate alınırsa, probleme kısa dönem hidrotermal koordinasyon problemi (KDHTKP) denilmektedir.

KDHTKP gibi karmaşık ve nümerik yöntemlerle çözümü zor olan mühendislik problemlerinin çözümünde sezgisel algoritmalar sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun nedeni, büyük arama uzaylarına sahip çok boyutlu problemlerin nümerik yöntemlerle çözümlerinin çok daha uzun süreler almasıdır. Son yıllarda bu tür problemlerin daha hızlı çözümüne yönelik birçok sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Çalışmada KDHTKP'nin çözümü için sezgisel algoritma olarak yerçekimsel arama algoritması (Gravitational search algorithm-GSA) seçilmiştir. GSA'nın performansını geliştirmek için algoritmaya artırılmış sosyal öğrenme (Incremental social learning-ISL) yapısı üç farklı şekilde uygulanmıştır. Performansı iyileştirilen bu algoritmaya geliştirilmiş GSA (Incremental GSA - IGSA) adı verilmiştir. Üç farklı şekilde uygulanan ISL'ye bağlı olarak üç farklı algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yeni algoritmalar 23 adet benchmark test fonksiyonlarına başarıyla uygulanmıştır. Ayrıca IGSA'lar için en uygun parametre değerlerinin belirlenebilmesi için çevrimdışı parametre uyarlaması yapılmıştır.

Belirlenen parametre değerlerinin kullanıldığı IGSA, sabit ve değişken düşülü hidrolik birimler bulunduran KDHTKP'lere çözüm için uygulanmıştır. Problemlerin çözümlerindeki kısıtlar cezalandırma yöntemiyle sağlanmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kısa dönem hidrotermal koordinasyon problemi, Artırılmış sosyal öğrenme, Yerçekimsel arama algoritması, Geliştirilmiş yerçekimsel arama algoritması, Benchmark test fonksiyonları, Ceza fonksiyonu yöntemi.

**THE SOLUTION OF THE SHORT-TERM HYDROTHERMAL COORDINATION
PROBLEM BY IMPROVED INCREMENTAL GRAVITATIONAL SEARCH
ALGORITHM**

Serdar ÖZYÖN

Electrical-Electronics Engineering, Ph.D. Thesis, 2018

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Celal YAŞAR

ABSTRACT

There are hydraulic constraints as well as electrical constraints that must be satisfied in systems with hydraulic and thermal generation units. Therefore, the operation of energy systems with both thermal and hydraulic generation units for a defined period of time (hydrothermal coordination) is more difficult and more complicated with respect to a system composed of only thermal generation units. If the operation period is from one day to a week, the hydrothermal coordination problem is called short-term hydrothermal coordination problem (STHCP).

Heuristic algorithms are frequently used in the solution of engineering problems like STHCP which are complicated and difficult to solve. The reason is that these type of problems are highly nonlinear and multi-dimensional having large search space. In recent years, a lot of heuristic algorithms have been developed for faster solution of these types of problems. In this work, gravitational search algorithm (GSA) has been selected as the heuristic algorithm for the solution of STHCP. In order to improve the performance of GSA, incremental social learning structure (ISL) has been applied to the algorithm in three different ways. This algorithm where the performance of GSA is improved has been called Incremental GSA (IGSA). Due to ISL applied in three different ways, three different algorithms were developed. Those newly developed algorithms were successfully applied to 23 benchmark test functions. Also, offline parameter adaptation was accomplished in order to find the most suitable parameter values for IGSA.

IGSA in which the calculated parameter values were used, was applied to STHCPs with fixed and variable heads. The constraints in the solution of the problems were handled by means of the penalty function approach and the obtained results were compared with those given in the late literature.

Key Words: Short-term hydrothermal coordination problem, Incremental social learning, Gravitational search algorithm, Incremental gravitational search algorithm, Benchmark test functions, Penalty function method.

TEŞEKKÜR

Akademik çalışma hayatımın ilk gününden itibaren yanımda olan, hazırlamış olduğum tezim üzerinde büyük emek sahibi, akademik camiada kendime aldığım tek rol model danışman hocam Doç. Dr. Celal YAŞAR'a, her toplantımızda değerli fikirleri ve önerileriyle tezime katkıda bulunan tez izleme komitesinin değerli üyeleri Prof. Dr. Salih FADIL ve Doç. Dr. Doğan AYDIN'a, tez çalışmalarım süresince karşılaştığım tüm sorunlarda engin bilgi ve tecrübesiyle yardımını esirgemeyen hocam Dr. Öğr. Üyesi Hasan TEMURTAŞ'a, tez çalışmamın algoritma geliştirme bölümü için destek sağlayan DPÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne, tezimin savunma jürisindeki değerli hocalarıma ve eğitim-öğretim hayatım boyunca ilkokuldan üniversiteye kadar derslerini aldığım bütün öğretmen ve hocalarıma, çektikleri birçok zorluğa ve yokluğa rağmen maddi ve manevi desteklerinden dolayı başta canım babam Cengiz ÖZYÖN'e, canım annem EBKADIN ÖZYÖN'e ve ÖZYÖN ailesinin değerli üyelerine, yıllardır karşıma çıkan her zorlukta yanımda olan, en büyük destekçim sevgili eşim Öğr. Gör. Dr. Arzu ÖZYÖN'e, evimin neşe kaynakları, güzel evlatlarım, hayata dair yaptığım yüksek lisans tezim, ilk göz ağrım Arzu Deniz ÖZYÖN'e ve yıllar sonra aynı mutluluğu bize tekrar yaşatan doktora tezim Serdar Ege ÖZYÖN'e en samimi duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	5
3. ALGORİTMA GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI.....	20
3.1. Yerçekimsel Arama Algoritması (GSA).....	20
3.2. Artırımlı Sosyal Öğrenme Yapısı (ISL).....	24
3.3. Artırımlı Yerçekimsel Arama Algoritması (IGSA).....	25
3.3.1. Durum-1: IGSA-1.....	26
3.3.2. Durum-2: IGSA-2.....	26
3.3.3. Durum-3: IGSA-3.....	26
3.4. Test Fonksiyonları.....	28
3.4.1. Fonksiyon-1 (f_1).....	31
3.4.2. Fonksiyon-2 (f_2).....	31
3.4.3. Fonksiyon-3 (f_3).....	32
3.4.4. Fonksiyon-4 (f_4).....	32
3.4.5. Fonksiyon-5 (f_5).....	33
3.4.6. Fonksiyon-6 (f_6).....	33
3.4.7. Fonksiyon-7 (f_7).....	34
3.4.8. Fonksiyon-8 (f_8).....	34
3.4.9. Fonksiyon-9 (f_9).....	35
3.4.10. Fonksiyon-10 (f_{10}).....	35
3.4.11. Fonksiyon-11 (f_{11}).....	36
3.4.12. Fonksiyon-12 (f_{12}).....	36
3.4.13. Fonksiyon-13 (f_{13}).....	37
3.4.14. Fonksiyon-14 (f_{14}).....	37
3.4.15. Fonksiyon-15 (f_{15}).....	38
3.4.16. Fonksiyon-16 (f_{16}).....	38
3.4.17. Fonksiyon-17 (f_{17}).....	39
3.4.18. Fonksiyon-18 (f_{18}).....	39
3.4.19. Fonksiyon-19 (f_{19}).....	40
3.4.20. Fonksiyon-20 (f_{20}).....	40

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.4.21. Fonksiyon-21 (f_{21})	41
3.4.22. Fonksiyon-22 (f_{22})	41
3.4.23. Fonksiyon-23 (f_{23})	42
3.5. Test Fonksiyonlarının IGSA ile Çözümü.....	42
3.5.1. Kararlılık analizi.....	57
3.6. Parametre Uyarlama.....	58
3.6.1. Çevrimdışı ayarlama.....	59
3.6.2. Çevrimiçi ayarlama.....	60
3.6.3. GSA ve IGSA için parametre uyarlaması.....	61
4. HİDROTERMAL KOORDİNASYON PROBLEMİ.....	63
4.1. Uzun Dönem Hidrotermal Koordinasyon Problemi.....	63
4.2. Kısa Dönem Hidrotermal Koordinasyon Problemi.....	63
4.2.1. Sabit düşülü hidrolik birimler.....	65
4.2.2. Değişken düşülü hidrolik birimler.....	65
4.3. Seri Bağlı Hidrolik Birimler.....	65
4.4. Paralel Bağlı Hidrolik Birimler.....	66
4.5. Çoklu-Zincirleme (Seri-Paralel) Bağlı Hidrolik Birimler.....	67
4.6. Kısa Dönem Hidrotermal Koordinasyon Probleminin Matematiksel Formülasyonu.....	68
4.6.1. Sabit düşülü kısa dönem hidrotermal koordinasyon probleminin çözümü....	72
5. ÖRNEK PROBLEM ÇÖZÜMLERİ.....	79
5.1. Örnek Sistem-1: İletim hattı kayıplı konveks yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren sabit düşülü KDHTKP.....	79
5.2. Örnek Sistem-2: İletim hattı kayıplı konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren sabit düşülü KDHTKP.....	100
5.3. Örnek Sistem-3: İletim hattı kayıpları ihmal edilen konveks yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren değişken düşülü KDHTKP.....	115
5.4. Örnek Sistem-4: İletim hattı kayıplı konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren değişken düşülü KDHTKP.....	137
5.4.1. Durum-1.....	138
5.4.2. Durum-2.....	154
6. SONUÇ.....	170
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	174

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

EKLER

EK-1: Test Fonksiyonlarının IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerine ait grafikler

- Ek-1 Şekil 1. f_3 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D)
- Ek-1 Şekil 2. f_3 boxplot (30-D)
- Ek-1 Şekil 3. f_4 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D)
- Ek-1 Şekil 4. f_4 boxplot (30-D)
- Ek-1 Şekil 5. f_5 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D)
- Ek-1 Şekil 6. f_5 boxplot (30-D)
- Ek-1 Şekil 7. f_6 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D)
- Ek-1 Şekil 8. f_6 boxplot (30-D)
- Ek-1 Şekil 9. f_7 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D)
- Ek-1 Şekil 10. f_7 boxplot (30-D)
- Ek-1 Şekil 11. f_{10} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D)
- Ek-1 Şekil 12. f_{10} boxplot (30-D)
- Ek-1 Şekil 13. f_{11} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D)
- Ek-1 Şekil 14. f_{11} boxplot (30-D)
- Ek-1 Şekil 15. f_{12} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D)
- Ek-1 Şekil 16. f_{12} boxplot (30-D)
- Ek-1 Şekil 17. f_{13} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D)
- Ek-1 Şekil 18. f_{13} boxplot (30-D)
- Ek-1 Şekil 19. f_{16} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (2-D)
- Ek-1 Şekil 20. f_{16} boxplot (2-D)
- Ek-1 Şekil 21. f_{17} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (2-D)
- Ek-1 Şekil 22. f_{17} boxplot (2-D)
- Ek-1 Şekil 23. f_{18} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (2-D)
- Ek-1 Şekil 24. f_{18} boxplot (2-D)
- Ek-1 Şekil 25. f_{19} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (3-D)
- Ek-1 Şekil 26. f_{19} boxplot (3-D)
- Ek-1 Şekil 27. f_{20} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (6-D)
- Ek-1 Şekil 28. f_{20} boxplot (6-D)
- Ek-1 Şekil 29. f_{21} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (4-D)
- Ek-1 Şekil 30. f_{21} boxplot (4-D)
- Ek-1 Şekil 31. f_{22} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (4-D)
- Ek-1 Şekil 32. f_{22} boxplot (4-D)
- Ek-1 Şekil 33. f_{23} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (4-D)
- Ek-1 Şekil 34. f_{23} boxplot (4-D)

ÖZGEÇMİŞ ve ESERLER LİSTESİ

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Kütleler arası çekim kuvveti.....	20
3.2. Arama uzayındaki bir ajana etkiyen kuvvetler.....	21
3.3. GSA akış diyagramı.....	23
3.4. Artırımlı sosyal öğrenme yaklaşımının algoritma yapısı.....	24
3.5. IGSA popülasyon yapısı.....	25
3.6. IGSA akış diyagramı.....	27
3.7. f_1 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	31
3.8. f_2 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	31
3.9. f_3 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	32
3.10. f_4 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	32
3.11. f_5 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	33
3.12. f_6 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	33
3.13. f_7 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	34
3.14. f_8 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	34
3.15. f_9 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	35
3.16. f_{10} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	35
3.17. f_{11} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	36
3.18. f_{12} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	36
3.19. f_{13} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	37
3.20. f_{14} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	37
3.21. f_{15} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	38
3.22. f_{16} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	38
3.23. f_{17} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	39
3.24. f_{18} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	39
3.25. f_{19} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	40
3.26. f_{20} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	40
3.27. f_{21} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	41
3.28. f_{22} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	41
3.29. f_{23} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.....	42
3.30. N_{max} değerinin belirlenmesi.....	43

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.31. f_1 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).....	45
3.32. f_1 boxplot (30-D).....	45
3.33. f_2 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).....	45
3.34. f_2 boxplot (30-D).....	47
3.35. f_8 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).....	47
3.36. f_8 boxplot (30-D).....	48
3.37. f_9 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).....	48
3.38. f_9 boxplot (30-D).....	48
3.39. f_{14} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (2-D).....	50
3.40. f_{14} boxplot (2-D).....	50
3.41. f_{15} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (4-D).....	50
3.42. f_{15} boxplot (4-D).....	51
3.43. IGSA-1’de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 -100. iterasyon).....	51
3.44. IGSA-1’de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 -101. iterasyon başlangıcı). ..	52
3.45. IGSA-1’de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 -101. iterasyon bitişi).....	52
3.46. IGSA-2’de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 -100. iterasyon).....	52
3.47. IGSA-2’de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 -101. iterasyon başlangıcı). ..	53
3.48. IGSA-2’de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 -101. iterasyon bitişi).....	53
3.49. IGSA-3’de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 -100. iterasyon).....	53
3.50. IGSA-3’de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 -101. iterasyon başlangıcı). ..	54
3.51. IGSA-3’de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 -101. iterasyon bitişi).....	54
3.52. f_1 fonksiyonu için eniyi bireyin iterasyonlara göre davranışı (IGSA-1).....	55
3.53. f_1 fonksiyonu için eniyi bireyin iterasyonlara göre davranışı (IGSA-2).....	55
3.54. f_1 fonksiyonu için eniyi bireyin iterasyonlara göre davranışı (IGSA-3).....	55
3.55. f_1 için 30 çalışma en iyi sonuçları (30-D).....	57
3.56. f_{12} için 30 çalışma en iyi sonuçları (30-D).....	57
3.57. f_{16} için 30 çalışma en iyi sonuçları (2-D).....	57
3.58. Genel parametre belirleme yöntemleri.....	60
4.1. Hidrolik üretim biriminin bileşenleri.....	64
4.2. Hidrolik olarak seri bağlı birimler.....	66
4.3. Hidrolik olarak paralel bağlı birimler.....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.4. Hidrolik olarak çoklu zincirleme bağlı birimler.....	67
4.5. Konveks ve konveks olmayan termik üretim birimlerine ait giriş-çıkış karakteristikleri.....	69
4.6. Sabit düşülü hidrolik üretim birimlerine ait giriş-çıkış eğrisi.....	70
4.7. Sabit düşülü hidrolik üretim birimlerine ait çıkış-giriş eğrisi.....	70
4.8. Değişken düşülü hidrolik üretim birimlerine ait çıkış-giriş eğrisi.....	71
5.1. 16 baralı örnek sisteme ait tek hat diyagramı.....	80
5.2. Örnek güç sisteminde hidrolik birimler arasındaki hidrolik ilişkiler.....	83
5.3. Uygunluk fonksiyonunun iterasyonlara göre değişimi.....	91
5.4. Toplam yakıt maliyeti değerlerinin iterasyonlara göre değişimi.....	91
5.5. İletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi.....	92
5.6. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerlerinin kutu grafikleri.....	92
5.7. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerleri.....	93
5.8. Hidrolik birimlerin her alt zaman dilimindeki deşarj su miktarları.....	94
5.9. Her alt zaman diliminde üretilen aktif güç değerleri.....	95
5.10. Hidrolik birimlerin rezervuar su hacimlerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.....	96
5.11. İşletim süresi sonunda hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan su miktarları.....	97
5.12. Hidrolik birimlerin işletim süresi sonu rezervuar su hacimlerinin iterasyonlara göre değişimi.....	98
5.13. En iyi çözümlere ait bara gerilim genliklerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.....	99
5.14. Uygunluk fonksiyonunun iterasyonlara göre değişimi.....	106
5.15. Toplam yakıt maliyeti değerlerinin iterasyonlara göre değişimi.....	107
5.16. İletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi.....	107
5.17. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerlerinin kutu grafikleri.....	108
5.18. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerleri.....	108
5.19. Hidrolik birimlerin her alt zaman dilimindeki deşarj su miktarları.....	109
5.20. Her alt zaman diliminde üretilen aktif güç değerleri.....	110
5.21. Hidrolik birimlerin rezervuar su hacimlerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.....	111

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.22. İşletim süresi sonunda hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan su miktarları.....	112
5.23. Hidrolik birimlerin işletim süresi sonu rezervuar su hacimlerinin iterasyonlara göre değişimi.....	113
5.24. En iyi çözümlere ait bara gerilim genliklerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.....	114
5.25. Örnek güç sistemindeki hidrolik birimler arasındaki hidrolik ilişkiler.....	116
5.26. Uygunluk fonksiyonunun iterasyonlara göre değişimi.....	119
5.27. Toplam yakıt maliyeti değerlerinin iterasyonlara göre değişimi.....	119
5.28. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30’ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerleri.....	120
5.29. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30’ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerlerinin kutu grafikleri.....	120
5.30. Hidrolik birimlerin her alt zaman dilimindeki deşarj su miktarları.....	132
5.31. Her alt zaman diliminde üretilen aktif güç değerleri.....	133
5.32. Hidrolik birimlerin rezervuar su hacimlerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.	134
5.33. İşletim süresi sonunda hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan su miktarları.....	135
5.34. Hidrolik birimlerin işletim süresi sonu rezervuar su hacimlerinin iterasyonlara göre değişimi.....	136
5.35. Uygunluk fonksiyonunun iterasyonlara göre değişimi.....	145
5.36. Toplam yakıt maliyeti değerlerinin iterasyonlara göre değişimi.....	145
5.37. İletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi.....	146
5.38. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30’ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerlerinin kutu grafikleri.....	146
5.39. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30’ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerleri.....	147
5.40. Hidrolik birimlerin her alt zaman dilimindeki deşarj su miktarları.....	148
5.41. Her alt zaman diliminde üretilen aktif güç değerleri.....	149
5.42. Hidrolik birimlerin rezervuar su hacimlerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.	150
5.43. İşletim süresi sonunda hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan su miktarları.....	151
5.44. Hidrolik birimlerin işletim süresi sonu rezervuar su hacimlerinin iterasyonlara göre değişimi.....	152
5.45. En iyi çözümlere ait bara gerilim genliklerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.....	153

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.46. Uygunluk fonksiyonunun iterasyonlara göre değişimi.....	160
5.47. Toplam yakıt maliyeti değerlerinin iterasyonlara göre değişimi.....	161
5.48. İletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi.....	161
5.49. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30’ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerlerinin kutu grafikleri.....	162
5.50. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30’ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerleri.....	162
5.51. Hidrolik birimlerin her alt zaman dilimindeki deşarj su miktarları.....	163
5.52. Her alt zaman diliminde üretilen aktif güç değerleri.....	164
5.53. Hidrolik birimlerin rezervuar su hacimlerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.	165
5.54. İşletim süresi sonunda hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan su miktarları.....	166
5.55. Hidrolik birimlerin işletim süresi sonu rezervuar su hacimlerinin iterasyonlara göre değişimi.....	167
5.56. En iyi çözümlere ait bara gerilim genliklerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.....	168

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
2.1. Sezgisel algoritmaların sınıflandırılması.....	6
2.1. Sezgisel algoritmaların sınıflandırılması (devam).....	7
2.1. Sezgisel algoritmaların sınıflandırılması (devam).....	8
2.1. Sezgisel algoritmaların sınıflandırılması (devam).....	9
2.1. Sezgisel algoritmaların sınıflandırılması (devam).....	10
2.2. Literatürde çözümü yapılan KDHTKP'lerinin özellikleri.....	14
2.2. Literatürde çözümü yapılan KDHTKP'lerinin özellikleri (devam).....	15
2.2. Literatürde çözümü yapılan KDHTKP'lerinin özellikleri (devam).....	16
2.2. Literatürde çözümü yapılan KDHTKP'lerinin özellikleri (devam).....	17
2.2. Literatürde çözümü yapılan KDHTKP'lerinin özellikleri (devam).....	18
3.1. Unimodal test fonksiyonları.....	28
3.2. Multimodal test fonksiyonları.....	28
3.3. Sabit boyutlu multimodal test fonksiyonları.....	29
3.4. $f_{14}(x)$ fonksiyonundaki a_{ij} katsayıları.....	29
3.5. $f_{15}(x)$ fonksiyonundaki a_i ve b_i katsayıları.....	29
3.6. $f_{19}(x)$ fonksiyonundaki a_{ij} , c_i ve P_{ij} katsayıları.....	30
3.7. $f_{20}(x)$ fonksiyonundaki a_{ij} , c_i ve P_{ij} katsayıları.....	30
3.8. $f_{21}(x)$, $f_{22}(x)$ ve $f_{23}(x)$ fonksiyonlarındaki a_{ij} ve c_i katsayıları.....	30
3.9. IGSA parametre değerleri.....	43
3.10. 30-D için elde edilen veriler (Çizelge 3.1 - 30 çalışma - 1000 iterasyon).....	44
3.11. 30-D için elde edilen veriler (Çizelge 3.2 - 30 çalışma - 1000 iterasyon).....	46
3.12. Sabit boyutlu fonksiyonlar için elde edilen veriler (Çizelge 3.3 - 30 çalışma - 500 iterasyon).....	49
3.13. 30-D için literatür karşılaştırması.....	56
3.14. $f_1 - f_{23}$ fonksiyonlarına ait 30 çalışma ve 30-D için elde edilen en iyi değerlerin Wilcoxon testleri.....	58
3.15. Çevrimdışı uyarılama için değişken değerleri.....	62
3.16. Çevrimdışı uyarılama için kullanılan parametre değerleri.....	62
5.1. Örnek sisteme ait her alt zaman dilimindeki pu aktif yük değerleri.....	80
5.2. Örnek sisteme ait her alt zaman dilimindeki pu reaktif yük değerleri.....	81
5.3. Örnek sistemdeki termik üretim birimlerine ait konveks yakıt maliyet fonksiyonu katsayıları ve aktif güç üretim sınırı değerleri.....	81

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.4. Örnek sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin saat başına deşarj su miktarı eğrilerine ait katsayılar ve aktif güç üretim sınır değerleri.....	81
5.5. Örnek sistemdeki iletim hatlarının nominal π eşdeğer devrelerine ait pu parametre değerleri.....	82
5.6. Örnek sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin rezervuar depolama sınır değerleri, rezervuarların başlangıç-bitiş su hacimleri, rezervuarlara saat başına giren su miktarları (r_{mj} (acre-ft) ve işletim süresi boyunca harcanması gereken toplam su miktarı değerleri (acre-ft).....	83
5.7. Örnek sistemdeki üretim birimlerine ait sabit pu reaktif güç üretim değerleri.....	84
5.8. Örnek problemin IGSA ve KDHTKP'e ait parametre değerleri.....	84
5.9. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen değerler.....	85
5.10. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=26).....	86
5.11. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=26).....	86
5.12. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=26).....	86
5.13. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=9).....	87
5.14. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=9).....	87
5.15. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=9).....	87
5.16. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=8).....	88
5.17. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=8).....	88
5.18. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=8).....	88
5.19. Hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarındaki son su değerlerinin sıfır hata ile sağlanması durumunda IGSA-1, 2 ve 3 için 6. alt zaman dilimindeki aktif güç ve TYM değerleri.....	90
5.20. Literatür karşılaştırması.....	90
5.21. Örnek sistemde termik üretim birimlerinin yakıt maliyet eğrilerindeki valf nokta etkisini gösteren ilave katsayılar.....	101
5.22. Örnek problemin IGSA ve KDHTKP'e ait parametre değerleri.....	101
5.23. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=23).....	102

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.24. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=23).....	102
5.25. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=23).....	102
5.26. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=16).....	103
5.27. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=16).....	103
5.28. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=16).....	103
5.29. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=10).....	104
5.30. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=10).....	104
5.31. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=10).....	104
5.32. Hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarındaki son su değerlerinin sıfır hata ile sağlanması durumunda IGSA-1, 2 ve 3 için 6. alt zaman dilimindeki aktif güç ve TYM değerleri.....	105
5.33. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen değerler.....	105
5.34. Örnek sistemdeki termik üretim birimine ait saat başına maliyet fonksiyonu katsayıları ve aktif güç üretim limitleri.....	116
5.35. Örnek sistemde her alt zaman dilimindeki aktif pu yük değerleri.....	117
5.36. Örnek sistemde değişken düşülü hidrolik üretim birimlerine ait saat başına deşarj edilen su miktarı eğrilerine ait katsayılar, su gecikmesi ve aktif güç üretim sınır değerleri.....	117
5.37. Hidrolik birimlerin rezervuarlarına giren su miktarları (r_{mj}) ($\times 10^4 m^3$).....	118
5.38. Örnek sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin rezervuar depolama sınırları, rezervuarların başlangıç ve bitiş su hacimleri ve deşarj su limitleri ($\times 10^4 m^3$).....	118
5.39. Örnek problemin IGSA ve KDHTKP'e ait parametre değerleri.....	118
5.40. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=6).....	121
5.41. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=6).....	122
5.42. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, aktif güç üretim değerleri (Run=6).....	123
5.43. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=15).....	124

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.44. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=15).....	125
5.45. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, aktif güç üretim değerleri (Run=15).....	126
5.46. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=6).....	127
5.47. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=6).....	128
5.48. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, aktif güç üretim değerleri (Run=6).....	129
5.49. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen değerler.....	130
5.50. Hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarındaki son su değerlerinin sıfır hata ile sağlanması durumunda IGSA-1, 2 ve 3 için 24. alt zaman dilimindeki aktif güç ve TYM değerleri.....	131
5.51. Literatür karşılaştırması.....	131
5.52. Örnek sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin denklem (4.16) ile verilen giriş-çıkış eğrilerine ait katsayılar ve aktif güç üretim sınır değerleri.....	138
5.53. Hidrolik birimlerin rezervuarlarına her alt zaman diliminde giren su miktarları (r_{mj}) ($\times 10^3$ acre-ft).....	138
5.54. Örnek sistemdeki üretim birimlerine ait sabit p_u reaktif güç üretim değerleri.....	139
5.55. Örnek sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin rezervuar depolama sınırları, rezervuarların başlangıç-bitiş su hacimleri ve deşarj su limitleri ($\times 10^3$ acre-ft).....	139
5.56. Örnek problemin IGSA ve KDHTKP'e ait parametre değerleri.....	140
5.57. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen değerler.....	140
5.58. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=30).....	141
5.59. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=30).....	141
5.60. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=30).....	141
5.61. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=30).....	142
5.62. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=30).....	142
5.63. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=30).....	142
5.64. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=25).....	143

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge	Sayfa
5.65. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=25).....	143
5.66. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=25).....	143
5.67. Hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarındaki son su değerlerinin sıfır hata ile sağlanması durumunda IGSA-1, 2 ve 3 için 6. alt zaman dilimindeki aktif güç ve TYM değerleri.....	144
5.68. Literatür karşılaştırması.....	144
5.69. Örnek sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin denklem (4.16) ile verilen giriş-çıkış eğrilerine ait katsayılar ve aktif güç üretim sınır değerleri.....	154
5.70. Hidrolik birimlerin rezervuarlarına saat başı giren su miktarları (r_{mj}) ($\times 10^4 m^3$).....	154
5.71. Örnek sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin rezervuar depolama sınırları, rezervuarların başlangıç-bitiş su hacimleri ve deşarj su limitleri ($\times 10^4 m^3$).....	155
5.72. Örnek problemin IGSA ve KDHTKP'e ait parametre değerleri.....	155
5.73. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=30).....	156
5.74. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=30).....	156
5.75. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=30).....	156
5.76. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=26).....	157
5.77. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=26).....	157
5.78. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=26).....	157
5.79. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=13).....	158
5.80. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=13).....	158
5.81. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=13).....	158
5.82. Hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarındaki son su değerlerinin sıfır hata ile sağlanması durumunda IGSA-1, 2 ve 3 için 6. alt zaman dilimindeki aktif güç ve TYM değerleri.....	159
5.83. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen değerler.....	160

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
HTKP	Hidrotermal koordinasyon problemi
KDHTKP	Kısa dönem hidrotermal koordinasyon problemi
STHCP	Short-term hydrothermal coordination problem
GSA	Yerçekimsel arama algoritması (Gravitational search algorithm)
ISL	Artırımlı sosyal öğrenme yapısı (Incremental social learning)
IGSA	Artırımlı yerçekimsel arama algoritması (Incremental gravitational search algorithm)
NI	Doğadan esinlenen (Nature inspired)
PMB	Fizik veya matematik tabanlı (Physics or mathematics based)
SSBI	Tek çözüm tabanlı veya iteratif (Single solution based or iterative)
EAs	Evrimsel algoritmalar ve stratejileri (Evolution algorithm or strategy)
SI	Sürü zekası tabanlı (Swarm intelligence)
PB	Popülasyon tabanlı (Population based)
B	B-kayıp matrisleri
YA	Yük akışı
İ	İhmal
SD	Sabit düşülü
DD	Değişken düşülü
K	Konveks
KO	Konveks olmayan
M_i, M_j	Noktasal kütle
F_i, F_j	Kuvvet
R_{ij}	Mesafe
G	Yerçekimi sabiti
S	Arama uzayı
N	Ajan sayısı
D, d, dim	Boyut
q	Bağıl kütle
fit	Uygunluk değeri
ε	Tanımsızlık katsayısı
G_0	Yerçekimi sabiti başlangıç değeri

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
α	Sabit katsayı
T	Bitiş iterasyon sayısı
$a(t)$	İvme
$v(t)$	Hız
$x(t)$	Konum
$rand_i, rand_j$	(0,1) aralığında rastgele seçilmiş iki sayı
$x'_{g,yeni}(t)$	g . iterasyonda popülasyona yeni eklenen ajan
$x_{g,eniye}(t)$	g . iterasyonda popülasyondaki eniyi ajan
$x_{g,seçilen}(t)$	g . iterasyonda popülasyondan rastgele seçilen bir ajan
$x_{g,yeni}(t)$	g . iterasyonda rastgele oluşturulan bir ajan
$fCall$	Fonksiyon çağırımı sayısı
SS	Adım sayısı
N_{min}	Minimum ajan sayısı
N_{max}	Maksimum ajan sayısı
N_T	Termik üretim birimlerinin kümesi
N_H	Hidrolik üretim birimlerinin kümesi
j	Alt zaman dilimi (periyot) sayısı
t_j	j . alt zaman diliminin saat olarak uzunluğu
$P_{yük,j}$	j . alt zaman diliminde sistemdeki toplam aktif yük değeri
$Q_{yük,j}$	j . alt zaman diliminde sistemdeki toplam reaktif yük değeri
$P_{kayıp,j}$	j . alt zaman diliminde sistemdeki toplam aktif kayıp değeri
$Q_{kayıp,j}$	j . alt zaman diliminde sistemdeki toplam reaktif kayıp değeri
$P_{GT,nj}$	n . termik üretim biriminin j . alt zaman dilimindeki aktif güç üretimi
$P_{GH,mj}$	m . hidrolik üretim biriminin j . alt zaman dilimindeki aktif güç üretimi
$Q_{GT,nj}$	n . termik üretim biriminin j . alt zaman dilimindeki reaktif güç üretimi
$Q_{GH,mj}$	m . hidrolik üretim biriminin j . alt zaman dilimindeki reaktif güç üretimi
$P_{GT,n}^{min}, P_{GT,n}^{max}$	n . termik üretim birimine ait alt ve üst aktif güç üretim sınırları

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
$P_{GH,m}^{min}, P_{GH,m}^{max}$	m . hidrolik üretim birimine ait alt ve üst aktif güç üretim sınırları
$Q_{GT,n}^{min}, Q_{GT,n}^{max}$	n . termik üretim birimine ait alt ve üst reaktif güç üretim sınırları
$Q_{GH,m}^{min}, Q_{GH,m}^{max}$	m . hidrolik üretim birimine ait alt ve üst reaktif güç üretim sınırları
TYM	Toplam yakıt maliyeti
$F_n(P_{GT,n})$	Saat başına yakıt maliyeti fonksiyonu
a_n, b_n, c_n	Konveks maliyet eğrisi katsayıları
e_n, f_n	Konveks olmayan maliyet eğrisi katsayıları
$d_{1,m}, d_{2,m}, d_{3,m}, d_{4,m}, d_{5,m}$	Hidrolik üretim birimlerinin saat başına deşarj su miktarı eğrilerine ait katsayılar
$C_{1,m}, C_{2,m}, C_{3,m}, C_{4,m}, C_{5,m}, C_{6,m}$	m . değişken düşülü hidrolik üretim birimine ait çıkış gücü fonksiyonunun sabitleri
$q_{mj}(P_{GH,mj})$	m . hidrolik birimin j . zaman diliminde, aktif güç üretimi $P_{GH,mj}$ iken, saat başına deşarj su miktarı
$rand(0,1)$	0-1 aralığında seçilen rastgele sayı
r_{mj}	j . alt zaman diliminde m . hidrolik birimin rezervuarına saat başına giren su miktarı
V_{mj}	j . alt zaman dilimi sonunda m . hidrolik birimin rezervuarında bulunan su miktarı
q_m^{min}, q_m^{max}	m . hidrolik birimin saat başına deşarj su miktarına ait alt ve üst sınırlar
V_m^{min}, V_m^{max}	m . hidrolik birimin rezervuarına ait alt ve üst depolama sınırları
$q_{toplaml,m}$	m . hidrolik birimin öngörülen işletim süresi boyunca harcaması gereken toplam deşarj su miktarı
$V_{m0}, V_m^{baş}$	m . hidrolik birimin rezervuarındaki başlangıç su miktarı
$V_{mj_{max}}, V_m^{son}$	Öngörülen işletim süresi sonunda m . hidrolik birimin rezervuarında kalması gereken su miktarı
f	Uygunluk fonksiyonu
TCF	Toplam ceza fonksiyonu
CF_{sal}	Salınım barası ceza fonksiyonu

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
KCF_{sal}	Salınım barası ceza katsayısı
CF_{V_m}	Hidrolik birimlerin rezervuarlarında depolanan su miktarı ceza fonksiyonu
KCF_{V_m}	Hidrolik birimlerin rezervuarlarında depolanan su miktarı ceza katsayısı
$CF_{V_{son}}$	Hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan su miktarı ceza fonksiyonu
$KCF_{V_{son}}$	Hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan su miktarı ceza katsayısı
$Tol_{V_{son}}$	Hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan su miktarı tolerans değeri
V_m^{son-}	Hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan toleranslı su miktarı alt sınırı
V_m^{son+}	Hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan toleranslı su miktarı üst sınırı
$CF_{P_{GH}}$	Değişken düşülü hidrolik birimlerde üretilen aktif güç ceza fonksiyonu
$KCF_{P_{GH}}$	Değişken düşülü hidrolik birimlerde üretilen aktif güç ceza katsayısı
Run	Problemlerin aynı şartlar altındaki çözüm sayısı (Algoritma koşturma)
Boxplot	Kutu grafikleri
Periyot	Alt zaman dilimi (j)

1. GİRİŞ

Her geçen gün büyüyen ve gelişen dünyadaki nüfus artışı ve sanayileşmenin yanında, hızlı teknolojik gelişmeler nedeniyle elektrik enerjisine olan talep hızla artmaktadır. Bu talep, gelişmekte olan bir ülkenin ekonomik ve sosyal olarak kalkınmasının başlıca göstergelerinden biridir. Elektrik enerjisinin tüketim oranıyla, toplumların sosyal kalkınma ve gelişmişlik düzeyleri arasında doğrusal bir ilişki vardır. Günümüzde ülkelerin ve dolayısıyla toplumların gelişimi için bu derece önemli olan elektrik enerjisinin, yerel kaynaklarla ve dışa bağımlı olmadan üretilmesi çok büyük öneme sahiptir (Koç ve Şenel, 2013).

Elektrik enerjisi üretiminin bu derece önemli olmasından dolayı, güç üretim sistemlerinin verimli ve ekonomik olarak işletimi problemi elektrik mühendisliğinde önemli bir yer tutmaktadır. Gün geçtikçe, elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yakıtın üretim maliyetleri üzerinde önemli bir miktara ulaşması ve kullanılan fosil kaynaklı yakıtların tükenebilir olması, elektrik üretimi yapan şirketleri yakıtı daha verimli kullanmaya ya da yenilenebilir kaynaklarla daha fazla üretim yapmaya sevk etmiştir. Enerji üretiminde temel amaç, talep edilen elektrik enerjisi ihtiyacını mümkün olan en düşük maliyetle, kaliteli ve kesintisiz olarak karşılamaktır (Wood vd., 2013).

Ekonomik yük dağıtımı, sistem kısıtlarına bağlı olarak talep edilen gücü karşılarken, minimum yakıt maliyetiyle üretim planı yapmaktır. Klasik problem, fosil kaynaklı (termik) ve tükenebilir yakıt kullanan üretim birimlerinin minimum maliyetini veren güç üretim değerlerinin bulunmasıdır. Aynı zamanda ekonomik yük dağıtım kavramı, işletim maliyetini minimize etmek için değişik yakıt çeşitlerinin kullanılmasını da kapsamaktadır (Wood vd., 2013).

Enerji üretim sistemlerinde fosil yakıt kullanan termik üretim birimlerinin yanısıra ham enerji kaynağı kısıtlı termik birimler (doğalgaz vb.), nükleer ve yakıt maliyeti olmayan hidrolik üretim birimleri de bulunmaktadır. Bu birimlerin bulunduğu sistemlerin belirli bir periyodik dönem boyunca ekonomik olarak işletimi, sadece termik birimlerden oluşan sistemlere göre daha zor ve karmaşıktır. Çünkü hidrolik üretim birimleri bulunan sistemlerde sağlanması gereken elektriksel kısıtların yanında hidrolik kısıtlarda yer almaktadır. Bu tür problemlere hidrotermal koordinasyon problemleri (HTKP) denilmektedir. HTKP karmaşık bir mühendislik optimizasyon problemidir. Hidrolik birimlerin elektrik üretimi için öncelikle rezervuarlarına giren su, deşarj edilen su ve rezervuarlarında depolanan su miktarı gibi değişkenler problemin çözümü sırasında göz önüne alınmalıdır. Hidrolik sistemler birbirlerinin benzerleri değildir. Bunun nedenleri hidrolik birimlerin üzerinde bulunduğu farklı su akışları, rezervuarlarının büyüklükleri ve yapı farklılıkları şeklinde açıklanabilir. Aynı nehir üzerinde bir hidrolik birimden güç üretimi için

deşarj edilen su, seri bağlı diğer bir hidrolik birimin rezervuarına su girişi olarak alınır. Bütün bu kısıtlar göz önünde bulundurulduğunda hidrolik üretim birimleri içeren sistemlerin işletimi, çözümü büyük öneme sahip bir problem haline gelmektedir (Wood vd., 2013; Özyön, 2009; Yaşar, 1999).

HTKP'lerin çözümünde işletim süresinin bir günden bir haftaya kadar ele alındığı problemlere kısa dönem hidrotermal koordinasyon problemleri (KDHTKP) denilmektedir. KDHTKP işletim süresince sistemdeki yük profilinin ve bu yükleri besleyecek olan üretim birimlerinin bilindiği ve ele alınan işletim süresi (zaman dilimi), alt zaman dilimlerine (periyot) bölünerek her bir zaman diliminde yüklerin sabit kaldığı kabul edilen problemidir. Bu problemin çözümü, öngörülen işletim süresi boyunca sistemin olası termik ve hidrolik kısıtlarının sağlandığı, toplam yakıt maliyetini minimum yapan, tüm üretim birimlerinin aktif güç üretim değerlerinin bulunması şeklindedir (Wood vd., 2013; Özyön, 2009).

KDHTKP ile ilgili literatürdeki çalışmalara bakıldığında ise sabit ve değişken düşülü olmak üzere iki farklı problem yapısı göze çarpmaktadır. Sabit düşülü KDHTKP'de hidrolik birimlerin işletim süreleri boyunca rezervuarlarındaki su miktarının çok fazla değişmediği kabul edilmektedir. Yani, rezervuarları çok büyük oldukları için bu tür problemlerin çözümünde net düşü değişiminin üretilen aktif güç üzerindeki etkisi ihmal edilmektedir. Buna karşılık değişken düşülü KDHTKP'de ise, rezervuarları küçük oldukları için net düşünün üretilen aktif güç üzerinde etkisi dikkate alınmaktadır (Orero ve Irving, 1988, Kothari ve Dhillon, 2007). Sabit ve değişken düşülü KDHTKP'nin çözümleri arasındaki en temel fark budur.

Günümüzde KDHTKP gibi karmaşık ve nümerik yöntemlerle çözümü zor olan problemlerin çözümünde sezgisel algoritmalar sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun nedeni, büyük arama uzaylarına sahip çok boyutlu problemlerin nümerik yöntemlerle çözümlerinin çok daha uzun süreler almasıdır. Son yıllarda bu tür problemlerin daha hızlı çözümüne yönelik birçok sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritmalar başlıcaları tezin ikinci bölümünde açıklanmıştır. Sezgisel algoritmalar yapıları gereği iyileştirilmeye ve geliştirilmeye açık algoritma tipleridir. Bu çalışmadaki temel amaçlardan biride sezgisel bir algoritmanın iyileştirilmesidir (Özyön vd., 2018).

Son yıllarda geliştirilen birçok sezgisel algoritma literatürde kendine yer bulmakta zorlanmaktadır. Farklı bilim dallarında birçok karmaşık problemin çözümünde kullanılan, güçlü ve kararlı yapıda olan sezgisel algoritmalar mevcuttur. Bu çalışmada daha önce farklı ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanan ve başarılı sonuçlar elde edilen, literatürde kendine sağlam bir yer edinmiş ve birçok uygulama ve mühendislik probleminin çözümüne başarıyla uygulanmış

yerçekimsel arama algoritmasının (gravitational search algorithm-GSA), geliştirilmek üzere seçilmesi tercih edilmiştir. Literatürde algoritmaların iyileştirilmesine yönelik birçok değişik yöntem vardır. Bu yöntemler zıt konumluluk kavramının algoritmaya eklenmesi, kaotik yapıli algoritmalar ve artırımıli sosyal öğrenme kavramının algoritmaya entegre edilmesi şeklinde sayılabilir (Özyön vd., 2018). GSA'nın farklı şekillerde geliştirildiğı çalışmaları mevcut olmasına rağmen bu çalışmada literatürdeki yaklaşımlardan farklı olarak artırımıli sosyal öğrenme yapısı (incremental social learning - ISL), iyileştirme metodu olarak seçilmesi tercih edilmiş ve GSA'ya ilk kez uygulanmıştır.

Çalışmada GSA'ya, ISL üç farklı şekilde entegre edilerek iyileştirilmiş ve artırımıli yerçekimsel arama algoritmaları (incremental gravitational search algorithms - IGSA-1, IGSA-2, IGSA-3) geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yeni algoritmalar ile 23 adet test fonksiyonunun optimizasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve grafiklerle daha iyi ve kararlı yapıdaki algoritma çeşidi belirlenmiştir. Sonra bu algoritmalar için en uygun parametre değerlerinin belirlenebilmesi için çevrimdışı parametre uyarlaması yapılmıştır. Bu algoritmalar ve belirlenen parametre değerleri ile aşağıda tanımlanan dört farklı KDHTKP'nin çözümleri yapılmış ve elde edilen sonuçları tartışılmıştır.

Bu çalışmada IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlü yapılan KDHTKP'ler aşağıda verilmiştir.

1. İletim hattı kayıplı, konveks yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren sabit düşülü KDHTKP.
2. İletim hattı kayıplı, konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren sabit düşülü KDHTKP.
3. İletim hattı kayıpları ihmal edilen, konveks yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren değişken düşülü KDHTKP.
4. İletim hattı kayıplı, konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren değişken düşülü KDHTKP.

Sabit ve değişken düşülü KDHTKP'nin geliştirilen IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerinin yapıldığı bu tez çalışmasının bundan sonraki kısımları beş bölüm şeklinde düzenlenmiştir. İkinci bölümde sezgisel algoritmalar, geliştirme yöntemleri ve KDHTKP'leri ile ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalar incelenmiş ve bir literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde problemlerin çözümünde kullanılan GSA'nın yapısı ve matematiksel ifadeleri verilmiştir. Sonra ISL yapısı ve geliştirilen IGSA-1, 2 ve 3'ün tanımları yapılmıştır. Ayrıntılı olarak 23 adet test fonksiyonu tanımlanmış ve IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümleri yapılmış, elde edilen sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Ayrıca IGSA-1, 2 ve 3'ün KDHTKP'lere uygulanmadan önce

parametrelerinin çevrimdışı parametre uyarlama yöntemi ile değerleri belirlenmiştir. Dördüncü bölümde KDHTKP'lerinin tanımları yapılmış, olası termik ve hidrolik kısıtları, problemlerin çözümünde kullanılan ceza fonksiyonları matematiksel olarak tanımlanmış ve açıklamaları yapılmıştır. Beşinci bölümde dört farklı KDHTKP'nin sayısal çözümleri yapılarak, elde edilen sonuçların literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç bölümünde ise elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve sonraki araştırmalar için yapılabilecek çalışmalar önerilmiştir.



2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde tez çalışmasında ele alınan üç temel konu üzerine literatür taraması yapılmıştır. Bu konular sezgisel algoritmalar, sezgisel algoritmaların iyileştirilmesi, farklı yapıdaki KDHTKP'lerinin çözümleri ve çözüm için uygulanan yöntemlerdir.

Literatürdeki algoritmalarla ilgili yapılan araştırmalarda, geliştirilen sezgisel algoritmaların kendilerine önemli bir yer edindikleri görülmüştür. Sezgisel algoritmaların temellerinde doğada yaşayan canlıların en kısa yoldan yiyecek kaynaklarına ulaşabilme içgüdüleri yatmaktadır. Bu tür algoritmalar yapıları gereği iyileştirilmeye ve geliştirilmeye açık algoritma tipleridir. Bu gruptaki algoritmalar farklı araştırmacılar tarafından bazı yapılar ilave edilerek performanslarının iyileştirildiğine literatürde sıklıkla rastlanmaktadır (Özyön vd., 2018).

Bu çalışmada iyileştirilmek üzere seçilen GSA, temelinde Newton'un yerçekimi ve hareket yasalarının yer aldığı bir algoritma olup Rashedi ve arkadaşları tarafından 2009 yılında geliştirilmiştir. Araştırmacılar çalışmalarında yerçekimi ve hareket kanunu denklemlerinin bilgisayarda benzetimini yaparak, ajan adını verdikleri kütlelerle ilk popülasyonu oluşturmuşlardır. Popülasyonda yer alan her ajanın çözüme yakınlığı oranında daha büyük kütleyle sahip olacağını ve eniyi çözüme uzak ve nisbeten daha küçük kütleyle sahip diğer ajanları kendine doğru çekeceğini varsaymışlardır. Dolayısıyla çözüm uzayında oluşturulan bütün ajanlar birbirine bir kuvvet uygularken, eniyi çözüme daha yakın olan ajan, diğer ajanlara daha büyük çekme kuvveti uygulayarak bütün ajanları eniyi çözüme yaklaştırmaktadır. GSA, fizik yasalarından esinlenen popülasyon tabanlı bir algoritma olarak tanımlanmıştır. Yazarlar çalışmada algoritmanın matematiksel tanımlarını yaptıktan sonra, GSA'yı 23 adet test fonksiyonuna uygulamış ve gerçek kodlu genetik algoritma (real-coded genetic algorithm - RCGA) ve parçacık sürü optimizasyonu (particle swarm optimization - PSO) algoritmalarıyla elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır (Rashedi, 2009).

GSA dışında çeşitli fiziksel ve matematiksel işlemlerin benzetimlerinin yapılmasıyla birçok sezgisel algoritma geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Yapılan literatür taramaları sonucunda sezgisel algoritmalar doğadan esinlenen (nature inspired - NI), fizik veya matematik tabanlı (physics or mathematics-based - PMB), tek çözüm tabanlı veya iteratif (single solution based or iterative - SSBI), evrimsel algoritmalar veya stratejileri (evolution algorithm or strategy - EAs), sürü zekası tabanlı (swarm intelligence - SI) ve popülasyon tabanlı (population based - PB) gibi özelliklerine göre sınıflandırılarak, liste halinde bu çalışma için oluşturulan Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Sezgisel algoritmaların sınıflandırılması.

Sezgisel Algoritmalar	NI	PMB	SSBI	EAs	SI	PB
Ağaç kökü optimizasyonu (Root tree optimization-RTO) (Labbi vd., 2016)	√	-	-	-	-	√
Ağaç-tohum algoritması (Tree-seed algorithm-TSA) (Kiran, 2015)	√	-	-	-	-	√
Armoni arama algoritması (Harmony search-HS) (Geem vd., 2001)	-	-	-	-	-	√
Aslan optimizasyon algoritması (Lion optimization algorithm-LOA) (Yazdani ve Jolai, 2016)	√	-	-	-	√	√
Ateş böceği algoritması (Firefly algorithm -FA) (Yang, 2008)	√	-	-	-	√	√
Av-avcı algoritması (Prey-predator algorithm -PPA) (Tilahun ve Ong, 2014)	√	-	-	-	-	√
Bakteri yiyecek arama optimizasyon algoritması (Bacterial foraging optimisation algorithm-BFO) (Das vd., 2009)	√	-	-	-	√	√
Bal arısı çiftleşme optimizasyonu (Honey bee mating optimization-HBMO) (Haddad vd., 2006)	√	-	-	√	√	√
Balina optimizasyonu algoritması (Whale optimization algorithm-WOA) (Mirjalili ve Lewis, 2016)	√	-	-	-	√	√
Benzetim tavlama (Simulated annealing-SA) (Kirkpatrick vd., 1983)	-	√	√	-	-	-
Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon (Biogeography-based optimization-BBO) (Simon, 2008)	√	-	-	√	-	√
Bozkurt optimizasyonu (Grey wolf optimizer-GWO) (Mirjalili vd., 2014)	√	-	-	-	√	√
Böbrek algoritması (Kidney-inspired algorithm-KA) (Jaddi vd., 2017)	√	-	-	-	-	√
Büyük patlama-büyük çöküş metodu (Big bang-big crunch method-BB-BC) (Erol ve Eksin, 2006)	-	√	-	-	-	√
Çaprazlama optimizasyon algoritması (Crisscross optimization algorithm-CSO) (Meng vd., 2014)	√	-	-	√	-	√
Çarpışan cisimler optimizasyonu (Colliding bodies optimization-CBO) (Kaveh ve Mahdavi, 2014)	-	√	-	-	-	√
Çekirge arama algoritması (Locust search-LS) (Cuevas vd., 2015)	√	-	-	-	√	√
Çekirge optimizasyonu algoritması (Grasshopper optimisation algorithm-GOA) (Saremi vd., 2017)	√	-	-	√	√	√

Çizelge 2.1. Sezgisel algoritmaların sınıflandırılması (devam).

Sezgisel Algoritmalar	NI	PMB	SSBI	EAs	SI	PB
Çiçek tozlaşma algoritması (Flower pollination algorithm-FPA) (Yang, 2009; Yang vd., 2014)	√	-	-	-	-	√
Çift sezgisel programlama (Dual heuristic programming-DHP) (Zhang vd., 2014)	-	√	√	-	-	-
Çoklu evren optimizasyonu (Multi-verse optimizer-MVO) (Mirjalili vd., 2016)	√	-	-	-	-	√
Desen arama (Pattern search-PS) (Hooke ve Jeeves, 1961)	-	√	√	-	-	-
Diferansiyel gelişim (Differential evolution-DE) (Storn ve Price, 1997)	√	-	-	√	-	√
Döviz piyasası algoritması (Exchange market algorithm-EMA) (Ghorbani ve Babaei, 2014)	-	√	-	√	-	√
Elektromanyetik alan optimizasyonu (Electromagnetic field optimization-EFO) (Abedinpourshotorban vd., 2016)	-	√	-	-	-	√
Elektromanyetizma benzeri algoritma (Electromagnetism-like-EM) (Birbil ve Fang, 2003)	-	√	-	-	-	√
Fil sürüşü optimizasyonu (Elephant herding optimization-EHO) (Wang vd.,)	√	-	-	-	√	√
Galaksi tabanlı arama algoritması (Galaxy-based search algorithm-GbSA) (Hosseini, 2011)	-	√	-	-	-	√
Galaktik sürü optimizasyonu (Galactic swarm optimization-GSO) (Muthiah-nakarajan ve Noel, 2016)	-	√	-	-	-	√
Geçen taşıt arama (Passing vehicle search-PVS) (Savsani ve Savsani, 2016)	-	-	-	-	-	√
Genetik algoritma (Genetic algorithm-GA) (Goldberg, 1989)	√	-	-	√	-	√
Girdap arama algoritması (Vortex search algorithm-VS) (Doğan ve Ölmez, 2015).	-	√	-	-	-	√
Grup arama optimizasyonu (Group search optimizer-GSO) (He vd., 2006; 2009)	√	-	-	-	√	√
Grup danışmanlığı optimizasyonu (Group counseling optimization-GCO) (Eita ve Fahmy, 2014)	√	-	-	-	√	√
Guguk kuşu optimizasyon algoritması (Cuckoo optimization algorithm-COA) (Rajabioun, 2011)	√	-	-	√	√	√
Güve arama algoritması (Moth search algorithm-MS) (Wang, 2016)	√	-	-	√	√	√

Çizelge 2.1. Sezgisel algoritmaların sınıflandırılması (devam).

Sezgisel Algoritmalar	NI	PMB	SSBI	EAs	SI	PB
Güve-ateş optimizasyonu (Moth-flame optimization-MFO) (Mirjalili, 2015)	√	-	-	-	√	√
Hayvan göç optimizasyonu (Animal migration optimization-AMO) (Li vd., 2014)	√	-	-	√	√	√
Hükümdar kelebek optimizasyonu (Monarch butterfly optimization-MBO) (Wang vd., 2015)	√	-	-	√	√	√
İnvazif tümör büyümesi optimizasyonu (Invasive tumor growth optimization-ITGO) (Tang vd., 2015)	√	-	-	√	-	√
Jaya algoritması (Jaya algorithm-JAYA) (Rao, 2016)	-	-	-	√	-	√
Kara delik algoritması (Black hole algorithm-BH) (Hatamlou, 2013)	-	√	-	-	-	√
Karga arama algoritması (Crow search algorithm-CSA) (Askarzadeh, 2016)	√	-	-	-	√	√
Karınca aslanı optimizasyonu (Ant lion optimizer-ALO) (Mirjalili, 2015)	√	-	-	-	√	√
Karınca kolonisi optimizasyonu (Ant colony optimization-ACO) (Dorigo ve Stützle, 2002)	√	-	-	-	√	√
Kedi sürüsü optimizasyonu (Cat Swarm Optimization-CSO) (Chu vd., 2006)	√	-	-	-	√	√
Kendini organize eden göç algoritması (Self-organizing migrating algorithm-SOMA) (Zelinka ve Lampinen, 2000; Zelinka, 2004)	√	-	-	√	√	√
Kimyasal reaksiyon optimizasyonu (Chemical reaction optimization-CRO) (Lam ve Li, 2010; Siddique ve Adeli, 2017)	√	√	-	-	-	√
Krill sürüsü algoritması (Krill herd algorithm-KH) (Gandomi ve Alavi, 2012)	√	-	-	-	√	√
Lig şampiyonluğu algoritması (League championship algorithm-LCA) (Kashan, 2014)	-	-	-	-	-	√
Mayın patlama algoritması (Mine blast algorithm-MBA) (Sadollah vd., 2013)	-	√	-	-	-	√
Merkezi kuvvet optimizasyonu (Central force optimization-CFO) (Formato, 2007)	-	√	-	√	-	√
Meyve sineği optimizasyon algoritması (Fruit fly optimization algorithm-FOA) (Pan, 2011)	√	-	-	-	√	√
Optik ilham optimizasyonu (Optics inspired optimization-OIO) (Kashan, 2015a; 2015b)	-	√	-	-	-	√

Çizelge 2.1. Sezgisel algoritmaların sınıflandırılması (devam).

Sezgisel Algoritmalar	NI	PMB	SSBI	EAs	SI	PB
Parçacık çarpışma algoritması (Particle collision algorithm-PCO) (Sacco vd., 2013)	-	√	-	-	-	√
Parçacık sürü optimizasyonu (Particle swarm optimization-PSO) (Kennedy ve Eberhart, 1995)	√	-	-	-	√	√
Radyal hareket optimizasyonu (Radial movement optimization-RMO) (Rahmani ve Yusof, 2014)	√	-	-	-	-	√
Rastgele arama (Random search-RS) (Bergstra ve Bengio, 2012)	-	√	√	-	-	-
Salp sürüsü algoritması (Salp Swarm Algorithm-SSA) (Mirjalili vd., 2017)	√	-	-	-	√	√
Sıçrayan kurbağa algoritması (Shuffle frog leaping algorithm-SFLA) (Eusuff vd., 2006)	√	-	-	√	-	√
Simbiyotik organizmalar arama (Symbiotic organisms search-SOS) (Cheng ve Prayogo, 2014)	√	-	-	-	√	√
Sinerjik avcı-av optimizasyonu (Synergic predator-prey optimization-SPPO) (Singh vd., 2016)	√	-	-	-	-	√
Sinüs-kosinüs algoritması (A sine cosine algorithm-SCA) (Mirjalili, 2016)	-	√	-	-	-	√
Solucan optimizasyonu algoritması (Earthworm optimisation algorithm-EWA) (Wang vd., 2015)	√	-	-	√	√	√
Sosyal örümcek algoritması (Social spider algorithm-SSA) (Yu ve Li, 2015)	√	-	-	-	√	√
Su buharlaşma optimizasyonu (Water evaporation optimization-WEO) (Kaveh ve Bakhshpoori, 2016)	-	√	-	-	-	√
Su dalgası optimizasyonu (Water-wave optimization-WWO) (Zheng, 2015)	-	√	-	-	-	√
Tabu arama (Tabu search-TS) (Glover, 1986)	-	√	√	-	-	-
Termal değişim optimizasyonu (Thermal exchange optimization-TEO) (Kaveh ve Das, 2017)	-	√	-	-	-	√
Toplu karar optimizasyonu algoritması (Collective decision optimization algorithm-CDOA) (Zhang vd., 2017)	√	-	-	√	-	√
Uyarlamalı dinamik programlama (Adaptive dynamic programming-ADP) (Murray vd., 2012)	-	√	√	-	-	-

Çizelge 2.1. Sezgisel algoritmaların sınıflandırılması (devam).

Sezgisel Algoritmalar	NI	PMB	SSBI	EAs	SI	PB
Uygar sürü optimizasyonu (Civilized swarm optimization-CSO) (Selvakumar ve Thanushkodi, 2009)	√	-	-	-	-	√
Virülans optimizasyon algoritması (Virulence optimization algorithm-VOA) (Jaderyan ve Khotanlou, 2016)	√	-	-	√	-	√
Virüs koloni araması (Virus colony search-VCS) (Li vd., 2016)	√	-	-	-	√	√
Yapay arı kolonisi (Artificial bee colony-ABC) (Karaboğa ve Baştürk, 2007)	√	-	-	-	√	√
Yapay bağışıklık sistemi algoritması (Artificial immune system algorithm-AIS) (Castro ve Timmis, 2002)	√	-	-	√	-	√
Yapay fizik optimizasyonu (Artificial physics optimization-APO) (Xie vd., 2009)	-	√	-	-	-	√
Yapay yağmur damlası algoritması (Artificial raindrop algorithm-ARA) (Jiang vd., 2014)	√	-	-	-	-	√
Yarasa algoritması (Bat algorithm-BA) (Yang, 2010; Yang ve Gandomi, 2011)	√	-	-	-	√	√
Yerçekimsel arama algoritması (Gravitational search algorithm-GSA) (Rashedi vd., 2009)	-	√	-	-	-	√
Lightning attachment procedure optimization (Yıldırım bağlanma prosedürü optimizasyonu-LAPO) (Nematollahi vd., 2017)	√	-	-	-	-	√
Yin-yang çift optimizasyonu (Yin-Yang pair optimization-YYPO) (Punnathanam ve Kotecha, 2016)	-	-	√	-	-	-
Yusufçuk algoritması (Dragonfly Algorithm-DA) (Mirjalili, 2015)	√	-	-	-	√	√
Yüklü sistem arama (Charged system search-CSS) (Kaveh ve Talatahari, 2010)	-	√	-	-	-	√

Çizelgeden literatürde 84 adet algoritmanın incelendiği görülmektedir. Bu algoritmaların yaklaşık %92’lik kısmı popülasyon tabanlı, %63’lük kısmı doğadan esinlenilmiş ve %30’luk kısmı ise fizik ve matematik yasalarından türetilmiştir. Algoritmaların sürü zekası özelliğine sahip olma oranı ise %38 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2.1’de yer alan sezgisel algoritmalar geliştirilmeye açık algoritmalar olduklarından literatürde bu algoritmalarla yönelik birçok farklı iyileştirme metodu öneren

çalışmalara rastlanmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları; algoritmaya zıt konumluluk kavramının eklenmesi, kaotik haritalama metotlarının yöntem ile birlikte kullanılması ve artırımı sosyal öğrenme (incremental social learning - ISL) yapısının yöntemle entegre eklenmesi şeklindedir. Bu yöntemlere ek olarak çeşitli parametre belirleme yöntemlerinin algoritma ile birlikte kullanılması ve birden çok algoritmanın birlikte kullanılarak oluşturulan hibrit yapılarda literatürde kullanılan iyileştirme yöntemleri olarak sayılabilir.

GSA'nın literatürde birçok farklı iyileştirilmiş yapısı yayınlanmıştır. Bunlardan bazıları ikilik (binary) kodlamalı GSA (BGSA) (Rashedi vd., 2010), uyarlamalı GSA (GGSA) (Precup vd., 2012), geliştirilmiş GSA (IGSA) (Li ve Zhou, 2011), modifiye edilmiş GSA (MGSA) (Sheikhan ve Jadidi, 2014), kaotik haritalama metotlarıyla geliştirilen GSA yapıları (GSA-CM, CGSA, GSA-SVM) (Özyön vd., 2016; Li vd., 2012; Li vd., 2015), uyarlamalı eniyi rehberli GSA (GGSA) (Mirjalili ve Lewis, 2014), ayrıık GSA (DGSA) (Dowlatshahi vd., 2014), dalgacık mutasyonlu GSA (GSAWM) (Chatterjee vd., 2012), bulanık GSA (FGSA) (Zahiri, 2012), bozulma tabanlı GSA (DGSA) (Gouthamkumar vd., 2015), dominant olmayan sıralamalı ve kaotik mutasyonlu GSA (NSGSA-CM) (Tian vd., 2014), zıt konumlu GSA (OGSA, ObGSA) (Özyön vd., 2015; Temurtaş vd., 2017) ve artırımı GSA (IGSA) (Özyön vd., 2018) şeklinde belirtilebilir. Ayrıca GSA'nın diğerk sezgisel algoritmalarla birlikte kullanılarak hibrit olarak geliştirilen yapıları; parçacık sürü optimizasyon algoritmasıyla (PSOGSA), ortogonal çaprazlama metoduyla (GSA-OC), biyocoğrafiya tabanlı optimizasyon metoduyla (GSA-BBO) (Mallick vd., 2013; Khatibinia ve Khosravi, 2014; Goel vd., 2016; Siddique ve Adeli, 2016) şeklinde sıralanabilir.

Montes de Oca ve Stützle tarafından ISL yapısının sezgisel algoritmalara eklenmesi 2008 yılında ortaya atılmıştır. ISL çoklu olarak öğrenen ajan sistemlerinde, sisteme zamanla yeni ajanların eklenmesi temeline dayanmaktadır. Bu yapıya sahip algoritma çözüm arama uzayında az sayıda birey sayısı ile aramaya başlar, daha sonraki adımlarda popölasyona mevcut bireylerle iletişime geçen yeni ajanlar ekleyerek aramaya devam eder (Montes de Oca ve Stützle, 2008). Yapılan literatür taramasında üç adet sezgisel algoritmanın ISL ile iyileştirildiğine rastlanmıştır. Bunlar PSO (Montes de Oca vd., 2011a; 2011b), ACO (Liao vd., 2011) ve ABC (Aydın vd., 2011; Özyön ve Aydın, 2013) şeklinde sayılabilir. Bu çalışmalarda, ISL yapısının sezgisel algoritmaların performansları üzerinde olumlu etkiler yarattığı görölmüştür. Farklı sezgisel algoritma geliştirme veya iyileştirme yöntemleri literatürde çok sayıdaki çalışmaya uygulanmıştır. Fakat ISL yapısının literatürde sadece üç algoritmaya uygulandığı göröldüğünden, bu nedenle çalışmada iyileştirme metodu olarak ISL tercih edilmiştir. Bilindiğı kadariyle ISL geliştirmek için GSA'ya ilk kez bu çalışmada uygulanmıştır.

GSA, geliştirilen GSA ve hibrit GSA'lar, literatürde birçok test ve mühendislik problemlerine başarıyla uygulanmıştır. Uygulaması yapılan bu problemlerden bazıları elektronik mühendisliği konularından lineer ve lineer olmayan filtre modellemesi (Rashedi vd., 2011), alçak geçiren, yüksek geçiren, band geçiren, band durduran ve IIR filtre dizaynı (Saha vd., 2014), bilgisayar mühendisliğinin önemli bir konusu olan veri madenciliği (Zahiri, 2012), veri sınıflandırılması (Li vd., 2015), ortak bir hedefi arşivlemek için birden fazla alandaki kaynakların paylaşılmasını ifade eden grid çizelgeleme problemi (Goel vd., 2016), yüksek hızlı linklerde akış tabanlı anormallik algılama problemi (Sheikhan ve Jadidi, 2014), endüstri mühendisliği temel problemlerinden gezgin satıcı problemi (Dowlatsahi vd., 2014), inşaat mühendisliğinde beton dolgu barajlarının optimal şekil tasarımı (Khatibinia ve Khosravi, 2014), elektrik ve güç mühendisliğinden enerji dağıtım sistemlerindeki kararlı durum tahmini problemi (Mallick vd., 2013), türbin ısı oranının tahmini (Zhang vd., 2013), hidrolik türbin yönetim sisteminin parametrelerinin belirlenmesi (Li ve Zhou, 2011), KDHTKP'nin çözümü (Tian vd., 2014; Gouthamkumar vd., 2015) ve çevresel ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü (Swain vd., 2012; Özyön vd., 2015) şeklinde belirtilebilir.

KDHTKP ile ilgili literatür taramasında ise, farklı yapıdaki ve özellikteki KDHTKP'lerin çözümü için birçok farklı yöntem ve sezgisel algoritmanın önerildiği görülmüştür. Bu çalışmalar problemin yapısına göre sınıflandırılarak incelenmeye çalışılmıştır.

Ergün çalışmasında GA ile iletim hattı güç kayıplı ve sabit düşülü KDHTKP çözümüne yer vermiştir. Çalışmada hem aktif hem de reaktif güç optimizasyonu yapılmıştır. Problemin çözümünde kısıtlar cezalandırma yöntemiyle sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca çalışmada GA'nın pompayla doldurulmalı hidrolik birim içeren kayıplı bir elektrik enerji sistemindeki aktif güç optimizasyonuna uygulanması da gösterilmiştir (Ergün, 1999).

Özyön yaptığı çalışmalarda sabit düşülü KDHTKP'nin çözümü için GA kullanmıştır. Çalışmada ekonomik güç dağıtım ve KDHTKP'nin çözümü için Delphi yazılımıyla görsel bir program tasarlanmıştır. Çalışmada sabit düşülü ve kayıplı KDHTKP'nin olası kısıtları, cezalandırma fonksiyonu yöntemiyle sağlanmıştır. Çalışmalarda ayrıca problemlerin çözümünde çevresel etkiler de dikkate alınmıştır. Özyön ve arkadaşları yaptıkları diğer çalışmalarda ise GA ve PSO ile KDHTKP'lerin çözümlerini aramışlardır (Özyön, 2009a; Özyön vd., 2009b; Özyön vd., 2010; Özyön vd., 2011).

Orero ve Irving çalışmalarında, kayıpsız hidrotermal güç sistemlerinde üretim birimlerinin optimal güç üretimlerini bulmak için GA kullanmışlardır. Kullanılan çözüm yönteminde, hidrolik birimlerin rezervuarları arasında oluşabilecek seri ve paralel ilişkiler ile

rezervuarlar arası suyun ulaşımındaki gecikme de dikkate alınmıştır. Ayrıca çalışmada, hidrolik üretim birimlerine ait su kullanımı, net düşü ve güç üretimleri arasında lineer olmayan bir ilişki düşünülmüştür. Çalışmada, GA'nın değişik kontrol parametrelerinin algoritma üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Orero ve Irving, 1988).

Erkmen ve Karataş çalışmalarında, KDHTKP'ini çözmek için çok geçişli dinamik programlama (multi-pass dynamic programming) yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada üretim birimlerinin çıkış güçleri hesaplanırken başlangıç koşullarının uygun çözüm olarak alınmadığı, uygun olmayan çözümler kullanılarak da problemin çözülebildiği gösterilmiştir. Geliştirilen bu yöntem Fortran programlamayla benzetimi (simülasyonu) yapılmış ve on hidrolik, bir termik birimi içeren gerçek bir Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) enerji sistemi üzerine uygulanmıştır (Erkmen ve Karataş, 1994).

Literatürde Fadıl ve Yaşar, hem sabit düşülü KDHTKP hem de pompayla doldurmalı hidrolik birim içeren bir güç sistemindeki aktif güç dağıtım probleminin çözümü için sözde (puseudo) spot fiyat algoritmasını başarıyla uygulamışlardır. Çalışmada sözde spot elektrik fiyat algoritmasıyla yapılan çözümün gradyent ve GA ile yapılan çözüme göre daha az işlemle, daha kısa sürede ve daha düşük yakıt maliyetiyle elde edildiği gösterilmiştir (Fadıl ve Yaşar, 1997, Yaşar, 1999, Fadıl ve Yaşar, 2000, 2001).

Basu literatürdeki bazı çalışmalarında, sabit ve değişken düşülü KDHTKP için hopfield sinir ağı, baskın olmayan sıralamalı GA, yapay bağıklık sistemi algoritması ile geliştirilmiş DE metodunu kullanmıştır. Basu ayrıca yaptığı başka çalışmalarda, sabit düşülü KDHTKP'inin çözümünü çevresel etkileride dikkate alarak, evrimsel programlama tekniği tabanlı etkileşimli bulanık tatmin edici yöntem ve benzetim tavlama tabanlı hedefe ulaşma yöntemleriyle yapmıştır (Basu, 2003; 2004a; 2004b; 2005; 2010; 2011a; 2011b; 2014).

Fadıl ve Urazel çalışmalarında, sabit düşülü KDHTKP, ham enerji kaynağı kısıtlı termik üretim birimler içeren sabit düşülü KDHTKP ve pompayla doldurmalı hidrolik birim bulunduran KDHTKP'lerin çözümleriyle ilgilenmişlerdir. Çalışmalarında problemlerin tam çözümleri için uygun değerler temelli genelleştirilmiş subgradient algoritmasını başarıyla uygulamışlardır (Fadıl ve Urazel, 2013; 2015).

Urazel yaptığı çalışmada, uygun değerler temelli genelleştirilmiş subgradient (F-MSG) algoritmasını, sabit ve değişken düşülü konveks ve konveks olmayan elektrik enerji sisteminin tam modelini kullanan KDHTKP'nin çözümüne başarıyla uygulamıştır. Çalışmada problemlerin çözümü için iki farklı iteratif yöntem geliştirilmiştir. Urazel geliştirdiği bu yöntemleri üç farklı KDHTKP'i üzerinde denemiştir. Çalışmada problemlerin çözümünde reaktif güç

optimizasyonunun yanında sistemin tam modelinde yer alan tüm kısıtlar gözönüne alınabilmektedir (Urazel, 2017).

Tian ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, değişken düşülü KDHTKP'yi çözmek üzere baskın olmayan sıralamalı, kaotik mutasyonlu GSA kullanmışlardır. Araştırmacılar geliştirdikleri yöntemi ilk olarak test fonksiyonlarına uygulamış ve literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Daha sonra çevresel etkileride dikkate alarak üç termik, dört hidrolik birim içeren değişken düşülü KDHTKP'nin çözümünü başarıyla gerçekleştirmişlerdir (Tian vd., 2014).

Geliştirilmiş armoni arama algoritması (IHS) lineer, valf nokta etkili konveks olmayan değişken düşülü KDHTKP'nin çözümü için Nazari-Heris ve arkadaşları tarafından kullanılmıştır. Yapılan çalışmada iletim hattı kayıplarıda dikkate alınmış ve kayıplar B kayıp matrisi yöntemiyle bulunmuştur. Çözüm metodu farklı yapıdaki iki değişken düşülü KDHTKP örneğine uygulanmış ve elde edilen sonuçlar literatürdeki farklı metotlarla karşılaştırılmıştır (Nazari-heris, vd., 2018).

Yapılan literatür taramaları sonucunda KDHTKP'lerin çözümleri için yapılan çalışmalar iletim hattı kayıplarının hesaplanmasında B kayıp matrisi kullanılmışsa (B-kayıp matrisleri-B), yük akışı kullanılmışsa (yük akışı-YA), ihmal edilmişse (İhmal-İ), termik birimler için yakıt maliyet fonksiyonları konveks ise (konveks-K), konveks olmayan yakıt maliyeti fonksiyonları kullanılmışsa (konveks olmayan-KO) ve hidrolik birimlerin düşü çeşitlerine göre ise sabit düşülü ise (sabit düşülü-SD), değişken düşülü ise (değişken düşülü-DD) gibi özelliklerine göre sınıflandırılarak liste halinde Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Literatürde çözümü yapılan KDHTKP'lerinin özellikleri.

Kaynak	Çözüm Metodu	KDHTKP						
		Hidrolik Birimler		Yakıt maliyet fonksiyonları		İletim hattı kayıpları		
		SD	DD	K	KO	B	YA	İ
Amjady ve Soleymanpour 2010	Adaptif parçacık sürü optimizasyonu	-	√	√	-	-	-	√
Barisal vd., 2017	Çift öğretim optimizasyonu	-	√	√	√	-	-	√
Basu, 2003	Hopfield sinir ağları	√	-	√	-	√	-	-
Basu, 2004a	Evrimsel programlama tekniğine dayalı etkileşimli bulanık tatmin edici yöntem	-	√	-	√	-	-	√
Basu, 2004b	Benzetim tavlama tekniğine dayanan hedefe ulaşma yöntemi	-	√	-	√	-	-	√

Çizelge 2.2. Literatürde çözümü yapılan KDHTKP'lerinin özellikleri (devam).

Kaynak	Çözüm Metodu	KDHTKP						
		Hidrolik Birimler		Maliyet fonksiyonları		İletim hattı kayıpları		
		SD	DD	K	KO	B	YA	i
Basu, 2005	Benzetim tavlama tekniğine dayanan hedefe ulaşma yöntemi	√	-	-	√	√	-	-
Basu, 2010	Çok amaçlı diferansiyel gelişim algoritması	-	√	-	√	-	-	√
Basu, 2011a	Yapay bağışıklık sistemi algoritması	√	-	-	√	√	-	-
Basu, 2011b	Baskın olmayan sıralamalı genetik algoritma	√	-	-	√	√	-	-
Basu, 2014	Geliştirilmiş diferansiyel gelişim algoritması	-	√	-	√	√	-	-
Calderon ve Galiana, 1987	Sürekli çözüm tekniği	√	-	√	-	-	-	√
Catalao vd., 2010a	Karışık tamsayılı ikinci dereceden programlama yaklaşımı	-	√	√	-	-	-	√
Catalao vd., 2010b	Lineer olmayan karışık tamsayılı yaklaşım	√	-	√	-	-	-	√
Chiang, 2007a	Geliştirilmiş genetik algoritma tabanlı çok amaçlı yaklaşım	√	-	√	-	√	-	-
Chiang, 2007b	Etkili takas algoritması	√	-	√	-	√	-	-
Das vd., 2018	Yarı-yansıyan iyonlar optimizasyon algoritması	√	√	-	√	√	-	-
Dieu ve Ongsakul, 2005	Artırılmış lagrange hopfield sinir ağı	√	√	√	-	√	-	-
El-Hawary ve Ravindranath, 1988	Hamilton-Lamont modeli	-	√	√	-	√	-	-
El-Hawary ve Ravindranath, 1992	Glimn-Kirchmayer's modeli	√	√	√	-	√	-	-
Ergün, 1999	Genetik algoritma	√	-	√	-	-	√	-
Erkmen ve Karataş, 1994	Ardışık yaklaşımlı çok geçişli dinamik programlama	√	-	√	-	-	-	√
Fadıl ve Urazel, 2015	Uygun değerler temelli subgradient algoritması	√	-	√	-	-	√	-

Çizelge 2.2. Literatürde çözümü yapılan KDHTKP'lerinin özellikleri (devam).

Kaynak	Çözüm Metodu	KDHTKP						
		Hidrolik Birimler		Maliyet fonksiyonları		İletim hattı kayıpları		
		SD	DD	K	KO	B	YA	i
Fadıl ve Yaşar, 2001	Puseydo spot fiyat algoritması	√	-	√	-	-	√	-
Fang vd., 2014	Genetik algoritma ve yapay balık sürüsü algoritmasından oluşan hibrit yaklaşım	-	√	-	√	√	-	-
Farhat ve El-Hawary, 2010; 2011	Gelişmiş bakteri yem arama algoritması	-	√	√	-	√	-	-
Feng vd., 2017	Paralel çok amaçlı genetik algoritma	-	√	-	√	√	-	-
Gonzales ve Castro, 2001	Karışık tamsayılı doğrusal programlama.	√	√	√	-	-	-	√
Gouthamkumar vd., 2015	Bozulma temelli yerçekimsel arama algoritması	-	√	-	√	-	-	√
Guan vd., 1997	Karışık tamsayılı programlama	√	-	√	-	-	-	√
Gupta vd., 1996	Kaçınılan operasyon maliyeti methodu	-	√	√	-	-	-	√
Hoseynpour vd., 2017a	Doğrusal olmayan dinamik programlama tekniği	-	√	-	√	√	-	-
Hoseynpour vd., 2017b	Lineer olayan dinamik programlama tekniği	-	√	-	√	√	-	-
Hota vd., 2009	Geliştirilmiş parçacık sürü optimizasyonu	-	√	-	√	-	-	√
Jadoun vd., 2015	Değiştirilmiş parçacık sürü optimizasyonu	-	√	-	√	-	-	√
Kumar ve Mohan, 2011	Genetik algoritma	√	-	√	-	-	√	-
Kumar ve Naresh, 2007	Gerçek kodlu genetik algoritma	-	√	√	-	-	-	√
Lakshminarasin ve Subramanian, 2008	Geliştirilmiş hibrit diferansiyel gelişim algoritması	-	√	√	√	√	-	-
Liu ve Wang, 2009	Geliştirilmiş kendinden uyarlamalı parçacık sürü optimizasyonu	-	√	√	-	-	-	√
Lu vd. 2011	Hibrit çok amaçlı kültür algoritması	-	√	√	√	√	-	-

Çizelge 2.2. Literatürde çözümü yapılan KDHTKP'lerinin özellikleri (devam).

Kaynak	Çözüm Metodu	KDHTKP						
		Hidrolik Birimler		Maliyet fonksiyonları		İletim hattı kayıpları		
		SD	DD	K	KO	B	YA	i
Lu vd., 2010	Adaptif kaotik diferansiyel gelişim algoritması	-	√	-	√	√	-	-
Lu ve Sun, 2011	Kuadratik yaklaşım temelli diferansiyel gelişim algoritması	-	√	-	√	-	-	√
Malik vd., 2016	Geliştirilmiş kaotik hibrit difeansiyel gelişim algoritması	-	√	-	√	-	-	√
Mandal ve Chakraborty, 2008	Diferansiyel gelişim algoritması	-	√	-	√	-	-	√
Mariano vd., 2008	Lineer olmayan programlama	-	√	√	-	-	-	√
Narang vd., 2014a	Hibrit av-avcı ve parçacık arama algoritması	-	√	-	√	-	-	√
Narang vd., 2014b	Av-avcı algoritması	√	-	-	√	√	-	-
Naresh ve Sharma, 1999	İki fazlı yapay sinir ağları	-	√	√	-	-	-	√
Nazari-heris vd., 2018	Geliştirilmiş armoni arama algoritması	-	√	-	√	√	-	-
Nguyen vd., 2014a	Guguk kuşu arama algoritması	√	-	-	√	√	-	-
Nguyen vd., 2016	Guguk kuşu arama algoritması	-	√	√	√	-	-	√
Nguyen ve Vo, 2014b	Artırılmış lagrange hopfield ağı	√	-	-	√	√	-	-
Nguyen ve Vo, 2015	Geliştirilmiş guguk kuşu arama algoritması	√	-	-	√	√	-	-
Norouzi vd. 2014	Sözlüksel optimizasyon ve ϵ -kısıtlama yöntemi	-	√	-	√	-	-	√
Orero ve Irving, 1988	Genetik Algoritma	-	√	√	-	-	-	√
Özyön vd., 2009a	Genetik algoritma	√	-	√	-	-	√	-
Özyön, 2009b	Genetik Algoritma	√	-	√	-	-	√	-
Pereira ve Pinto, 1982	Ayrıştırma yaklaşımı	√	-	√	-	-	-	√

Çizelge 2.2. Literatürde çözümü yapılan KDHTKP'lerinin özellikleri (devam).

Kaynak	Çözüm Metodu	KDHTKP						
		Hidrolik Birimler		Maliyet fonksiyonları		İletim hattı kayıpları		
		SD	DD	K	KO	B	YA	i
Rasoulzadeh-akhijahani ve Mohammadi-ivatloo, 2015	Modifiye edilmiş dinamik komşuluk öğrenme tabanlı parçacık sürüşü optimizasyonu	-	√	√	√	√	-	-
Roy vd., 2013	Yarı karşıt tabanlı öğrenme optimizasyonu	-	√	√	-	-	-	√
Roy, 2014	Hibrit seramik reaksiyon optimizasyonu	-	√	-	√	-	-	√
Salama vd., 2013a; 2013b; 2013c	Daralma faktörü temelli parçacık sürüşü optimizasyonu ve genetik algoritma	-	√	√	-	√	-	-
Sasikala ve Ramaswamy, 2010	Genetik algoritma	√	-	√	-	-	-	√
Sinha vd., 2003	Hızlı evrimsel programlama tekniği	-	√	-	√	-	-	√
Swain vd., 2011	Klon seçim algoritması	-	√	-	√	-	-	√
Tian vd., 2014	Kaotik mutasyonlu, baskın olmayan sıralamalı yerçekimsel arama algoritması	-	√	-	√	-	-	√
Uçman, 1999	Genetik algoritma	√	-	√	-	-	√	-
Urazel, 2017	Uygun değerler temelli genelleştirilmiş subgradient (F-MSG) algoritması	√	√	√	√	-	√	-
Wang vd., 2012a	Cauchy mutasyonlu gerçek kodlamalı evrimsel algoritma	-	√	√	-	√	-	-
Wang vd., 2012b	Diferansiyel gerçek kodlamalı evrimsel algoritma	-	√	√	√	√	-	-
Wang vd., 2012c	Geliştirilmiş kendinden uyarlamalı parçacık sürüşü optimizasyonu	-	√	√	-	-	-	√
Yang ve Chen, 1989	Çok geçişli dinamik programlama	√	-	√	-	-	-	√
Yaşar, 1999	Puseydo spot elektrik fiyat algoritması	√	-	√	-	-	√	-
Yaşar, 2001	Gradyent Method	√	-	√	-	-	√	-

Çizelge 2.2. Literatürde çözümü yapılan KDHTKP'lerinin özellikleri (devam).

Kaynak	Çözüm Metodu	KDHTKP						
		Hidrolik Birimler		Maliyet fonksiyonları		İletim hattı kayıpları		
		SD	DD	K	KO	B	YA	i
Yu vd., 2007	Parçacık sürü optimizasyonu	-	√	√	-	-	-	√
Yuan vd., 2016	Çok amaçlı yapay fizik algoritması	-	√	-	√	-	-	√
Zhang vd., 2015	Modifiye edilmiş kaotik diferansiyel gelişim algoritması	-	√	-	√	√	-	-
Zhang vd., 2017	Küçük popülasyon tabanlı paralel diferansiyel gelişim algoritması	-	√	-	√	-	-	√

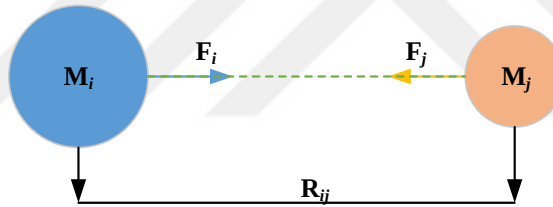
Çizelge 2.2'den de görüldüğü gibi KDHTKP ve bu problemlerin sezgisel algoritmalarla çözümleri, literatürde geniş bir yer tutmaktadır. Problemlerin daha hızlı ve daha kararlı çözümlerini elde edilebilmek için birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Çizelgeden görüleceği üzere literatürdeki 80 çalışma incelenmiştir. Bu çalışmalardan yaklaşık %50'sinde iletim hattı kayıpları ihmal edilmiş, iletim hattı kayıpları dahil edilen çalışmalarda ise sadece 10 tanesinde yük akışı metodu kullanılmıştır. Yük akışı kullanılan çalışmaların incelenen 80 çalışmaya göre oranı yaklaşık %11'dir. Yük akışı kullanılan çalışmaların çoğunda sabit düşülü KDHTKP'nin çözümü aranmış yalnızca bir çalışmada yük akışıyla birlikte değişken düşülü KDHTKP'nin çözümü yapılmıştır. İncelenen bu çalışmalarda konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonlu termik birim içeren, AC yük akışıyla kayıpların hesaplandığı ve KDHTKP'nin, çözümünün sezgisel algoritmalarla yapıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tür bir problemin sezgisel algoritma yaklaşımıyla çözümü bilindiği kadarıyla ilk kez bu çalışmada yapılmıştır.

3. ALGORİTMA GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI

Bu bölümde geliştirilmek üzere seçilen algoritma olan GSA ve parametre uyarlama yöntemleri anlatılmıştır. GSA'ya eklenecek olan artırılmış sosyal öğrenme yapısı (ISL) açıklanmış ve geliştirilen IGSA-1, 2 ve 3 anlatılmıştır. Geliştirilen bu algoritmaların KDHTKP'ine uygulanmasında kullanılacak olan parametre ayarlamaları yapılmıştır. IGSA-1, 2 ve 3'ün performanslarının değerlendirilebilmesi için, literatürde GSA'yla çözümleri yapılan 23 adet test fonksiyonunun geliştirilen algoritmalarla çözümleri yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.1. Yerçekimsel Arama Algoritması (GSA)

Fizikte, kütleye sahip nesneler birbirine doğru hızlanma eğilimi gösterir. Newton'un evrensel çekim kanununu gösteren grafik Şekil 3.1'de, kütlelerin birbirlerine uyguladıkları kuvvetler ise denklem (3.1)'de verilmiştir (Rashedi, 2009; Özyön vd., 2018).



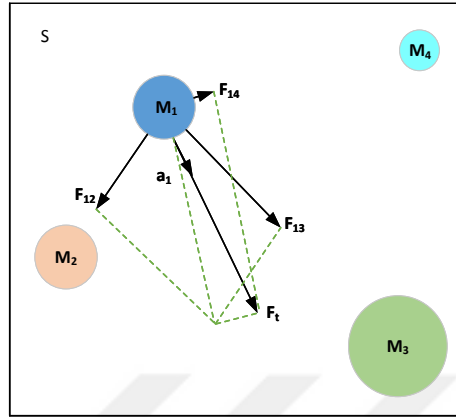
Şekil 3.1. Kütleler arası çekim kuvveti.

$$F_i = F_j = G \frac{M_i M_j}{R_{ij}^2} \quad (3.1)$$

Kanuna göre; her bir noktasal kütle (M_i) diğer noktasal kütleyi (M_j), ikisini birleştiren çizgi doğrultusundaki bir kuvvetle (F_i, F_j) çekerler. Bu kuvvetler bu iki kütlenin çarpımıyla doğru orantılı, aralarındaki mesafenin (R_{ij}) karesi ile ters orantılıdır. Bu çekimin etkisiyle küçük olan kütle, büyük olan kütleye doğru ivmelenecektir.

GSA'da kütleler olarak adlandırılan bir dizi ajan, Newton'un yerçekimi ve hareket kanunlarının simülasyonu ile optimum çözümü bulmak üzere konumlandırılır. S arama uzayında konumlandırılan ajanlar (N) ve bir ajana ($M_i, i=1,2,3,...$) etkiyen kuvvetlerin gösterimi Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekilde yer alan her bir kütlenin bulunduğu konum değerleri, mevcut

problemin birer aday çözümüdür. Kütlelerin büyüklüğü çözüme ne kadar yakın olduklarının göstergesidir (Rashedi, 2009; Özyön vd., 2018).



Şekil 3.2. Arama uzayındaki bir ajana etkiyen kuvvetler.

GSA, i . kümenin konumunun denklem (3.2)'de verildiği gibi tanımlandığı N ajanlı bir yapıyla aramaya başlar. Bu ajanlar ilk popülasyon için S arama uzayında GSA'da rastgele konumlandırılırlar.

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3.2)$$

Burada x_i^d , d . boyuttaki i . kümenin konumunu, n ise arama alanının boyutunu göstermektedir. Her bir ajanın kütlesi, uygunluğu (çözüme yakınlığı) ile temsil edilir ve popülasyondaki diğer bireylerin uygunluğuna bağlı olarak denklem (3.3) ve (3.4)'e göre hesaplanır (Rashedi, 2009; Özyön vd., 2018).

$$q_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (3.3)$$

$$M_i(t) = \frac{q_i(t)}{\sum_{j=1}^s q_j(t)} \quad (3.4)$$

Bu denklemlerde $q_i(t)$, $M_i(t)$ ve $fit_i(t)$ sırasıyla bağıl kütleyi, kütleyi ve t anındaki i . ajanın uygunluk değerini göstermektedir. Bir minimizasyon problemi için en iyi ($best(t)$) ve en kötü ($worst(t)$) çözüm değerleri denklem (3.5) ve (3.6)'ya göre tanımlanır.

$$eniyi(t) = best(t) = \min_{j \in \{1, \dots, s\}} fit_j(t) \quad (3.5)$$

$$enkötü(t) = worst(t) = \max_{j \in \{1, \dots, s\}} fit_j(t) \quad (3.6)$$

Problemin maksimizasyon problemi haline dönüşmesi için en iyi ($best(t)$) ve en kötü ($worst(t)$) çözüm değerleri yer değiştirilerek aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$eniyi(t) = best(t) = \max_{j \in \{1, \dots, s\}} fit_j(t) \quad (3.7)$$

$$enkötü(t) = worst(t) = \min_{j \in \{1, \dots, s\}} fit_j(t) \quad (3.8)$$

Bir ajanın ivmesi hesaplanırken, öncelikle diğer kütleler (ajanlar) tarafından onun üzerine uygulanan toplam kuvvet, yerçekimi kanununa bağlı olarak hesaplanır. Söz konusu ajana etkiyen toplam kuvvet denklem (3.9)'dan bulunur (Rashedi, 2009; Özyön vd., 2018).

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in k_{best}, j \neq i} rand_j G(t) \frac{M_j(t) M_i(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} [x_j^d(t) - x_i^d(t)] \quad (3.9)$$

Burada $rand_j$, (0,1) aralığında dağıtılmış rastgele sayıdır. ε ise tanımsızlığı ortadan kaldırmak için kullanılan çok küçük bir değerdir. $R_{ij}(t)$, i ve j ajanları arasındaki öklid mesafesidir ve $R_{ij}(t) = \|X_i(t) - X_j(t)\|_2$ olarak tanımlanır. k_{best} , en iyi uygunluk değerli dolayısıyla en büyük kütleyle sahip ajanların bir dizisidir. Bu başlangıçta K_0 'la başlatılan ve zamanla azaltılan bir fonksiyondur. Algoritmada K_0 , toplam ajan sayısı (N) kümesidir ve doğrusal olarak 1'e düşürülür. Bunun anlamı, başlangıçta bütün ajanlar birbirlerine kuvvet uygularken, zaman ilerledikçe kuvvet uygulayan ajan sayısı azalacaktır. Sonunda sistemde diğer kütlelere kuvvet uygulayan tek bir ajan kalacaktır. Toplam kuvvet hesabından sonra hareket kanunları kullanılarak denklem (3.10)'dan ajanın ivmesi hesaplanır (Rashedi, 2009; Özyön vd., 2018).

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_i(t)} = \sum_{j \in k_{best}, j \neq i} rand_j G(t) \frac{M_j(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} [x_j^d(t) - x_i^d(t)] \quad (3.10)$$

Denklem (3.10)'dan hesaplanan ajana ait ivme değeri, ajanın o andaki mevcut hızına eklenerek denklem (3.11)'de gösterildiği gibi yeni hız vektörü elde edilir. Ajanın yeni hızı eski hızı ve ivmesine bağlı olarak değişmektedir.

$$v_i^d(t+1) = rand_i \cdot v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (3.11)$$

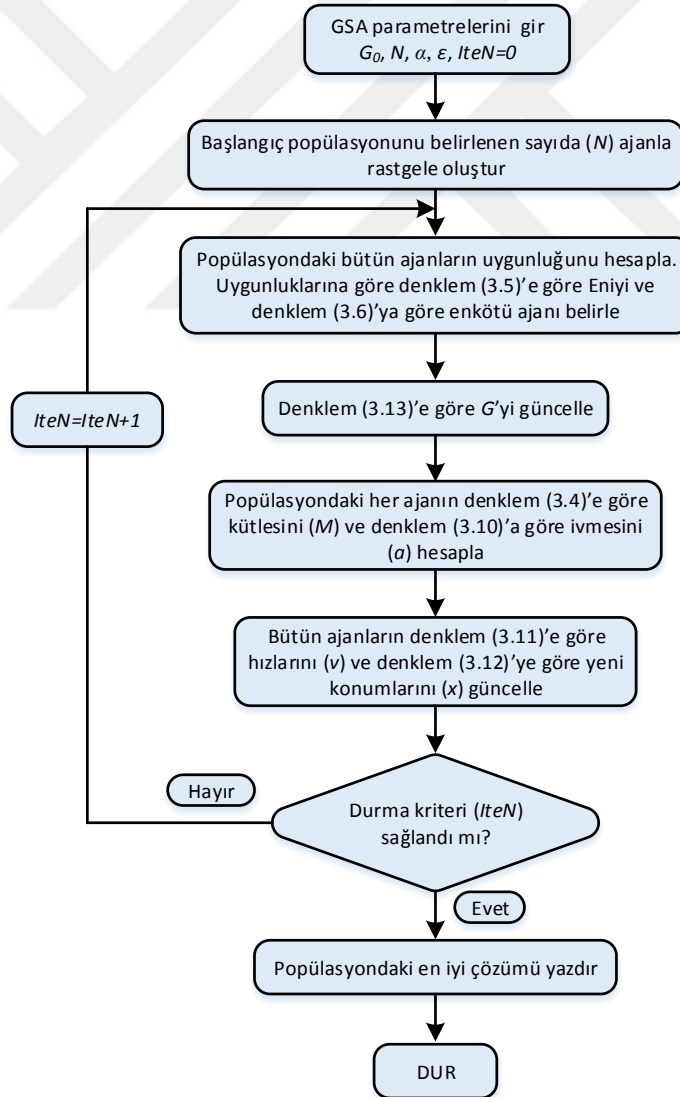
Son olarak, ajanın bir sonraki popülasyondaki konumu, denklem (3.12)'ye göre belirlenir.

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (3.12)$$

Kuvvet ve ivme denklemlerinde yer alan yerçekimsel sabit $G(t)$ denklem (3.13)'te verilmiştir.

$$G(t) = G_0 e^{-\alpha(t/T)} \quad (3.13)$$

Denklemden G_0 başlangıç değeri, α sabit katsayı, t iterasyon sayısı ve T ise bitiş iterasyon sayısını göstermektedir. En iyi çözümü bulma ve algoritmanın yakınsama hızı üzerinde G_0 ve α değerlerinin etkileri büyüktür. Dolayısıyla her problemin özelliğine göre bu değerlerin yeniden belirlenmesi gerekmektedir. Bu çözüm aşamalarının gösterildiği GSA'nın akış diyagramı Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. GSA akış diyagramı.

3.2. Artırmalı Sosyal Öğrenme Yapısı (ISL)

Sosyal öğrenme (SL) kavramı, ajanlar arasındaki bilgi aktarımını genetik operatörler olmadan yapabilmek için kullanılmaktadır. Bu kavramın kullanımı çok ajanlı sistemlerin tasarımı için oldukça uygundur. Bunun nedeni popülasyondaki bireylerin, bireysel olarak bilgi edinme maliyetlerini ödemedi, diğer deneyimli ajanlardan bilgi edinmesine olanak tanınmasıdır. Teorik modeller ve ampirik çalışmalar yalnızca sosyal olarak edinilen bilgiye dayanmanın her zaman avantajlı olmadığı sonucunu göstermişlerdir. Toplumsal öğrenmenin yararlı olabilmesi için bireyler, bireysel olarak öğrenmek veya yenilik yapmak için ilave zamana ihtiyaç duymaktadırlar (Montes de Oca ve Stützle, 2008).

Artırmalı sosyal öğrenme olarak adlandırılan bu yaklaşım, ana popülasyonun bir parçası haline geldiğinde toplumsal ve popülasyonun bir parçası olduğunda ise bireysel olarak öğrenen, artan bir ajan popülasyonundan oluşur. ISL yapısı çoklu olarak öğrenen ajan sistemlerinde, sisteme zamanla yeni ajanların eklenmesi temeline dayanmaktadır. Bu yapıya sahip algoritma çözüm arama uzayında az sayıda birey sayısı ile aramaya başlar ve hızlı bir öğrenme süreci gerçekleşir. Sonraki adımlarda popülasyona mevcut bireylerle iletişime geçen yeni ajanlar eklenerek aramaya devam edilir. Artan nüfus stratejisi, doğada yeni doğan bireylerin, onları çevreleyen yetişkin bireylerden çok fazla beceri öğrenmeleri gözlemine dayanmaktadır. Artırmalı sosyal öğrenme yaklaşımının algoritma yapısı Şekil 3.4’de verilmiştir (Montes de Oca vd., 2011).

```

Algorithm Incremental Social Learning (ISL)

/* Initialization */
t ← 0
Initialize environment  $E^t$ 
Initialize population of agents  $X^t$ 

/* Main loop */
while Stopping criteria not met do
    /* Agent are added according to a Schedule */
    if Agent-addition criterion is not met then
         $X^{t+1} \leftarrow \text{ilearn}(X^t, E^t)$  /* Individual or default
learning mechanism */
    else
        Create new agent  $a_{\text{new}}$ 
         $\text{slearn}(a_{\text{new}}, X^t)$  /* Social learning mechanism */
         $X^{t+1} \leftarrow X^t \cup \{a_{\text{new}}\}$ 
    end if
     $E^{t+1} \leftarrow \text{update}(E^t)$  /* Update environment */
    t ← t+1
end while

```

Şekil 3.4. Artırmalı sosyal öğrenme yaklaşımının algoritma yapısı.

Yapılan çalışmada artırılmış popülasyon yapısı için üç farklı yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar üç farklı durum olarak ele alınıp IGSA-1, IGSA-2 ve IGSA-3 olarak adlandırılmıştır.

3.3.1 Durum 1: IGSA-1

Bu yaklaşımda çözüm uzayında aramaya belirlenen minimum ajan sayısı ile başlanır. Belli aralıklarla o anda popülasyondaki en iyi ajandan bir tane daha denklem (3.14)'deki gibi popülasyona katılarak ajan sayısı artırılır. Eklenen ajan ilk durumda arama uzayında rastgele konumlandırılır, diğer ajanlara göre etkiyen kuvvetler ve ivmesi belirlenir. Bu işlem belirlenen maksimum ajan sayısı tamamlanıncaya kadar devam eder.

$$x'_{g,yeni}(t) = x_{g,eniye}(t) \quad (3.14)$$

Denklemden yer alan $x'_{g,yeni}(t)$ g . iterasyonda popülasyona yeni eklenen ajanı, $x_{g,eniye}(t)$ g . iterasyonda popülasyondaki en iyi ajanı göstermektedir (Özyön vd. 2018).

3.3.2 Durum 2: IGSA-2

Bu yaklaşımda ise popülasyona katılacak yeni ajan, o anda popülasyonda yer alan ve rastgele seçilen bir ajanla en iyi ajan arasında denklem (3.15)'e göre popülasyona eklenir. Bu işlem belli aralıklarla maksimum ajan sayısı tamamlanıncaya kadar devam eder.

$$x'_{g,yeni}(t) = x_{g,seçilen}(t) + rand[0,1][x_{g,eniye}(t) - x_{g,seçilen}(t)] \quad (3.15)$$

Denklemden $x'_{g,yeni}(t)$ g . iterasyonda popülasyona yeni eklenen ajanı, $x_{g,seçilen}(t)$ g . iterasyonda popülasyondan rastgele seçilen bir ajanı, $x_{g,eniye}(t)$ g . iterasyonda popülasyondaki en iyi ajanı ve $rand(0,1)$ ise 0-1 aralığında rastgele atanan bir sayıyı ifade etmektedir (Özyön vd. 2018).

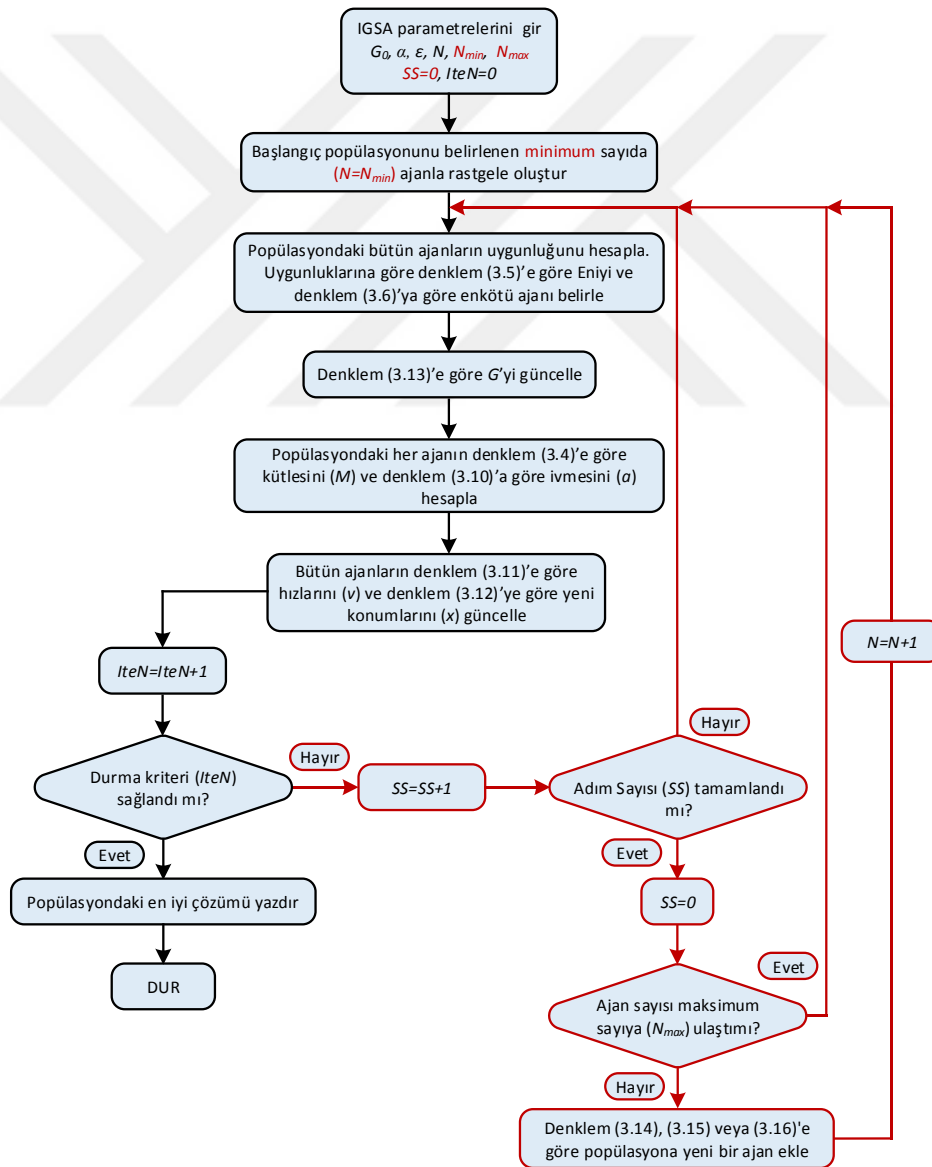
3.3.3 Durum 3: IGSA-3

Bu yaklaşımda ise en iyi ajan ile iletişime geçecek ajan, arama uzayı içinde rastgele oluşturulur ve denklem (3.16)'ya göre konumlandırılır. Bu işlem Maksimum ajan sayısı tamamlanıncaya kadar devam eder.

$$x'_{g,yeni}(t) = x_{g,yeni}(t) + rand[0,1][x_{g,eniye}(t) - x_{g,yeni}(t)] \quad (3.16)$$

Denklemden $x'_{g,yeni}(t)$ g . iterasyonda popülasyona yeni eklenen ajanı, $x_{g,seçilen}(t)$ g . iterasyonda popülasyondan rastgele seçilen bir ajanı, $x_{g,eniye}(t)$ g . iterasyonda popülasyondaki en iyi ajanı, $x_{g,yeni}(t)$ g . iterasyonda rastgele oluşturulan bir ajanı ve $rand(0,1)$ ise 0-1 aralığında rastgele atanan bir sayıyı göstermektedir.

Çalışmada önerilen IGSA-1, 2 ve için akış diyagramı Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekilde GSA'ya göre IGSA-1, 2 ve 3'ün farklılıkları kırmızı renkte gösterilmiştir (Özyön vd. 2018).



Şekil 3.6. IGSA akış diyagramı.

3.4. Test Fonksiyonları

Bölüm 3.3'te önerilen algoritmalar, performanslarının değerlendirilebilmesi için literatürde daha önce farklı algoritmalar ile çözümü yapılmış 23 adet test fonksiyonuna uygulanmıştır. Bu fonksiyonlar üç grup halinde Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3'te verilmiştir. Tablolarda (n) değeri fonksiyonun boyutunu göstermektedir (Rashedi,2009; Özyön vd., 2018). Bu fonksiyonlar alt bölümlerde temel özellikleriyle birlikte ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Çizelge 3.1. Unimodal test fonksiyonları.

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

Çizelge 3.2. Multimodal test fonksiyonları.

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

Çizelge 3.3. Sabit boyutlu multimodal test fonksiyonları.

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

Çizelge 3.3'te yer alan fonksiyonlardan f_{14} , f_{15} , f_{19} , f_{20} , f_{21} , f_{22} ve f_{23} 'e ait a_i , b_i , c_i , a_{ij} , b_{ij} ve P_{ij} katsayılarının değerleri sırasıyla Çizelge 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. $f_{14}(x)$ fonksiyonundaki a_{ij} katsayıları.

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

Çizelge 3.5. $f_{15}(x)$ fonksiyonundaki a_i ve b_i katsayıları.

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

Çizelge 3.6. $f_{19}(x)$ fonksiyonundaki a_{ij} , c_i ve P_{ij} katsayıları.

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

Çizelge 3.7. $f_{20}(x)$ fonksiyonundaki a_{ij} , c_i ve P_{ij} katsayıları.

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

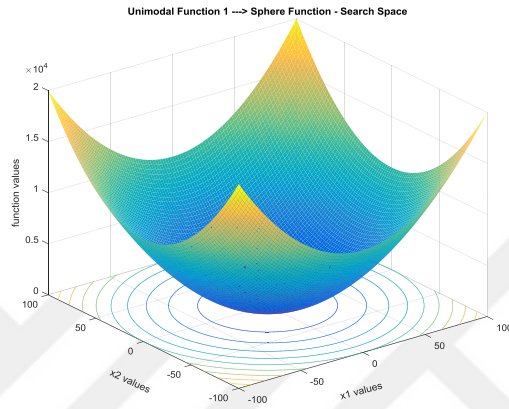
Çizelge 3.8. $f_{21}(x)$, $f_{22}(x)$ ve $f_{23}(x)$ fonksiyonlarındaki a_{ij} ve c_i katsayıları.

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

Çizelge 3.1 ve 3.2'deki f_1 - f_{13} arasındaki fonksiyonlar yüksek boyutlu veya geniş arama uzayına sahip fonksiyonlardır. Bu özelliklerinin yanında Çizelge 3.1'deki f_1 - f_7 arasındaki fonksiyonlar tek bir optimum noktaya sahip unimodal fonksiyonlar iken, Çizelge 3.2'deki f_8 - f_{13} arasındaki fonksiyonlar ise birçok lokal minimum noktaları olan multimodal fonksiyonlardır. Çizelge 3.3'te yer alan f_{14} - f_{23} arasındaki fonksiyonlar ise düşük ve sabit boyutlu, az sayıda yerel minimum noktaları olan multimodal fonksiyonlardır. Bütün bu fonksiyonlara ait 2 bilinmeyen için, arama uzaylarının 3-D çizimleri ve ayrıntılı bilgileri başlıklar halinde verilmiştir.

3.4.1. Fonksiyon-1 (f_1)

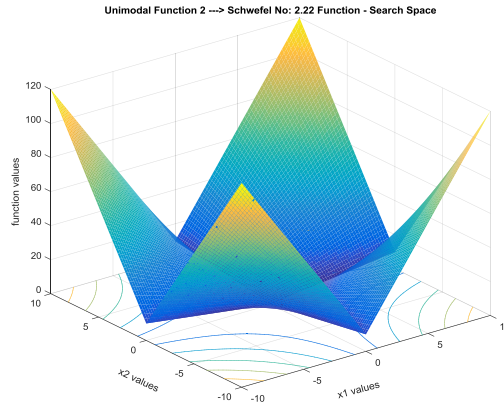
- Adı : Sphere
- Boyutu (n) : 30
- Arama aralığı (s) : $(-100, 100)^n$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0



Şekil 3.7. f_1 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.2. Fonksiyon-2 (f_2)

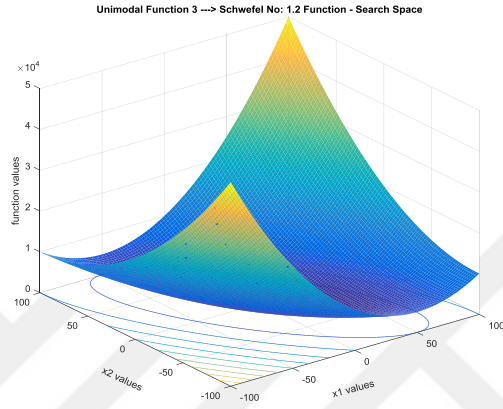
- Adı : Schwefel's No 2.22
- Boyutu (n) : 30
- Arama aralığı (s) : $(-100, 100)^n$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0



Şekil 3.8. f_2 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.3. Fonksiyon-3 (f_3)

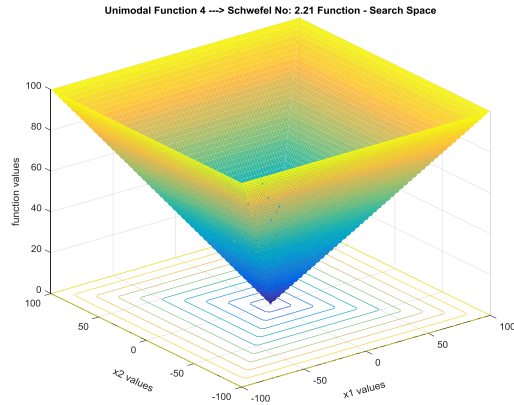
- Adı : Schwefel's No 1.2
- Boyutu (n) : 30
- Arama aralığı (s) : $(-100, 100)^n$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0



Şekil 3.9. f_3 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.4. Fonksiyon-4 (f_4)

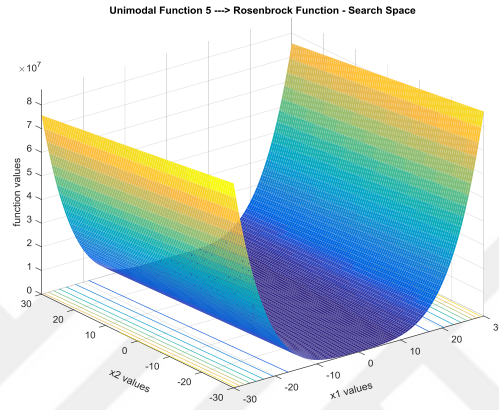
- Adı : Schwefel's No 2.21
- Boyutu (n) : 30
- Arama aralığı (s) : $(-100, 100)^n$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0



Şekil 3.10. f_4 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.5. Fonksiyon-5 (f_5)

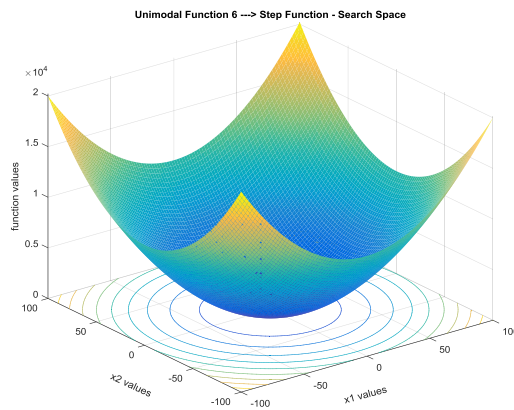
- Adı : Rosenbrock
- Boyutu (n) : 30
- Arama aralığı (s) : $(-30, 30)^n$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0



Şekil 3.11. f_5 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.6. Fonksiyon-6 (f_6)

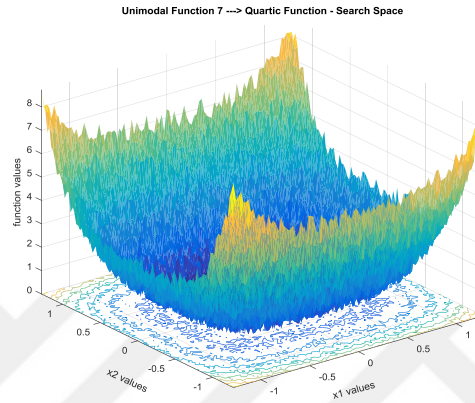
- Adı : Step
- Boyutu (n) : 30
- Arama aralığı (s) : $(-100, 100)^n$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0



Şekil 3.12. f_6 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.7. Fonksiyon-7 (f_7)

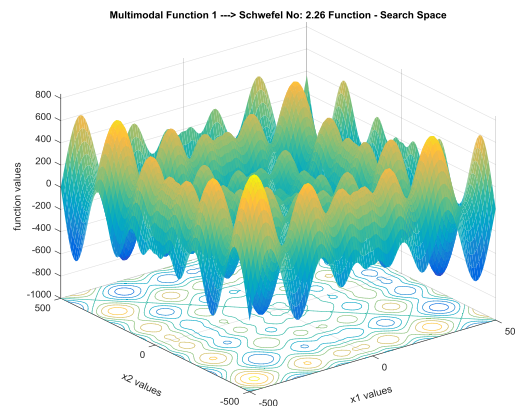
- Adı : Quartic
- Boyutu (n) : 30
- Arama aralığı (s) : $(-1,28, 1,28)^n$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0



Şekil 3.13. f_7 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.8. Fonksiyon-8 (f_8)

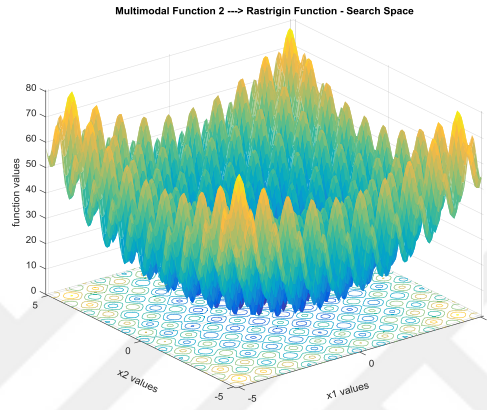
- Adı : Schwefel's No: 2.26
- Boyutu (n) : 30
- Arama aralığı (s) : $(-500, 500)^n$
- Optimum noktası (f_{min}) : $(-418,9829) \times n$



Şekil 3.14. f_8 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.9. Fonksiyon-9 (f_9)

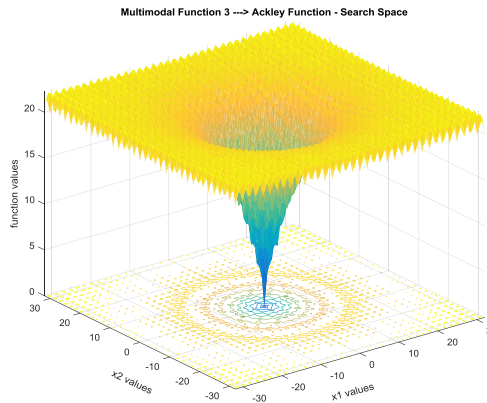
- Adı : Rastrigin
- Boyutu (n) : 30
- Arama aralığı (s) : $(-5,12, 5,12)^n$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0



Şekil 3.15. f_9 fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.10. Fonksiyon-10 (f_{10})

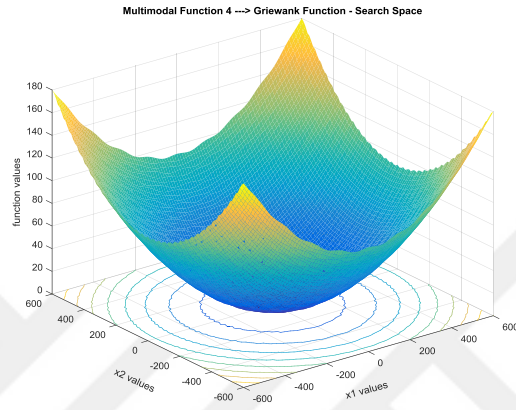
- Adı : Ackley
- Boyutu (n) : 30
- Arama aralığı (s) : $(-32, 32)^n$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0



Şekil 3.16. f_{10} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.11. Fonksiyon-11 (f_{11})

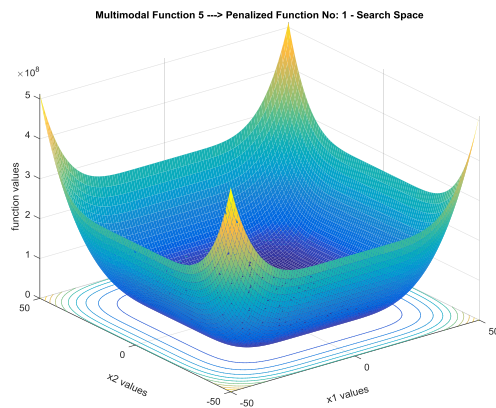
- Adı : Griewank
- Boyutu (n) : 30
- Arama aralığı (s) : $(-600, 600)^n$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0



Şekil 3.17. f_{11} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.12. Fonksiyon-12 (f_{12})

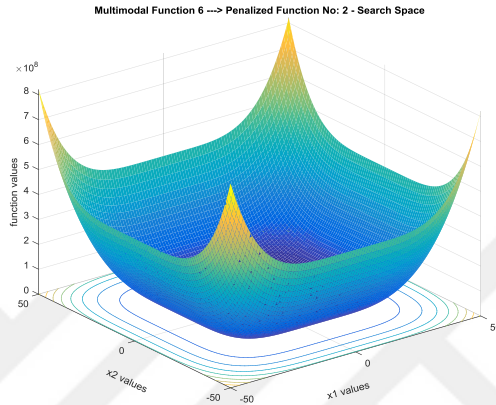
- Adı : Penalized No:1
- Boyutu (n) : 30
- Arama aralığı (s) : $(-50, 50)^n$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0



Şekil 3.18. f_{12} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.13. Fonksiyon-13 (f_{13})

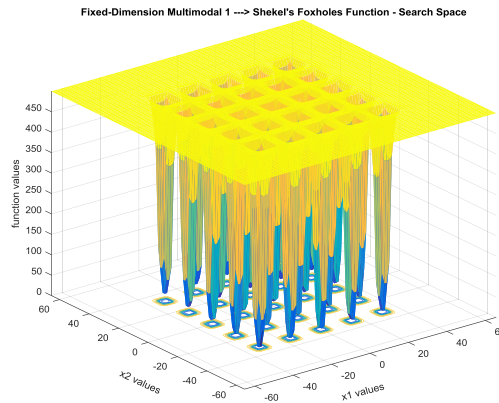
- Adı : Penalized No:2
- Boyutu (n) : 30
- Arama aralığı (s) : $(-50, 50)^n$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0



Şekil 3.19. f_{13} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.14. Fonksiyon-14 (f_{14})

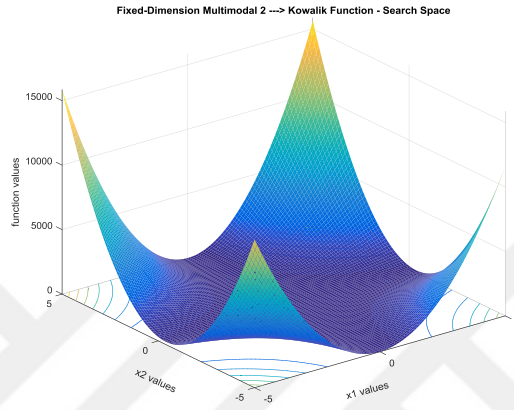
- Adı : Shekel's Foxholes
- Boyutu (n) : 30
- Arama aralığı (s) : $(-65,53, 65,53)^n$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0,998



Şekil 3.20. f_{14} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.15. Fonksiyon-15 (f_{15})

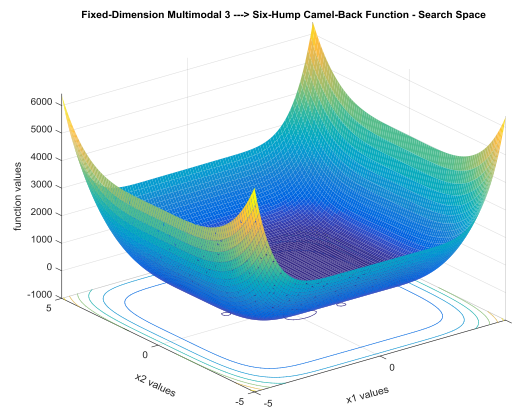
- Adı : Kowalik
- Boyutu (n) : 4
- Arama aralığı (s) : $(-5, 5)^4$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0,0003



Şekil 3.21. f_{15} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.16. Fonksiyon-16 (f_{16})

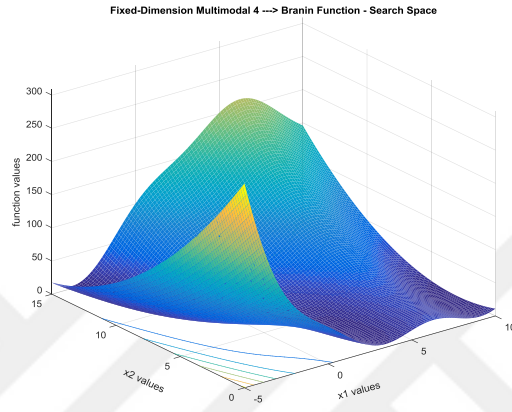
- Adı : Six-Hump Camel-Back
- Boyutu (n) : 2
- Arama aralığı (s) : $(-5, 5)^2$
- Optimum noktası (f_{min}) : -1,0316



Şekil 3.22. f_{16} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.17. Fonksiyon-17 (f_{17})

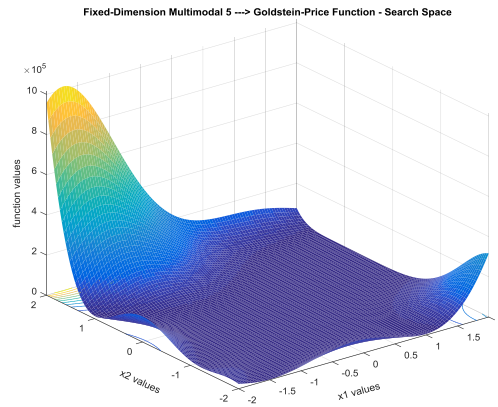
- Adı : Branin
- Boyutu (n) : 2
- Arama aralığı (s) : $(-5,10) \times (0,15)$
- Optimum noktası (f_{min}) : 0,397887



Şekil 3.23. f_{17} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.18. Fonksiyon-18 (f_{18})

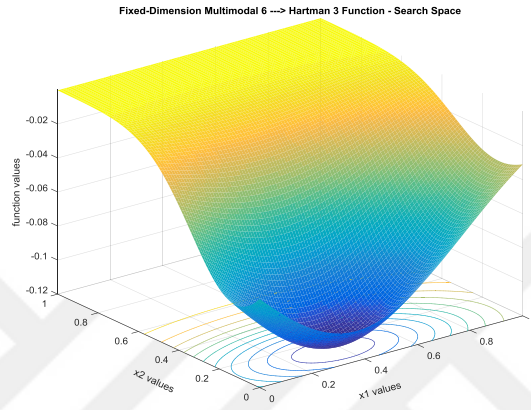
- Adı : Goldstein-Price
- Boyutu (n) : 2
- Arama aralığı (s) : $(-2, 2)^2$
- Optimum noktası (f_{min}) : 3



Şekil 3.24. f_{18} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.19. Fonksiyon-19 (f_{19})

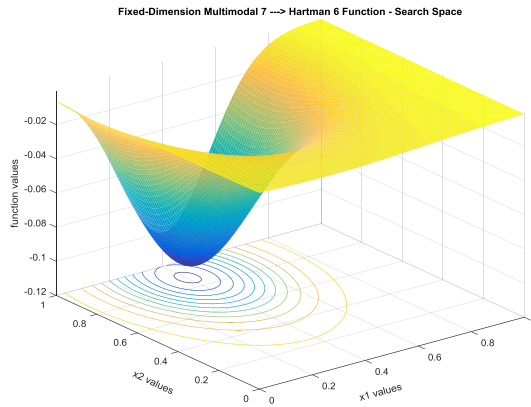
- Adı : Hartman3
- Boyutu (n) : 3
- Arama aralığı (s) : $(0, 1)^3$
- Optimum noktası (f_{min}) : -3,86278



Şekil 3.25. f_{19} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.20. Fonksiyon-20 (f_{20})

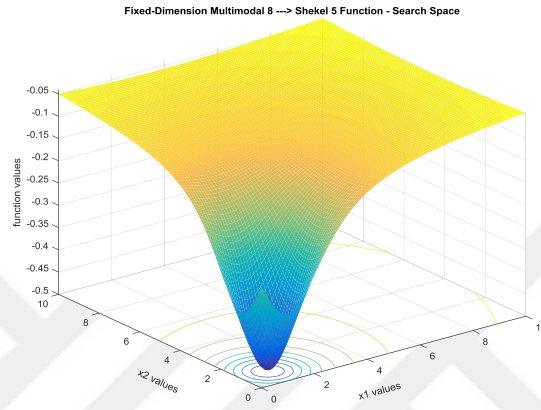
- Adı : Hartman6
- Boyutu (n) : 6
- Arama aralığı (s) : $(0, 1)^6$
- Optimum noktası (f_{min}) : -3,32237



Şekil 3.26. f_{20} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.21. Fonksiyon-21 (f_{21})

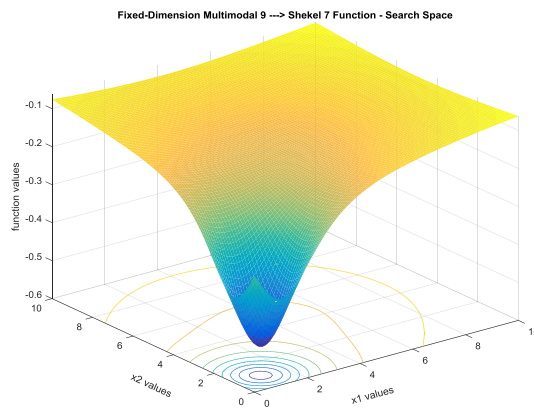
- Adı : Shekel5
- Boyutu (n) : 4
- Arama aralığı (s) : $(0, 10)^4$
- Optimum noktası (f_{min}) : -10,1532



Şekil 3.27. f_{21} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.22. Fonksiyon-22 (f_{22})

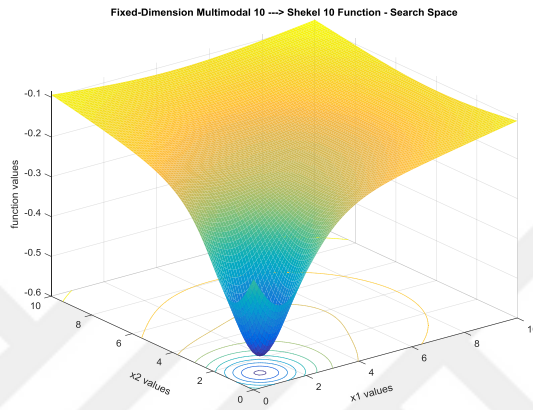
- Adı : Shekel7
- Boyutu (n) : 4
- Arama aralığı (s) : $(0, 10)^4$
- Optimum noktası (f_{min}) : -10,4029



Şekil 3.28. f_{22} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.4.23. Fonksiyon-23 (f_{23})

- Adı : Shekel10
- Boyutu (n) : 4
- Arama aralığı (s) : $(0, 10)^4$
- Optimum noktası (f_{min}) : -10,5364



Şekil 3.29. f_{23} fonksiyonuna ait iki bilinmeyenli 3-D arama uzayı.

3.5. Test Fonksiyonlarının IGSA ile Çözümü

Yapılan çalışmada Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3'te toplu olarak verilen ve sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanan test fonksiyonlarının, performans açısından karşılaştırmalarının yapılabilmesi için literatürdeki GSA ile aynı şartlar, boyutlar ve parametrelerle çözülmüş olmasına dikkat edilmiştir. Bu nedenle elde edilen değerlerle doğru bir karşılaştırma yapılabilmesi için Şekil 3.30'da verilen, adım sayısı ve maksimum ajan sayısı, aynı iterasyon sayıları ile eşit fonksiyon çağırımı yapacak şekilde bir alt program geliştirilmiştir. Daha sonra bu fonksiyonların boyutları artırılarak yeni çözümler yapılmış, geliştirilen metotlar kararlılık, hız ve performans yönünden değerlendirilmiştir. IGSA için test fonksiyonların çözümünde kullanılan parametre değerleri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Bu çalışmada test fonksiyonlarının IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümleri için MATLAB R2015b'de geliştirilen program ve Intel Xeon E5-2637 v4 3.50 GHz işlemcili ve 128 GB RAM bellekli iş istasyonu kullanılmıştır.

Çizelge 3.9. IGSA parametre değerleri.

<i>Parametre</i>	<i>Fonksiyon</i>	
	f_{1-13}	f_{14-23}
İterasyon Sayısı ($IteN$)	1000	500
Fonksiyon Çağırımı ($fCall$)	50000	25000
Adım Sayısı (SS)	10	10
Minimum Ajan Sayısı (N_{min})	20	20
Maksimum Ajan Sayısı (N_{max})	57	70
Yerçekimsel Sabit Başlangıç Değeri (G_0)	100	100
Sabit Sayı (α)	20	20
Tanımsızlık Sabiti (ε)	10^{-6}	10^{-6}

IGSA için Çizelge 3.9’da yer alan maksimum ajan sayısı değeri (N_{max}) Şekil 3.30’da verilen kod bloğuyla, girilen adım sayısı (SS), iterasyon sayısı ($IteN$), ajan sayısı (N) ve minimum ajan sayısı değerlerine (N_{min}) göre hesaplanmaktadır. Bunun temel nedeni karşılaştırma yapılacak sabit popülasyonlu algoritmalarla birebir değerlendirme için aynı fonksiyon çağırımı sayısı ($fCall$) değerini yakalamaktır. Test fonksiyonlarının çözümü için Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’deki fonksiyonlar için 1000 iterasyon (50000 fonksiyon çağırımı, $fCall$) ve Çizelge 3.3’teki fonksiyonlar için 500 iterasyon (25000 fonksiyon çağırımı, $fCall$) çalıştırılmıştır.

```

clear, clc
IteN = 1000; %Durdurma Kriteri
PopSize = 50; %N
fCall = (IteN+1)*PopSize; %Fonksiyon çağırımı sayısı
StepSize = 10; %SS
PopSizeMin = 20; %Nmin
gec = PopSizeMin;
topla = gec;
for Ite = 1 : IteN
    topla = topla + gec;
    if mod(Ite,StepSize) == 0
        gec = gec + 1;
        if topla + gec*(IteN-Ite+1) > fCall
            break
        end
    end
end
PopSizeMax = gec; %Nmax

```

Şekil 3.30. N_{max} değerinin belirlenmesi.

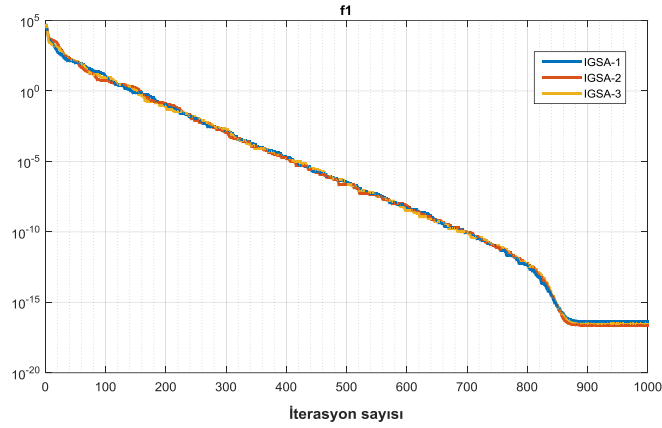
IGSA’nın geliştirilen üç farklı dinamik popülasyon yapıları (IGSA-1, 2 ve 3) kullanılarak f_{1-7} unimodal fonksiyonlar için $n=30$ ($30-D$) iken elde edilen değerler Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.10. 30-D için elde edilen veriler (Çizelge 3.1 - 30 çalışma - 1000 iterasyon).

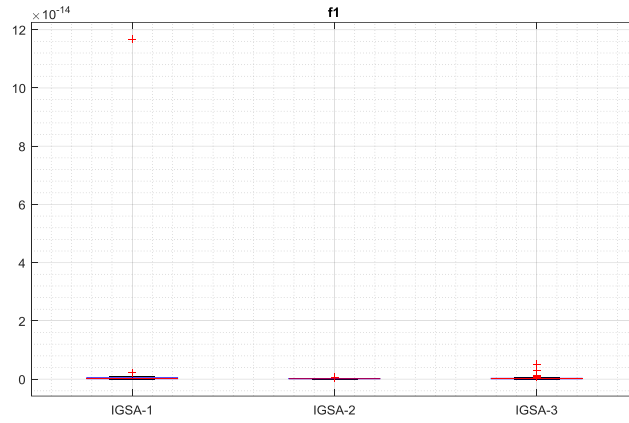
		<i>IGSA-1</i>	<i>IGSA-2</i>	<i>IGSA-3</i>
f_1	EnKötü	1,166563e-13	6,452503e-16	5,090800e-15
	Ortalama	4,226482e-15	1,910715e-16	5,097422e-16
	Enİyi	4,165276e-17	2,398027e-17	3,272324e-17
	StdSapma	2,088136e-14	1,443580e-16	1,025361e-15
	Süre (s)	2,01771	1,78997	1,63283
f_2	EnKötü	5,441391e-02	8,381841e-07	2,164361e+01
	Ortalama	1,813841e-03	1,402509e-07	7,707869e-01
	Enİyi	1,092370e-08	1,570592e-08	1,028208e-08
	StdSapma	9,767587e-03	2,293475e-07	3,885069e+00
	Süre (s)	3,09855	2,81669	3,13005
f_3	EnKötü	8,520130e+02	1,082049e+03	7,385973e+02
	Ortalama	8,785390e+01	1,285464e+02	1,049609e+02
	Enİyi	3,841233e-05	4,627194e-06	1,711891e-04
	StdSapma	1,782369e+02	2,388833e+02	1,764391e+02
	Süre (s)	1,82856	1,72127	2,05663
f_4	EnKötü	1,144762e+01	8,011580e+00	3,489272e+00
	Ortalama	1,056693e+00	8,905374e-01	4,382985e-01
	Enİyi	6,192533e-08	7,150392e-08	5,698369e-08
	StdSapma	2,849513e+00	1,871743e+00	9,799318e-01
	Süre (s)	2,04245	1,67091	1,8652
f_5	EnKötü	3,355613e+02	6,013800e+02	1,739837e+02
	Ortalama	5,426327e+01	5,571688e+01	4,111268e+01
	Enİyi	2,182145e+01	2,363062e+01	2,039549e+01
	StdSapma	6,959772e+01	1,069121e+02	3,911886e+01
	Süre (s)	2,2054	1,94517	2,26995
f_6	EnKötü	3,439406e-14	1,041409e-15	1,906136e-13
	Ortalama	1,697648e-15	3,517337e-16	6,670478e-15
	Enİyi	5,387312e-17	8,546262e-17	5,109132e-17
	StdSapma	6,152580e-15	2,812424e-16	3,415846e-14
	Süre (s)	1,5279	2,05464	1,63862
f_7	EnKötü	6,738654e-02	4,881840e-02	5,230530e-02
	Ortalama	2,759461e-02	2,136684e-02	1,894645e-02
	Enİyi	8,650578e-03	8,651339e-03	4,943576e-03
	StdSapma	1,255583e-02	1,000547e-02	9,998529e-03
	Süre (s)	1,97375	1,9602	1,97362

Çizelge 3.10’da yer alan f_1 ve f_2 fonksiyonları için 30 çalışmada elde edilen en iyi çözümlere ait, iterasyonlara göre yakınsamayı gösteren grafikler Şekil 3.31 ve 3.33’de verilmiştir. Aynı fonksiyonlar için 30 çalışmadaki en iyi değerlerin yayılımını gösteren kutu grafikleri (boxplot) ise Şekil 3.32 ve 3.34’de gösterilmiştir. Benzer grafikler tablodaki bütün fonksiyonlar

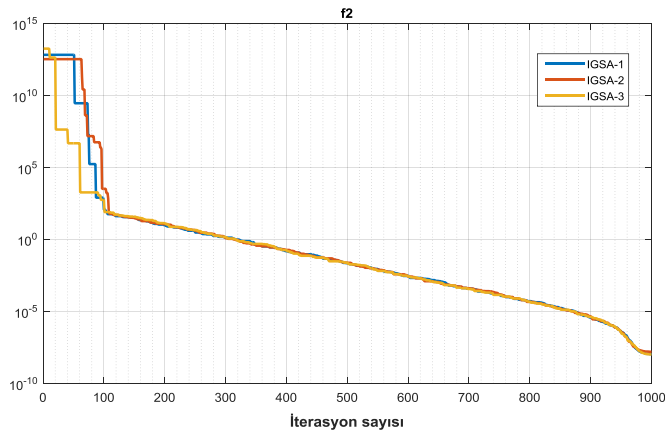
için elde edilmiş ve bu grafikler Ek 1’de Ek Şekil 1-10 arasında toplu olarak verilmiştir. Sonuç ve algoritmalar arasındaki performans farklılıklarının değerlendirmesinde f_{1-7} grafiklerinin tümü dikkate alınmıştır.



Şekil 3.31 f_1 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).



Şekil 3.32 f_1 boxplot (30-D).



Şekil 3.33 f_2 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).

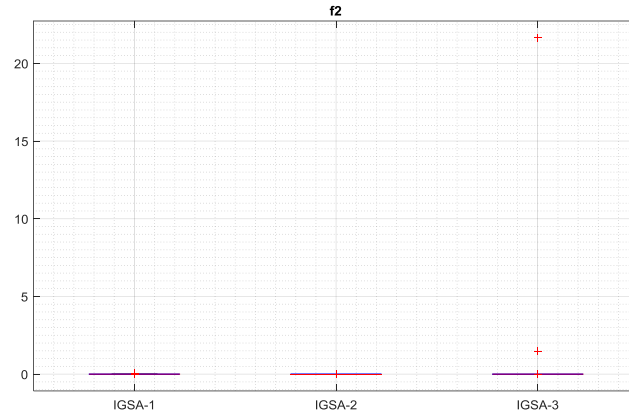
IGSA'nın geliştirilen üç farklı dinamik popülasyon yapıları (IGSA-1, 2 ve 3) kullanılarak f_{8-13} multimodal fonksiyonlar için $n=30$ (30-D) iken elde edilen değerler Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11. 30-D için elde edilen veriler (Çizelge 3.2 - 30 çalışma - 1000 iterasyon).

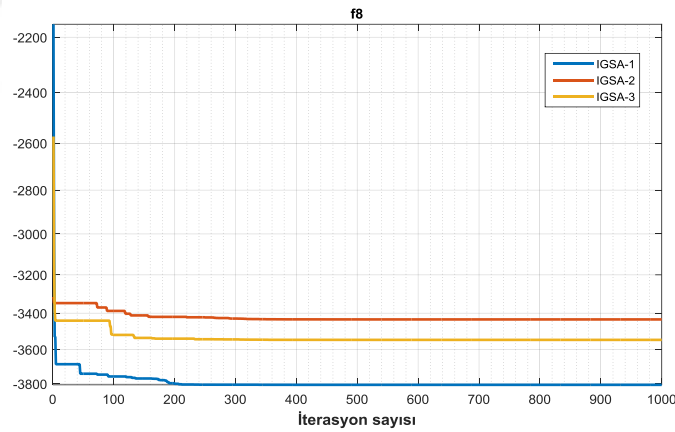
		<i>IGSA-1</i>	<i>IGSA-2</i>	<i>IGSA-3</i>
f_8	EnKötü	-1,843701e+03	-1,452079e+03	-1,660870e+03
	Ortalama	-2,544148e+03	-2,374274e+03	-2,582242e+03
	Enİyi	-3,806511e+03	-3,433367e+03	-3,545840e+03
	StdSapma	4,472887e+02	4,398477e+02	4,418730e+02
	Süre (s)	2,51284	2,44819	2,57891
f_9	EnKötü	2,062197e+02	2,103923e+02	2,554475e+02
	Ortalama	1,110968e+02	1,134551e+02	1,161007e+02
	Enİyi	1,593859e+01	1,393475e+01	1,294310e+01
	StdSapma	7,411178e+01	7,628099e+01	7,993884e+01
	Süre (s)	2,05841	2,72754	2,87048
f_{10}	EnKötü	1,182809e+01	1,242831e+01	1,272476e+01
	Ortalama	4,869031e+00	4,492758e+00	4,433195e+00
	Enİyi	3,507720e-08	4,438676e-07	1,616145e-08
	StdSapma	2,956345e+00	3,459099e+00	3,464948e+00
	Süre (s)	2,13946	1,92175	2,12988
f_{11}	EnKötü	3,207477e+00	3,058787e+00	2,493788e+00
	Ortalama	1,220744e+00	1,106219e+00	1,115384e+00
	Enİyi	0,000000e+00	9,857285e-03	0,000000e+00
	StdSapma	7,937864e-01	7,053247e-01	6,006262e-01
	Süre (s)	2,68671	2,49263	2,20691
f_{12}	EnKötü	3,865862e+05	9,214332e+04	1,387600e+06
	Ortalama	1,310786e+04	3,366475e+03	4,656500e+04
	Enİyi	1,258571e-18	6,062525e-02	1,242207e-18
	StdSapma	6,936181e+04	1,655814e+04	2,490272e+05
	Süre (s)	2,41656	2,57127	2,48583
f_{13}	EnKötü	3,045023e+04	9,512951e+03	1,369054e+05
	Ortalama	2,326026e+03	1,266023e+03	7,854080e+03
	Enİyi	2,221445e-17	1,733955e+01	3,392074e-17
	StdSapma	5,916179e+03	2,421417e+03	2,576256e+04
	Süre (s)	2,16374	1,79065	2,26384

Çizelge 3.11'de yer alan f_8 ve f_9 fonksiyonları için 30 çalışmada elde edilen en iyi çözümlere ait, iterasyon sayısına göre yakınsamayı gösteren grafikler Şekil 3.35 ve 3.37'de verilmiştir. Aynı fonksiyonlar için 30 çalışmadaki en iyi değerlerin yayılımını gösteren kutu

grafikleri ise Şekil 3.36 ve 3.38’de gösterilmiştir. Benzer grafikler tablodaki bütün fonksiyonlar için elde edilmiş ve bu grafikler Ek 1’de Ek Şekil 11-18 arasında toplu olarak verilmiştir. Sonuç ve algoritmalar arasındaki performans farklılıklarının değerlendirmesinde f_{8-13} grafiklerinin tümü dikkate alınmıştır.

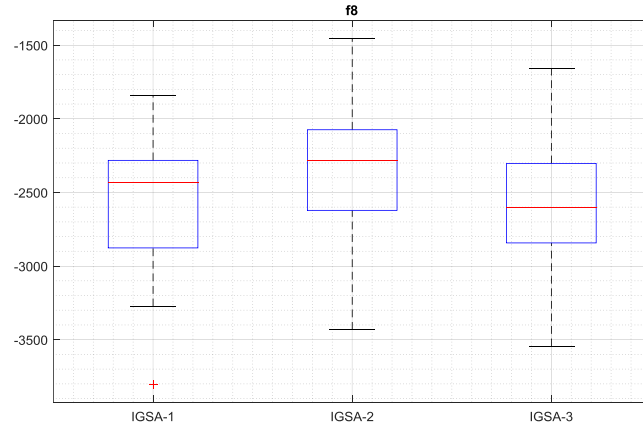


Şekil 3.34. f_2 boxplot (30-D).

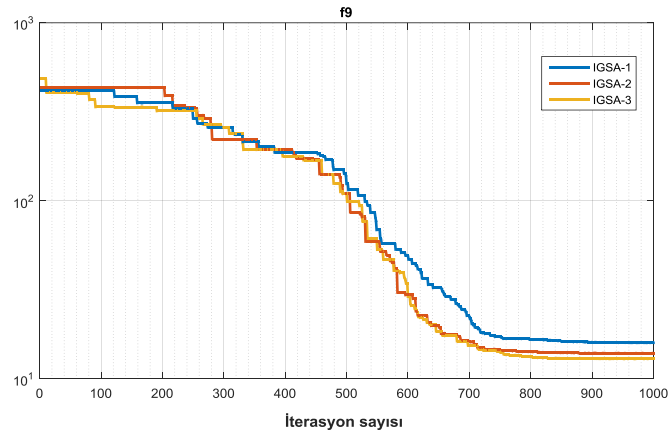


Şekil 3.35. f_8 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi(30-D).

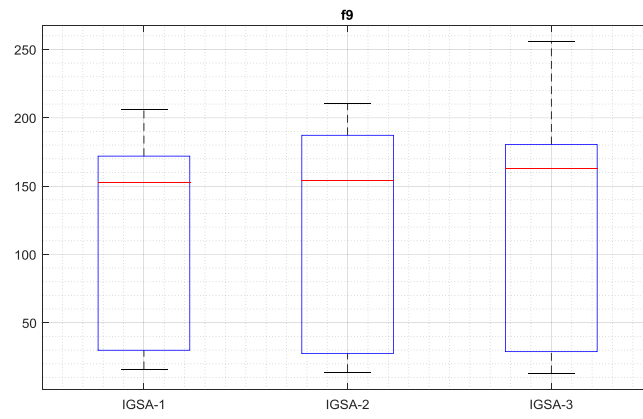
Çizelge 3.3’te yer alan sabit boyutlu multimodal fonksiyonların (f_{14-23}) IGSA algoritmaları ile çözümünden elde edilen değerler Çizelge 3.12’de verilmiştir. Çizelge 3.12’de yer alan f_{14} ve f_{15} fonksiyonları için 30 çalışmada elde edilen en iyi çözümlere ait, iterasyon sayısına göre yakınsamayı gösteren grafikler Şekil 3.39 ve 3.41’de verilmiştir. Aynı fonksiyonlar için 30 çalışmadaki en iyi değerlerin yayılımını gösteren kutu grafikleri ise Şekil 3.40 ve 3.42’de gösterilmiştir. Benzer grafikler tablodaki bütün fonksiyonlar için elde edilmiş ve bu grafikler Ek 1’de Ek Şekil 19-34 arasında toplu olarak verilmiştir. Sonuç ve algoritmalar arasındaki performans farklılıklarının değerlendirmesinde f_{14-23} grafiklerinin tümü dikkate alınmıştır.



Şekil 3.36. f_8 boxplot (30-D).



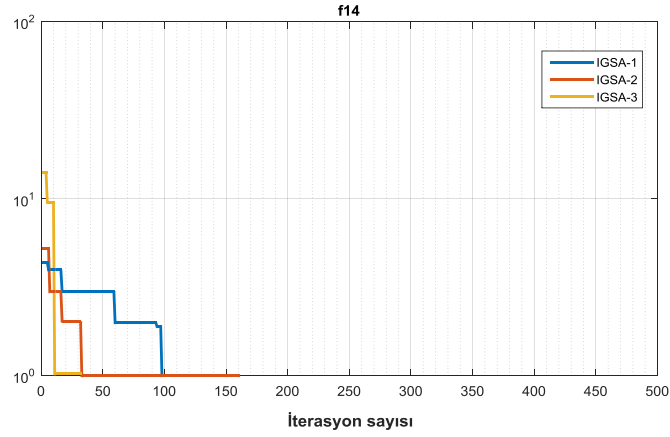
Şekil 3.37. f_9 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).



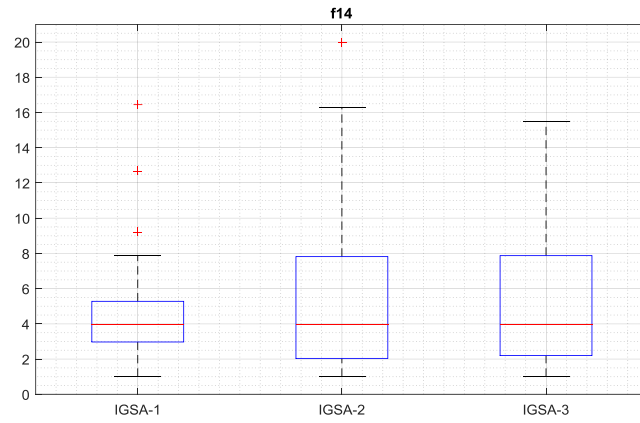
Şekil 3.38. f_9 boxplot (30-D).

Çizelge 3.12. Sabit boyutlu fonksiyonlar için elde edilen veriler (Çizelge 3.3 - 30 çalışma - 500 iterasyon).

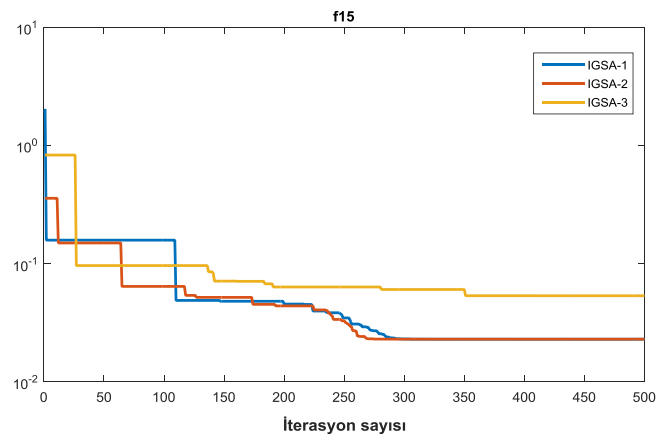
		<i>IGSA-1</i>	<i>IGSA-2</i>	<i>IGSA-3</i>
<i>f₁₄</i>	EnKötü	1,644743e+01	1,996537e+01	1,550681e+01
	Ortalama	4,641157e+00	5,557021e+00	5,265786e+00
	Enİyi	9,980043e-01	9,980042e-01	9,980975e-01
	StdSapma	3,327209e+00	4,881522e+00	3,567080e+00
	Süre (s)	0,845165	0,94789	0,844584
<i>f₁₅</i>	EnKötü	2,071401e-01	2,071401e-01	2,071401e-01
	Ortalama	1,790273e-01	1,834057e-01	1,923339e-01
	Enİyi	2,299337e-02	2,299337e-02	5,360846e-02
	StdSapma	5,234015e-02	4,315802e-02	2,661901e-02
	Süre (s)	0,745816	0,689924	0,607753
<i>f₁₆</i>	EnKötü	-1,029721e+00	-1,031622e+00	-1,031628e+00
	Ortalama	-1,031539e+00	-1,031628e+00	-1,031628e+00
	Enİyi	-1,031628e+00	-1,031628e+00	-1,031628e+00
	StdSapma	3,652159e-04	1,137674e-06	1,741317e-15
	Süre (s)	0,68669	0,82943	0,817918
<i>f₁₇</i>	EnKötü	3,978874e-01	3,978874e-01	3,978874e-01
	Ortalama	3,978874e-01	3,978874e-01	3,978874e-01
	Enİyi	3,978874e-01	3,978874e-01	3,978874e-01
	StdSapma	0,000000e+00	0,000000e+00	0,000000e+00
	Süre (s)	0,643753	0,600864	0,524264
<i>f₁₈</i>	EnKötü	3,000000e+00	6,964201e+01	3,000000e+00
	Ortalama	3,000000e+00	5,221400e+00	3,000000e+00
	Enİyi	3,000000e+00	3,000000e+00	3,000000e+00
	StdSapma	3,445567e-09	1,196261e+01	2,181977e-09
	Süre (s)	0,76326	0,667569	0,882639
<i>f₁₉</i>	EnKötü	-3,352838e+00	-3,352838e+00	-3,350793e-01
	Ortalama	-3,830342e+00	-3,794182e+00	-3,721516e+00
	Enİyi	-3,862782e+00	-3,862782e+00	-3,862782e+00
	StdSapma	1,009041e-01	1,541197e-01	6,329415e-01
	Süre (s)	0,804633	0,866591	0,736311
<i>f₂₀</i>	EnKötü	-8,764201e-01	-1,417046e+00	-2,865077e+00
	Ortalama	-3,171094e+00	-3,119533e+00	-3,240069e+00
	Enİyi	-3,321996e+00	-3,321996e+00	-3,321996e+00
	StdSapma	4,322616e-01	4,231661e-01	9,686505e-02
	Süre (s)	1,0456	0,763176	0,933641
<i>f₂₁</i>	EnKötü	-8,819909e-01	-8,819909e-01	-8,819909e-01
	Ortalama	-6,716312e+00	-5,555003e+00	-5,738017e+00
	Enİyi	-1,015320e+01	-1,015320e+01	-1,015320e+01
	StdSapma	2,964498e+00	2,289952e+00	3,210494e+00
	Süre (s)	0,814463	0,996449	0,838574
<i>f₂₂</i>	EnKötü	-9,080757e-01	-9,098050e-01	-2,751934e+00
	Ortalama	-6,741541e+00	-7,356980e+00	-7,731584e+00
	Enİyi	-1,040294e+01	-1,040294e+01	-1,040294e+01
	StdSapma	3,123684e+00	3,226934e+00	3,122271e+00
	Süre (s)	0,840662	0,819721	0,791046
<i>f₂₃</i>	EnKötü	-2,421734e+00	-2,421734e+00	-2,427335e+00
	Ortalama	-9,065598e+00	-7,583200e+00	-9,334515e+00
	Enİyi	-1,053641e+01	-1,053641e+01	-1,053641e+01
	StdSapma	2,976877e+00	3,451601e+00	2,720760e+00
	Süre (s)	0,988133	0,949979	0,854784



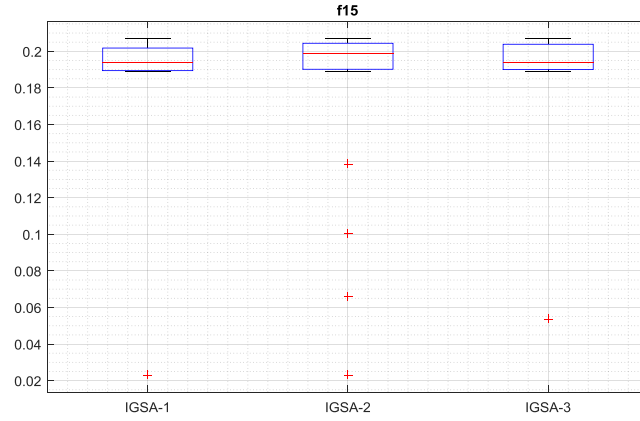
Şekil 3.39. f_{14} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (2-D).



Şekil 3.40. f_{14} boxplot (2-D).

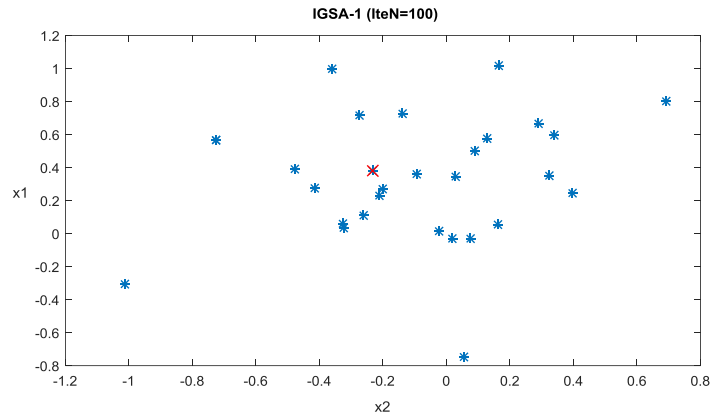


Şekil 3.41. f_{15} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (4-D).

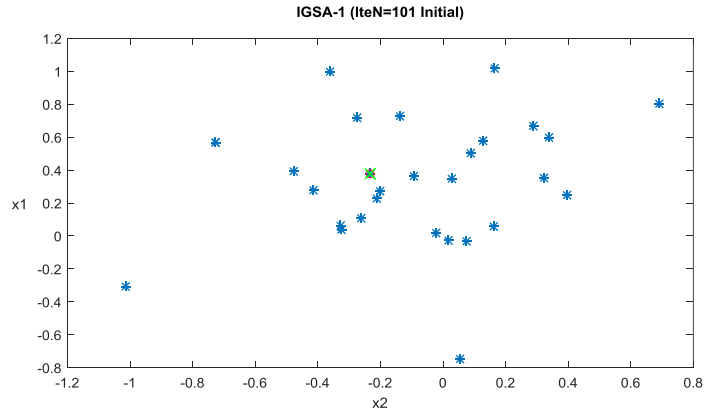


Şekil 3.42. f_{15} boxplot (4-D).

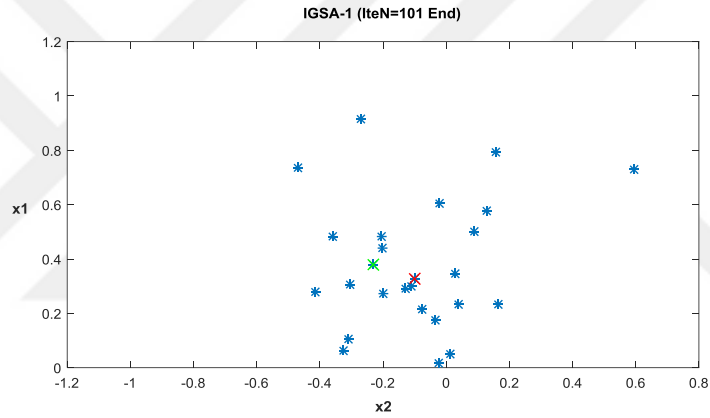
Çalışmada geliştirilen IGSA-1, 2 ve 3'ün test fonksiyonlarının çözüm sürecindeki popülasyon davranışları görmek için örnek olarak f_1 fonksiyonu seçilmiş ve ilgili grafikler IGSA-1 için Şekil 3.43-45'te, IGSA-2 için Şekil 3.46-48'de ve IGSA-3 için Şekil 3.49-51'de verilmiştir. Bu grafikler f_1 fonksiyonunun 30 boyutlu çözümündeki, 2 boyut (x_1 , x_2) için çizdirilmiştir.



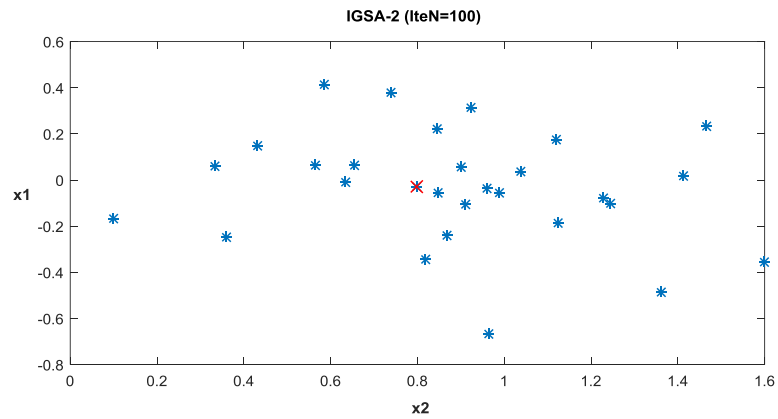
Şekil 3.43. IGSA-1'de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 - 100. iterasyon).



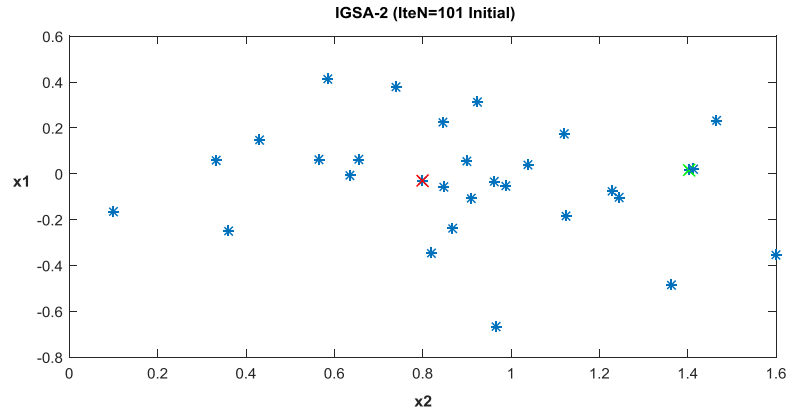
Şekil 3.44. IGSA-1’de popülasyondaki bireylerin konumları (f_1 - 101. iterasyon başlangıcı).



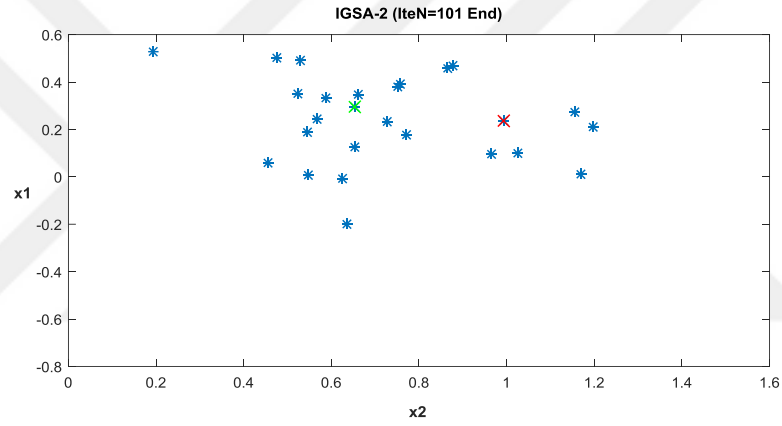
Şekil 3.45. IGSA-1’de popülasyondaki bireylerin konumları (f_1 - 101. iterasyon bitişi).



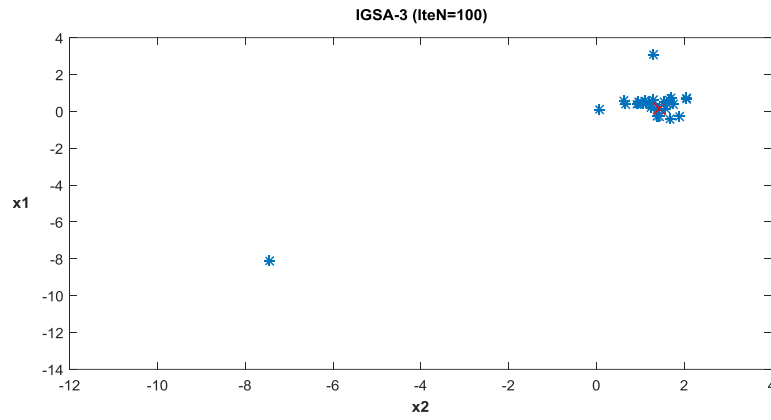
Şekil 3.46. IGSA-2’de popülasyondaki bireylerin konumları (f_1 - 100. iterasyon).



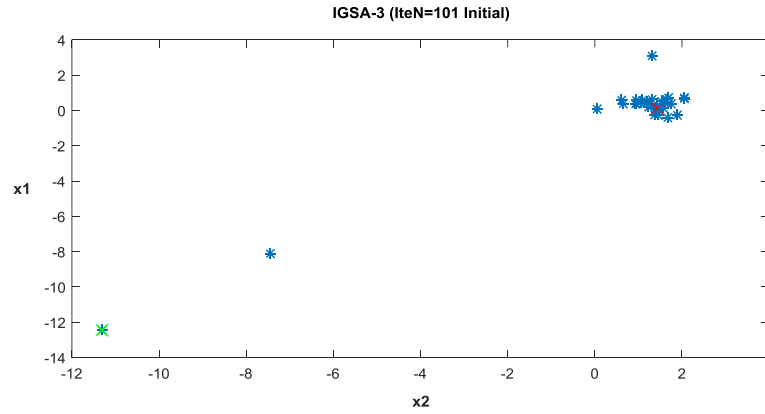
Şekil 3.47. IGSA-2’de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 - 101. iterasyon başlangıcı).



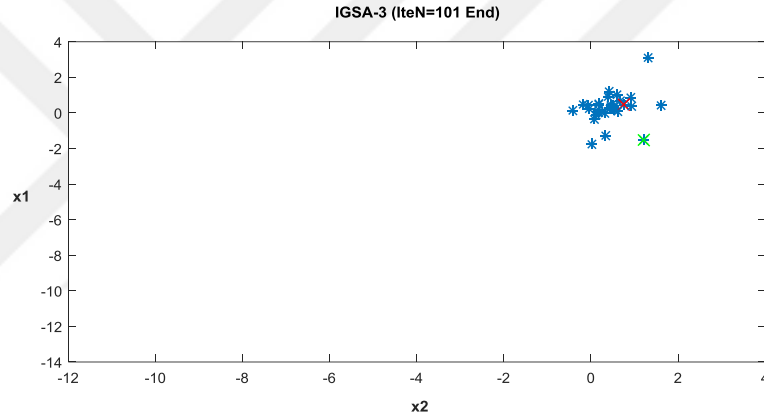
Şekil 3.48. IGSA-2’de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 - 101. iterasyon bitişi).



Şekil 3.49. IGSA-3’de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 - 100. iterasyon).

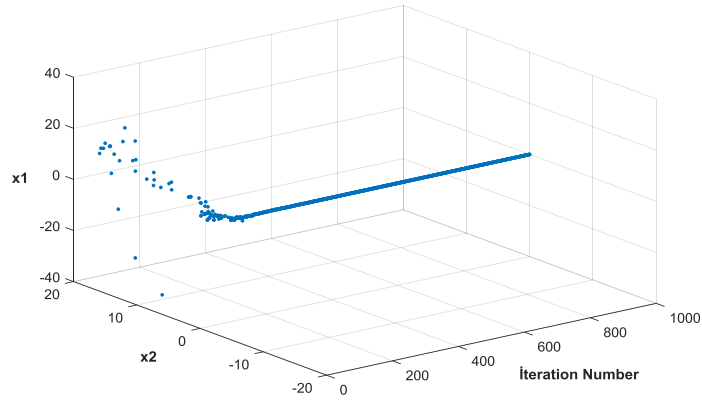


Şekil 3.50. IGSA-3’de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 - 101. iterasyon başlangıcı).

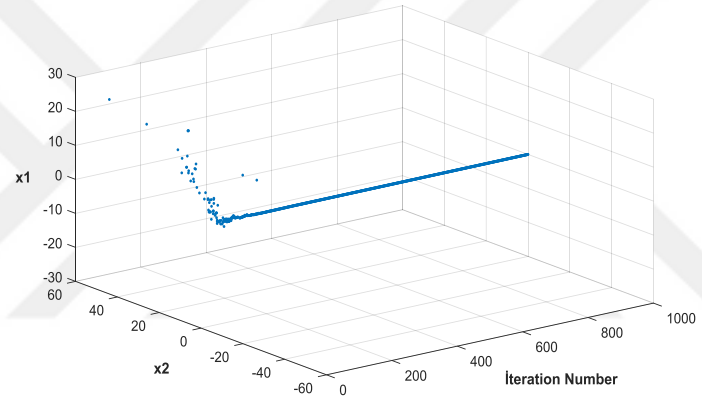


Şekil 3.51. IGSA-3’de popülasyonlardaki bireylerin konumları (f_1 - 101. iterasyon bitişi).

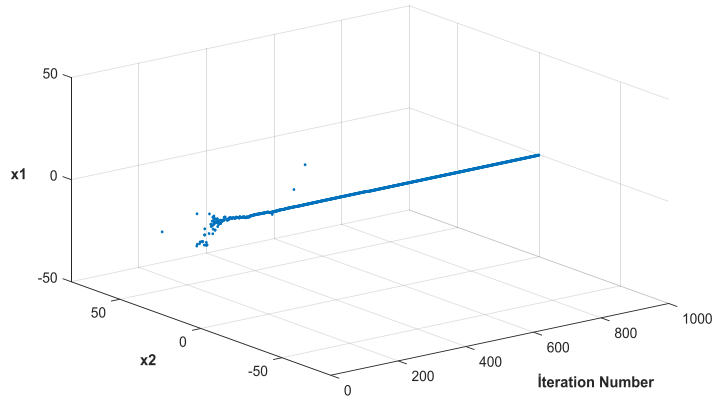
Her üç yaklaşım içinde ilk şekiller 100. iterasyonda, bireylerin popülasyondaki dağılımlarını, ikinci şekiller popülasyona eklenen yeni bireyle birlikte 101. iterasyonun başlangıç popülasyonunu, son şekillerde ise 101. iterasyonun sonucunda popülasyon içindeki bireylerin durumu göstermektedir. Bu şekillerde mavi renkli bireyler o anda popülasyonda bulunan bireyleri, kırmızı renkli bireyler popülasyondaki en iyi çözüme ait bireyleri, yeşil renkteki bireyler ise ISL yapısıyla popülasyona daha sonra eklenen bireyleri temsil etmektedir. IGSA-1, 2 ve 3’ün yine aynı f_1 fonksiyonu için çözüm sürecinde iterasyon sayısı tamamlanana kadar en iyi bireyin arama uzayındaki yakınsamasını gösteren grafikler ise Şekil 3.52-54’te sırasıyla verilmiştir.



Şekil 3.52. f_1 fonksiyonu için eniyi bireyin iterasyonlara göre davranışı (IGSA-1).



Şekil 3.53. f_1 fonksiyonu için eniyi bireyin iterasyonlara göre davranışı (IGSA-2).



Şekil 3.54. f_1 fonksiyonu için eniyi bireyin iterasyonlara göre davranışı (IGSA-3).

IGSA-3'teki ajanların, IGSA-1 ve 2'deki ajanlara göre, hem daha fazla ajanın optimum nokta etrafında arama yaptıklarını hem de optimum noktaya daha az sayıda iterasyonda ulaştıkları Şekil 3.54'deki grafikten görülmektedir.

IGSA'nın geliştirilen üç farklı dinamik popülasyon yapıları (IGSA-1, 2 ve 3) kullanılarak çalışmada bütün fonksiyonlar için elde edilen sonuçlar ile GSA'nın kaynak (1)'de yer alan 30-D için verilen en iyi sonuçlarla karşılaştırılması Çizelge 3.13'de verilmiştir. Literatürden alınan sayısal değerler, karşılaştırmaların daha kolay anlaşılabilmesi için çalışmadaki formatla aynı şekilde yazılmıştır. Çalışmada geliştirilen IGSA-1, 2 ve 3 için kendi aralarında elde edilen en iyi sonuçlar tabloda koyu renkle verilmiştir.

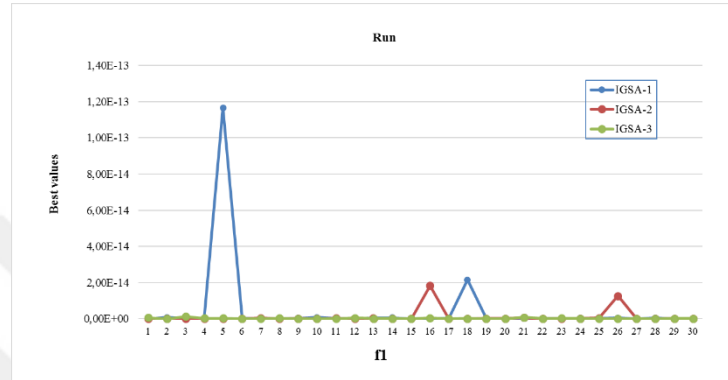
Çizelge 3.13. 30-D için literatür karşılaştırması.

	f_{min}	GSA (Rashedi, 2009)	IGSA-1	IGSA-2	IGSA-3
f_1	0	7,300000e-11	4,165276e-17	2,398027e-17	3,272324e-17
f_2	0	4,030000e-05	1,092370e-08	1,570592e-08	1,028208e-08
f_3	0	0,160000e+03	3,841233e-05	4,627194e-06	1,711891e-04
f_4	0	3,700000e-06	6,192533e-08	7,150392e-08	5,698369e-08
f_5	0	2,516000e+01	2,182145e+01	2,363062e+01	2,039549e+01
f_6	0	8,300000e-11	5,387312e-17	8,546262e-17	5,109132e-17
f_7	0	0,018000e+00	8,650578e-03	8,651339e-03	4,943576e-03
f_8	-418,9829 x n	-2,800000e+03	-3,806511e+03	-3,433367e+03	-3,545840e+03
f_9	0	1,532000e+01	1,593859e+01	1,393475e+01	1,294310e+01
f_{10}	0	6,900000e-06	3,507720e-08	4,438676e-07	1,616145e-08
f_{11}	0	0,290000e+00	0,000000e+00	9,857285e-03	0,000000e+00
f_{12}	0	0,010000e+00	1,258571e-18	6,062525e-02	1,242207e-18
f_{13}	0	3,200000e-32	2,221445e-17	1,733955e+01	3,392074e-17
f_{14}	0	3,700000e+00	9,980043e-01	9,980042e-01	9,980975e-01
f_{15}	0,0003	8,000000e-03	2,299337e-02	2,299337e-02	5,360846e-02
f_{16}	-1.0316	-1,031600e+00	-1,031628e+00	-1,031628e+00	-1,031628e+00
f_{17}	0.398	0,397900e+00	3,978874e-01	3,978874e-01	3,978874e-01
f_{18}	3	3,000000e+00	3,000000e+00	3,000000e+00	3,000000e+00
f_{19}	-3.86	-3,735700e+00	-3,862782e+00	-3,862782e+00	-3,862782e+00
f_{20}	-3.32	-2,056900e+00	-3,321996e+00	-3,321996e+00	-3,321996e+00
f_{21}	-10.1532	-6,074800e+00	-1,015320e+01	-1,015320e+01	-1,015320e+01
f_{22}	-10.4028	-9,339900e+00	-1,040294e+01	-1,040294e+01	-1,040294e+01
f_{23}	-10.5363	-9,454800e+00	-1,053641e+01	-1,053641e+01	-1,053641e+01

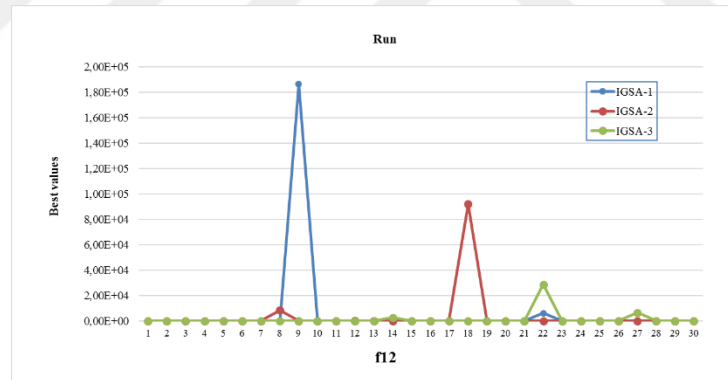
Tablo incelendiğinde çalışmada geliştirilen IGSA-1, 2 ve 3'ün GSA'ya göre daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür. Geliştirilen üç farklı dinamik popülasyon yapısı (IGSA-1, 2 ve 3) kendi aralarında değerlendirildiğinde ise IGSA-3 yaklaşımı diğerlerine göre daha fazla sayıda fonksiyon için en iyi değeri yakalamıştır. IGSA-1 ve 2 yaklaşımları 4 fonksiyon için, IGSA-3 yaklaşımı ise 9 fonksiyon için en iyi değeri yakalamış, 8 adet test fonksiyonu için ise her 3 algoritmada en iyi değere ulaşmıştır.

3.5.1. Kararlılık analizi

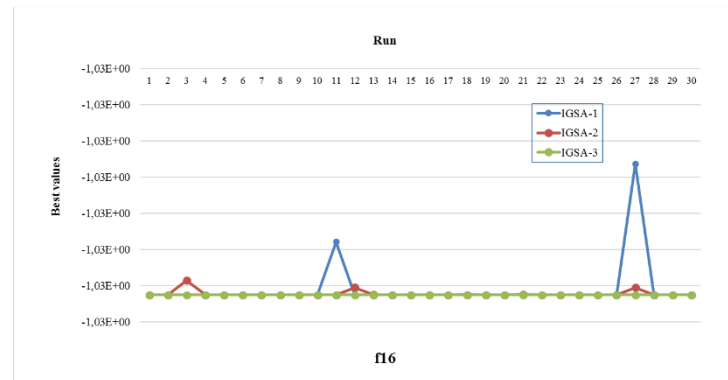
IGSA-1, 2 ve 3 algoritmaları 23 adet test fonksiyonu için 30 kez çalıştırılmıştır. Elde edilen en iyi değerlerin 30 çalışma için kararlılıklarını gösteren örnek grafikler, f_1 , f_{12} ve f_{16} fonksiyonları için sırasıyla Şekil 3.55-3.57'de gösterilmiştir.



Şekil 3.55. f_1 için 30 çalışma en iyi sonuçları (30-D).



Şekil 3.56. f_{12} için 30 çalışma en iyi sonuçları (30-D).



Şekil 3.57. f_{16} için 30 çalışma en iyi sonuçları (2-D).

Literatürde bu tür çalışmaları istatistiki olarak karşılaştırabilmek için Wilcoxon testi uygulanmaktadır (Garcia vd., 2009). Veri sayısının az olması durumunda parametrik olmayan Wilcoxon testi uygulanarak daha hassas ve doğru sonuç elde edilmektedir. Bu nedenle bu çalışmada Çizelge 3.13’de verilen 23 adet test fonksiyonuna ait GSA, IGSA-1, 2 ve 3’e ait 30 çalışmanın en iyi değerleri, literatürde tanımı yapılan Wilcoxon istatistiki değerlendirme testlerine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.14’te verilmiştir. Verilerin analizinde anlamlılık düzeyi 0,05 olarak alınmıştır.

Çizelge 3.14. f_1-f_{23} fonksiyonlarına ait 30 çalışma ve 30-D için elde edilen en iyi değerlerin Wilcoxon testleri.

	Wilcoxon (p-değeri)			
	f_1-f_7	f_8-f_{13}	$f_{14}-f_{23}$	f_1-f_{23}
GSA - IGSA-1	0,0156	0,4375	0,0195	0,0011
GSA - IGSA-2	0,0156	0,5625	0,0195	0,0045
GSA - IGSA-3	0,0156	0,0625	0,0195	0,0002
IGSA-1 - IGSA-2	0,2968	0,2188	1	0,1040
IGSA-1 - IGSA-3	0,1563	1	0,5	0,7148
IGSA-2 - IGSA-3	0,2188	0,0313	0,5	0,0413

Şekil 3.55-57’den de görüldüğü gibi IGSA-3, aynı parametrelerle 30 çalışma değeri için IGSA-1 ve 2’ye göre daha fazla sayıda minimum sonuca yakınsamışlardır. Çizelge 3.13’te verilen değerler baz alındığında ise IGSA-3’ün IGSA-1 ve 2’ye göre daha fazla sayıda en iyi değeri yakaladığı görülmektedir. Çizelge 3.14’te verilen p değerlerine göre ise, çalışmada geliştirilen IGSA-1, 2 ve 3’ün, GSA’dan anlamlı farklılıkları oldukları görülmektedir. En fazla anlamlı farklılık IGSA-3 metodu lehine gerçekleştirilmiştir ($p=0.0002$). Bütün bu incelemeler nedeniyle IGSA-3 yaklaşımının, IGSA-1 ve 2 yaklaşımlarından daha kararlı bir yapı olduğu söylenebilir. Bundan sonraki çalışmalarımızda ve uygulamalarımızda IGSA-3 yaklaşımının kullanımı tercih edilecek ve araştırmacılara önerilecektir.

3.6. Parametre Uyarlama

Sezgisel algoritmalar problemlerden bağımsız olarak geliştirildikleri için, değişik problemlere uygulandıklarında farklı performanslar gösterirler. Bu farklılıkların giderilmesi için çözülecek optimizasyon problemine özgü uygun parametre değerlerinin bulunması gerekmektedir.

Uygun parametre değerlerinin bulunması bir sezgisel algoritmanın ayarlanması anlamına gelmektedir (Afşar, 2014; Afşar vd., 2017).

Herhangi bir sezgisel algoritma için sahip oldukları birçok parametrenin ayarlanması gerekebilir. Çünkü bu parametrelerin alacağı değerler, algoritmanın verimliliğini ve performansını etkilerler. Tüm problemleri sabit parametre değerleri ile çözmek mümkün olsa da bazı problemlerde bu durum kötü sonuçlar elde edilmesine neden olabilir. Algoritmanın üzerinde çalıştırılacağı probleme ve çözüm için geçecek zamana bağlı olarak parametrelerin alacağı uygun değerler değişir. Tüm problemler için geçerli, genel geçer uygun parametre değerleri herhangi bir algoritma için mümkün değildir. Literatürde çevrimdışı ve çevrimiçi ayarlama olmak üzere iki farklı parametre ayarlama yöntemi bulunmaktadır (Afşar, 2014; Afşar vd., 2017).

3.6.1. Çevrimdışı ayarlama

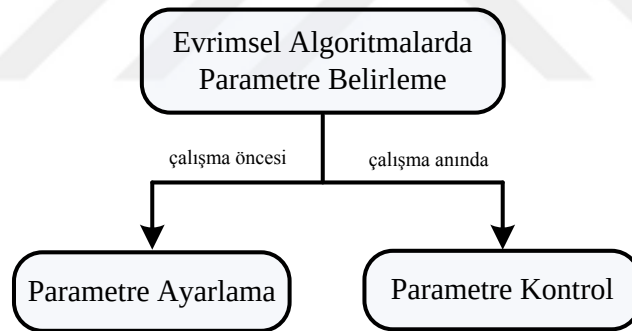
Sezgisel bir algoritmanın parametrelerinin belirlenmesi, algoritmanın çalışması öncesinde olabileceği gibi çalışma esnasında da olabilmektedir. Çevrimdışı ayarlama parametre değerleri çalışma öncesi belirlenir ve problem çözümü süresince bu değerler sabit kalır (Afşar, 2014; Afşar vd., 2017).

Çevrimdışı ayarlama deneme-yanılma ve optimizasyon problemine dönüştürme olmak üzere iki yöntem mevcuttur. Deneme-yanılma yönteminde algoritmanın geliştiricisinin deneyimlerine göre parametrelere değerler verilir ve algoritma o değerler ile çalıştırılır. Üretilen sonuçlar alınarak, tekrar farklı parametre değerleri ile algoritma çalıştırılır. Üretilen sonuçlar daha öncekilerle karşılaştırılır ve bu şekilde yineleyerek uygun parametre değerlerine ulaşılmaya çalışılır. Ancak çok sayıda parametresi olan algoritmalar için bu metot çok zaman alıcı ve hatalar içeren bir metottur. Çünkü genelde algoritmada tek parametre için en uygun değeri bulduktan sonra diğer parametreye geçer ve aynı işlemi tekrarlar. Ancak bu durumda parametreler arasındaki ilişki göz ardı edilmektedir. Bu nedenle bu yöntemle en uygun parametre değerlerinin bulunması garanti değildir. Parametreler arasındaki ilişkinin göz önünde bulundurulması ise deneme-yanılma yöntemi ile pek mümkün değildir. Çünkü tüm parametrelerin alabileceği değerler ile tüm kombinasyonların oluşturulması ve her bir kombinasyon ile algoritmanın çalıştırılması ve her çalışma sonucunun birbiri ile karşılaştırılması gerekmektedir (Afşar, 2014; Afşar vd., 2017).

Çevrimdışı ayarlama ikinci yöntem ise çalışılan algoritmanın parametre değerlerinin bulunmasını optimizasyon problemine dönüştürmek ve optimizasyon problemini başka bir algoritma ile çözmektir. Örneğin; GSA'ya ait parametrelerin alacağı değerler bir eniyileme problemi şeklinde formüle edilir. Bu problem bir başka sezgisel algoritma ile çözülmeye çalışılır.

Ancak bu durumda da çözümü yapan algoritmanın başarısı ve parametreleri önemli hale gelmektedir. Literatürde bu sürecin otomatikleştirilmesi ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda çevrimdışı olarak sadece sayısal parametrelerin değerlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. F-Race ve yinelemeli F-Race gibi çalışmalarda ise sayısal parametrelerin yanında kategorik parametrelerin de otomatik olarak çevrimdışı belirlenmesi hedeflenmiştir (Afşar, 2014; Afşar vd., 2017).

Evrimsel algoritmalar için parametre ayarlama yöntemleri Şekil 3.58’de gösterildiği gibi iki farklı ana alana ayrılmıştır. Parametre ayarlama algoritma çalıştırılmadan önce iyi parametre değerleri bulunur ve algoritma bulunan bu değerlerle çalıştırılır. Algoritmanın çalışma süresince bu değerler sabit kalmaktadır. Parametrelerin algoritmanın çalışma süresince sabit kalması evrimsel algoritmaların doğasına aykırıdır. Bu sebeple bu yönteme alternatif olarak parametre kontrol yöntemleri üzerinde çalışılmıştır. Parametre kontrol yönteminde parametrelere ilk değerler verilir ve algoritma çalışmaya başlar. Çalışma süresince, arama uzayından gelen geri-bildirimlerle parametre değeri güncellenerek en uygun çözüme ulaşılmaya çalışılır (Afşar, 2014; Afşar vd., 2017).



Şekil 3.58. Genel parametre belirleme yöntemleri.

3.6.2. Çevrimiçi ayarlama

Çevrimdışı ayarlamanın çok yüksek hesaplama maliyetine sahip olması, her bir problem örneği için parametre değerlerinin yeniden belirlenmesi gerekliliği, algoritmanın problem çözme süresince sabit parametre değerleri ile çalışıyor olması ve uzun süreler alması gibi eksiklikleri bulunmaktadır. Algoritmanın çalışma zamanında sabit parametre değerleri ile çalışması yerel minimumlara takılmaya sebep olabilmektedir. Bu nedenle parametre değerlerinin çalışma esnasında güncellendiği çevrimiçi ayarlama yöntemleri öne sürülmüştür (Afşar, 2014; Afşar vd., 2017).

Evrimsel algoritmalar doğası gereği dinamik yapıdadırlar. Dinamik yapıda olan bir algoritmayı değeri değişmeyen yani statik parametre değerleri ile çalıştırmak bu algoritmaların doğasına aykırıdır. Buna ek olarak, literatürde çok sayıda yapılan çalışmalardan evrimsel algoritmaların farklı aşamalarında farklı parametre değerleri ile daha iyi sonuç ürettikleri görülmüştür. Bu nedenle parametre ayarlama için parametre kontrol yöntemlerinin kullanılması daha uygundur. Bu yöntemler deterministik, uyarlanabilir ve kendinden uyarlanabilir olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır (Afşar, 2014; Afşar vd., 2017).

Deterministik parametre kontrolü yönteminde, parametre değerleri deterministik ve statik bir kural tarafından değiştirilir. Bu kural önceden tanımlanmış, sabit ve algoritmanın arama sürecinden bağımsızdır. Algoritma geliştiricisi tarafından belirlenen bu kural genellikle zamana bağlı olarak parametre değerlerini güncellemektedir.

Uyarlanabilir parametre kontrolünde, algoritmanın çalışma esnasındaki davranışına göre yani arama sürecinden gelen geri-bildirimlere göre stratejik parametre değerleri güncellenir.

Kendinden uyarlanabilir parametre kontrolü yönteminde, uyarlanacak parametreler çözüm adaylarının bir parçası haline getirilir ve böylece onlar da çaprazlamaya uğrarlar. Uygun parametre değerleri iyi bireylerin oluşmasına, iyi bireylerde seçilerek iyi ebeveynlerin oluşmasına, iyi ebeveynler de iyi yavruların oluşmasına neden olarak uygun parametre değerlerinin sonraki nesle aktarılmasını sağlar. Bu durum uyarlanabilir parametre kontrolünden farklıdır. Burada parametreler evrimsel süreç içerisinde evrimsel gelişime dahil olmakta ve değerleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır.

3.6.3. GSA ve IGSA için parametre uyarlaması

Bu çalışmada çözümü yapılan problemler için algoritma parametreleri çevrimdışı olarak belirlenmiştir. IGSA için, en iyi çözümü bulma ve algoritmanın yakınsama hızı üzerinde G_0 ve α değerlerinin etkileri büyüktür. Dolayısıyla her problemin özelliğine göre bu değerlerin yeniden belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle IGSA için, algoritmanın çalışmasına doğrudan etki eden bu iki parametre değerinin belirlenmesi iki şekilde yapılmıştır. Parametre belirlemede konveks maliyet fonksiyonları içeren problemlerin çözümü için denklem (3.17)'deki, konveks olmayan maliyet fonksiyonları içeren problemlerin çözümü için denklem (3.18)'deki fonksiyonlar kullanılmıştır. Her iki fonksiyon, Çizelge 3.15'teki değerler kullanılarak ve belirlenen aralıklarda GSA ile çözülmüştür. Bu çözümlerden, en uygun maliyet değerinin elde edildiği parametre değerleri problemlerin çözümü için kullanılmak üzere alınmıştır. Fonksiyonların çözüm aralıkları ve en uygun maliyetin elde edildiği parametre değerleri Çizelge 3.16'da verilmiştir.

$$f_{24}(x) = a + b.x + c.x^2 \quad (3.17)$$

$$f_{25}(x) = a + b.x + c.x^2 + \left| e.\sin(f(x^{\min} - x)) \right| \quad (3.18)$$

Çizelge 3.15. Çevrimdışı uyarlama için değişken değerleri.

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>x_{min}</i>	<i>x_{max}</i>
527,0	7,48	0,001495	480	0.015	30	350

Çizelge 3.16. Parametre değerleri.

<i>Fonksiyon</i>	<i>G₀ (min)</i>	<i>G₀ (max)</i>	<i>α (min)</i>	<i>α (max)</i>	<i>G₀</i>	<i>α</i>	<i>D</i>
<i>f₂₄</i>	99	1001	9	101	331	11	30
<i>f₂₅</i>	99	1001	9	101	343	9	30

4. HİDROTERMAL KOORDİNASYON PROBLEMİ

Hidrolik ve termik üretim birimlerden oluşan elektrik enerjisi sisteminin tüm olası kısıtlar altında optimal olarak işletilmesi problemine hidrotermal koordinasyon problemleri (HTKP) denir. HTKP'ler işletim sürelerine göre, uzun ve kısa dönem olarak iki gruba ayrılmaktadır. Kısa dönem HTKP (KDHTKP) ise sabit düşülü (Fixed-head) ve değişken düşülü hidrolik üretim birimleri (Variable-head) bulunan KDHTKP'ler olarak sınıflandırılırlar. Bu tür problemler hidrolik birimlerin yerleşim şekline göre yani hidrolik birimlerinin birbirleriyle hidrolik olarak ilişkilerine göre üçe ayrılırlar. Bunlar seri bağlı hidrolik birimler (aynı nehir üzerinde-same-stream), paralel bağlı hidrolik birimler (farklı nehir üzerinde-different stream) ve çoklu zincirleme bağlı hidrolik birimler (hem seri hem de paralel-multi chain) olarak sayılabilir. KDHTKP'lerde yer alan hidrolik birimler çalışma şekillerine göre, hidrolik birimler ve pompayla doldurulmalı hidrolik birimler olarak ikiye ayrılmaktadır.

4.1. Uzun Dönem Hidrotermal Koordinasyon Problemi

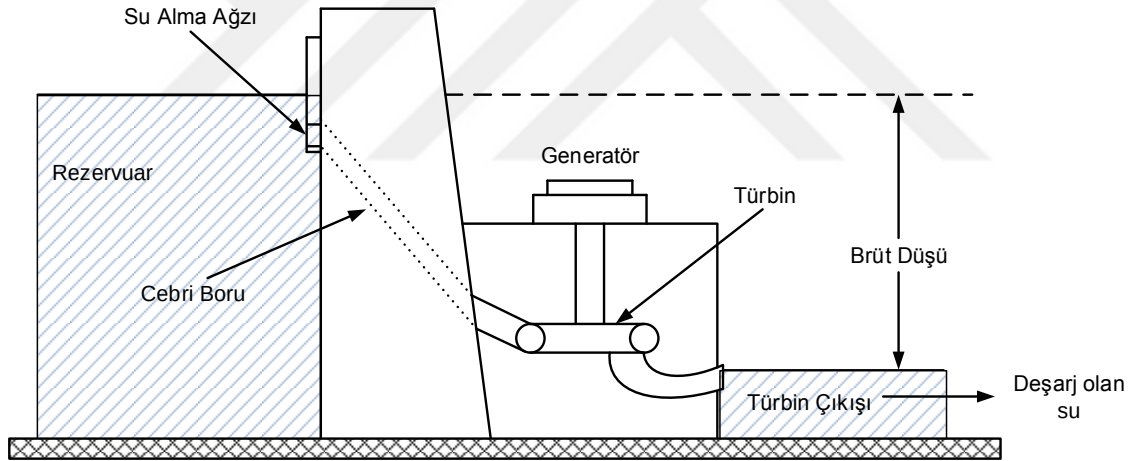
Uzun dönem HTKP'leri bir hafta ile bir yıl veya daha uzun işletim dönemlerini kapsamaktadır. Bu tür problemlerin çözümüne başlamadan önce belirlenen dönem aralığında kullanılacak su miktarları geçmiş yıllarda elde edilen verilerden yola çıkarak yaklaşık olarak bilinmesi gerekir. Bunun için mevsimlere bağlı olarak meteorolojik bilgi ve istatistikler gereklidir. Doğal olaylara karşı (sel, kuraklık vb.) hidrolik kısıtlara uygun önlemler alınmalıdır. Tarım sulaması, balıkçılık, nehir akış kısıtları ve hidrolik birim yakınında bulunan yerleşim birimlerine zarar verebilecek taşkınlar gibi nedenlerden dolayı hidrolik birimin rezervuarında tutulan ve salınan suyun miktarı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu tür problemlerde aynı zamanda elektriksel yüklerdeki değişimler, bu yüklerin tepe yük saatleri ve elektrik üretim sistemlerinin yapım, bakım ve onarım zamanlarında dikkate alınması gereklidir. Dolayısıyla bu tür problemler büyük öneme sahip ve çok kapsamlı problemlerdir (Kothari ve Dhillon, 2007; Wood vd., 2013)

4.2. Kısa Dönem Hidrotermal Koordinasyon Problemi

KDHTKP'i bir günden bir haftaya kadar olan işletim süresini kapsamaktadır. Bu süre zarfında ele alınan elektrik enerjisi sistemindeki yük dağılımının ve bu yükleri besleyecek olan enerji üretim birimlerinin bilindiği kabul edilmektedir. Problemde ele alınan işletim süresi, alt zaman dilimlerine bölünerek her bir dilimde yüklerin değişmediği kabul edilmektedir.

KDHTKP'nin çözümü, öngörülen işletim süresi boyunca toplam yakıt maliyetini minimum yapan, sistemdeki olası elektrik ve hidrolik kısıtların sağlandığı üretim birimlerinin aktif ve reaktif güç üretim değerlerini vermektedir (Wood vd., 2013).

Bu çalışmada KDHTKP'i çözülürken termik üretim birimlerin toplam yakıt maliyetinin minimizasyonu yanında hidrolik üretim birimlerinin her birinin istenilen düzeyde suyu kullanması sağlanacaktır. Hidrolik üretim birimlerinin bulunduğu sistemlerin periyodik bir dönem boyunca optimal işletimi, sadece termik üretim birimlerinden oluşan sistemlerin işletiminden daha karmaşıktır. Sağlanması gereken güç üretim-tüketim dengesi, güvenlik kısıtları (bara gerilim genliği kısıtı, hat taşıma kapasite kısıtları vb.), birimlerin güç üretim sınırları, hidrolik birimlerin hem elektriksel hem de hidrolik olarak birbirlerine bağlı olmaları KDHTKP'ini büyük boyutlu, lineer olmayan karmaşık bir optimizasyon problemi haline getirmektedir. Hidrolik bir birime ait şematik gösterim Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Hidrolik üretim biriminin bileşenleri.

Şekil 4.1'de suyu tutabilecek bir gövdeye sahip rezervuar, türbin, generatör ve suyun türbine verilmesini sağlayan cebri boru görülmektedir. Şekildeki brüt düşü, rezervuardaki su yüksekliği ile türbin çıkışı arasındaki yükseklik farkı olarak belirtilmiştir. Su akış kayıpları, düşük yükseklik ve uzun cebri boruya sahip birimler için çok önemlidir. Su giriş ağzında, cebri boruda ve türbin çıkışındaki sürtünme kayıplarından dolayı düşü yüksekliği etkilenmektedir. Brüt düşüden söz konusu bu kayıplar çıkartıldığında net düşü elde edilir (Wood vd., 2013).

Bir hidrolik birimde, depolanan suyun belirli bir yükseklikten salınmasıyla elde edilen potansiyel enerji, türbin ve generatör vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Gerçekte

depolanan suyun salınmasıyla elde edilen elektriksel güç, suyun farklı yüksekliklerden salınmasıyla değişmektedir. Bu çalışmada, KDHTKP'nin yapısının hidrolik birimler için iki farklı şekilde olması durumu incelenmiştir. Bunlardan birisi hidrolik birimler için net düşünün üretilen aktif güç üzerindeki etkisinin dikkate alınmaması, yani ele alınan işletim süresince rezervuarlardaki su miktarının çok fazla değişmediği kabul edilmiştir. İkinci durum ise hidrolik birimler için net düşünün üretilen aktif güç üzerindeki etkisinin dikkate alınması, diğer bir ifadeyle ele alınan işletim süresince rezervuardaki su miktarının üretilen aktif gücü etkileyecek kadar değiştiği kabul edilmiştir.

4.1.1. Sabit düşülü hidrolik birimler

KDHTKP'lerinde hidrolik birimler için eğer net düşünün üretilen aktif güç üzerinde etkisi yok denecek kadar az ise veya ihmal edilebiliyorsa bu tür problemlere sabit düşülü KDHTKP'leri denir. Bu yaklaşımda ele alınan işletim süresince hidrolik birimlerin rezervuarlarındaki su miktarının çok fazla değişmediği kabul edilmiştir. Bu durum genellikle çok büyük rezervuar hacimlerine sahip hidrolik birim içeren sistemler için geçerlidir (Kothari ve Dhillon, 2007).

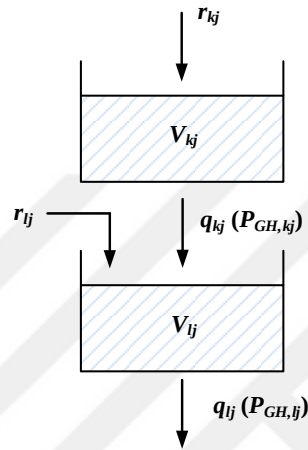
4.1.2. Değişken düşülü hidrolik birimler

KDHTKP'lerinde hidrolik birimler için eğer net düşünün üretilen aktif güç üzerinde etkisi varsa bu tür problemlere değişken düşülü KDHTKP'leri denir. Yani, ele alınan işletim süresince hidrolik birimlerin rezervuarlarındaki su miktarının güç üretimini etkileyecek kadar değiştiği kabul edilmiştir. Bu durum genellikle küçük rezervuar hacimlerine sahip hidrolik birim içeren sistemler için geçerlidir (Kothari ve Dhillon, 2007).

4.3. Seri Bağlı Hidrolik Birimler

Hidrolik birimler yerleşim bakımından farklılıklar gösterebilir. Bunlardan biri seri bağlı hidrolik birimlerdir. Seri bağlı hidrolik birimlerde akarsu üzerinde yerleşim açısından önceki birimden bırakılan su sonraki birimin rezervuarını doldurur. Bu yerleşim biçiminde bir birimin işletilmesi diğer birimi etkileyecektir. Aynı akarsu üzerinde seri bağlı hidrolik birimlerin gösterimi Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekildeki k ile l . hidrolik birim arasındaki j . zaman dilimindeki süreklilik denklemleri denklem (4.1) ve (4.2)'de verilmiştir. Denklemde k . hidrolik birimden bırakılan suyun direk olarak l . hidrolik birimin rezervuarına zaman gecikmesi olmadan ulaştığı

kabul edilmiştir. Denklemdaki V_{kj} , j . zaman dilimi sonundaki, k . hidrolik birimin rezervuarındaki su hacmini, $q_{kj}(P_{GH,kj})$ saat başına deşarj edilen su miktarı, r_{kj} saat başına rezervuara giren su miktarını, t_j zaman dilimi süresini ve V_{kj-1} ise $(j-1)$. zaman dilimi sonundaki k . hidrolik birimin rezervuarındaki su hacmini göstermektedir (Kothari ve Dhillon, 2007).



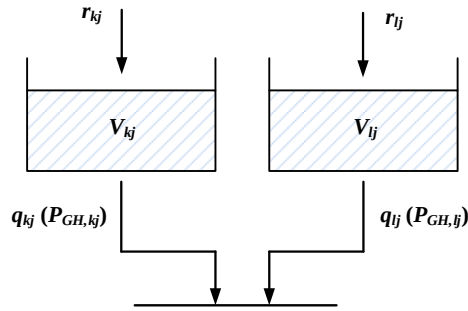
Şekil 4.2. Hidrolik olarak seri bağlı birimler.

$$V_{kj} = V_{kj-1} - [q_{kj}(P_{GH,kj}) - r_{kj}] \cdot t_j \quad (4.1)$$

$$V_{lj} = V_{lj-1} - [q_{lj}(P_{GH,lj}) - q_{kj}(P_{GH,kj}) - r_{lj}] \cdot t_j \quad (4.2)$$

4.4. Paralel Bağlı Hidrolik Birimler

Birbirlerine paralel bağlı hidrolik birimlerde bütün hidrolik birimler birbirinden bağımsız su girişine ve çıkışlarına (deşarjlarına) sahiptirler. Bu tür yerleşim biçiminde bir birimin işletilmesi hidrolik olarak diğer bir birimi etkilememektedir. Farklı akarsular üzerinde paralel bağlı hidrolik birimlerin gösterimi Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekilde gösterilen rezervuarların j . zaman dilimindeki su değişimi (4.3) ve (4.4) denklemleriyle verilmektedir (Kothari ve Dhillon, 2007).



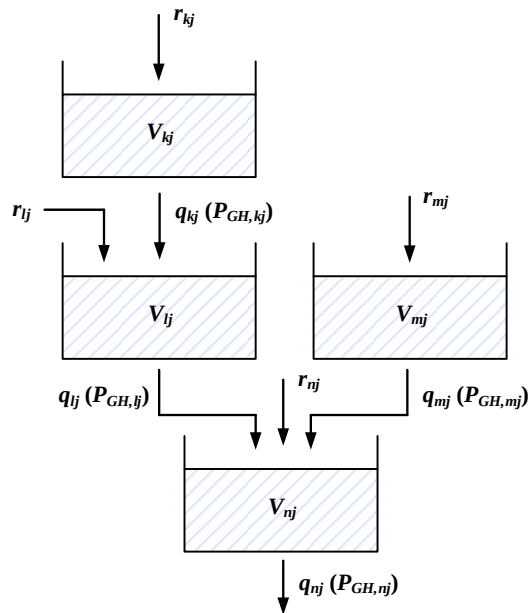
Şekil 4.3. Hidrolik olarak paralel bağlı birimler.

$$V_{kj} = V_{kj-1} - [q_{kj}(P_{GH,kj}) - r_{kj}] \cdot t_j \quad (4.3)$$

$$V_{lj} = V_{lj-1} - [q_{lj}(P_{GH,lj}) - r_{lj}] \cdot t_j \quad (4.4)$$

4.5. Çoklu-Zincirleme (Seri-Paralel) Bağlı Hidrolik Birimler

Çoklu zincirleme bağlı yerleşim planında hidrolik birimler birbirlerine hem seri hem de paralel olarak bağlıdır. Bu yerleşim biçiminde bazı hidrolik birimlerin işletilmesi hidrolik olarak bir birimi etkilerken diğer bir birimi etkilememektedir. Farklı akarsular üzerinde seri-paralel bağlı hidrolik birimlerin gösterimi Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu birimler arasındaki hidrolik ilişkiler denklem (4.5)-(4.8)'de verilmiştir (Kothari ve Dhillon, 2007).



Şekil 4.4. Hidrolik olarak çoklu zincirleme bağlı birimler.

$$V_{kj} = V_{kj-1} - [q_{kj}(P_{GH,kj}) - r_{kj}] \cdot t_j \quad (4.5)$$

$$V_{lj} = V_{lj-1} - [q_{lj}(P_{GH,lj}) - q_{kj}(P_{GH,kj}) - r_{lj}] \cdot t_j \quad (4.6)$$

$$V_{mj} = V_{mj-1} - [q_{mj}(P_{GH,mj}) - r_{mj}] \cdot t_j \quad (4.7)$$

$$V_{nj} = V_{nj-1} - [q_{nj}(P_{GH,nj}) - q_{lj}(P_{GH,lj}) - q_{mj}(P_{GH,mj}) - r_{nj}] \cdot t_j \quad (4.8)$$

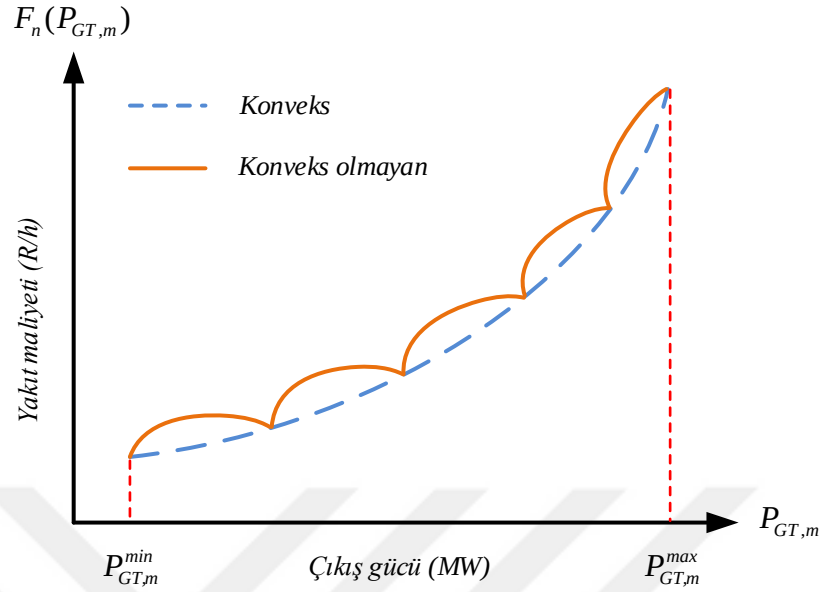
4.6. Kısa Dönem Hidrotermal Koordinasyon Probleminin Matematiksel Formülasyonu

KDHTKP, hem termik hem de hidrolik üretim birimlerinin birlikte çalıştığı bir optimizasyon problemidir. Bu problemin öngörülen işletim süresi boyunca olası elektrik ve hidrolik kısıtların sağlandığı toplam yakıt maliyetini minimum yapan tüm üretim birimlerinin aktif güç üretim değerlerinin bulunmasını gerektirir.

Sistemlerdeki termik üretim birimlerinin yakıt maliyet fonksiyonlarının matematiksel ifadesi konveks veya konveks olmayan bir fonksiyon ile verilir. Genel olarak termik üretim birimi için yakıt maliyeti fonksiyonunun valf nokta etkileri ihmal edildiğinde denklem (4.10)'daki gibi ikinci dereceden bir fonksiyonla gösterilmektedir.

$$F_n(P_{GT,n}) = a_n + b_n \cdot P_{GT,n} + c_n \cdot P_{GT,n}^2, \quad (R/h) \quad (4.10)$$

Denklemden $F_n(P_{GT,n})$, n . termik üretim biriminin saat başına yakıt maliyet fonksiyonunu, a_n , b_n ve c_n sırasıyla n . termik üretim biriminin yakıt maliyet fonksiyonu katsayılarını, $P_{GT,n}$ ise n . termik üretim biriminin çıkış gücünü göstermektedir ve birimi MW olarak alınmaktadır. Gerçekte çok valfli buhar türbinli üretim birimlerinin giriş-çıkış eğrisi farklıdır. Üretim biriminin yakıt maliyetine valf nokta etkisinin dahil edilmesi, yakıt maliyeti fonksiyonunun gösterimini konveks olmayan hale getirmektedir. Böyle bir termik birime ait yakıt maliyet fonksiyonu sinüzoidal dalgalanmalar şeklindedir. Termik üretim birimlerine ait konveks ve konvek olmayan yakıt maliyeti fonksiyonları Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



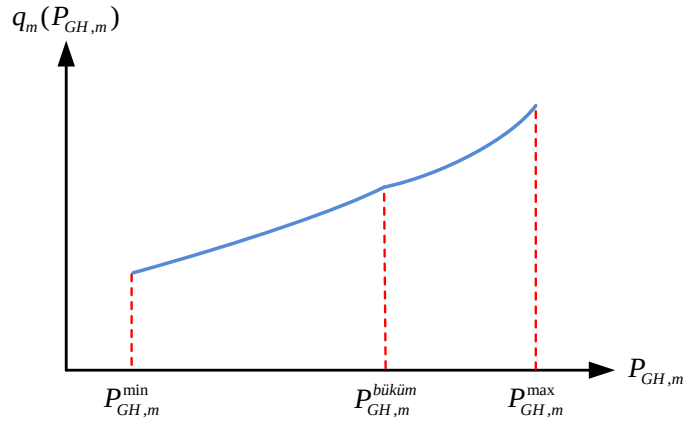
Şekil 4.5. Konveks ve konveks olmayan termik üretim birimlerine ait giriş-çıkış karakteristikleri.

Şekil 4.5'te kesikli çizgiyle gösterilmiş grafik konveks, sürekli çizgilerle gösterilen grafik ise konveks olmayan yakıt maliyeti fonksiyonlarını göstermektedir. Valf nokta etkisinin göz önüne alındığı üretim birimlerinde, saat başına maliyet fonksiyonu konveks olmayan ifadeler içermektedir. Şekilde gösterilen R hayali para birimini temsil etmektedir. Valf nokta etkisinin göz önüne alındığı konveks olmayan saat başına maliyet fonksiyonu denklem (4.11)'de verilmektedir.

$$F_n(P_{GT,n}) = a_n + b_n \cdot P_{GT,n} + c_n \cdot P_{GT,n}^2 + \left| e_n \cdot \sin(f_n(P_{GT,n}^{\min} - P_{GT,n})) \right|, \quad (R/h) \quad (4.11)$$

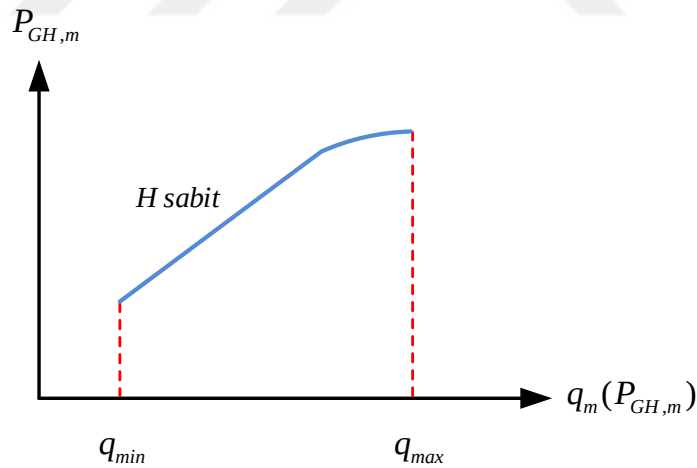
Denkleme eklenen e_n ve f_n katsayıları valf nokta etkisini gösteren maliyet fonksiyonu katsayılarıdır. (Wood vd., 2013).

Hidrolik üretim birimleri, hem elektriksel hem de hidrolik olarak birbirlerine bağlıdır. Mevcut hiçbir hidrolik sistem birbirine benzemez ve tamamen birbirinden farklıdır. Bu farklılığın ana sebebi de sistemin kurulduğu yerdeki su akışlarındaki doğal farklılıklardan kaynaklanır. Sabit düşülü KDHTKP'lerde yer alan hidrolik üretim birimlerinin giriş çıkış eğrisi, saat başına deşarj edilen su miktarının üretilen aktif güce göre değişimini gösterir. Böyle bir eğri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Sabit düşülü hidrolik üretim birimlerine ait giriş-çıkış eğrisi.

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi, sabit düşülü hidrolik birimlerin giriş-çıkış eğrisinde $P_{GH,m}^{\min}$ ile $P_{GH,m}^{büküm}$ arası lineer fonksiyon, $P_{GH,m}^{büküm}$ ile $P_{GH,m}^{\max}$ arası ikinci derece bir fonksiyon şeklinde modellenir. Sabit düşülü hidrolik birim için üretilen aktif gücün saat başına deşarj edilen su miktarına göre değişimi Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Sabit düşülü hidrolik üretim birimlerine ait çıkış-giriş eğrisi.

Bu tür hidrolik birimlerin saat başına deşarj edilen su miktarı eğrileri iki parçalı olarak alınır. Bu eğrilere ait matematiksel ifadeler denklem (4.13)’te gösterilmiştir.

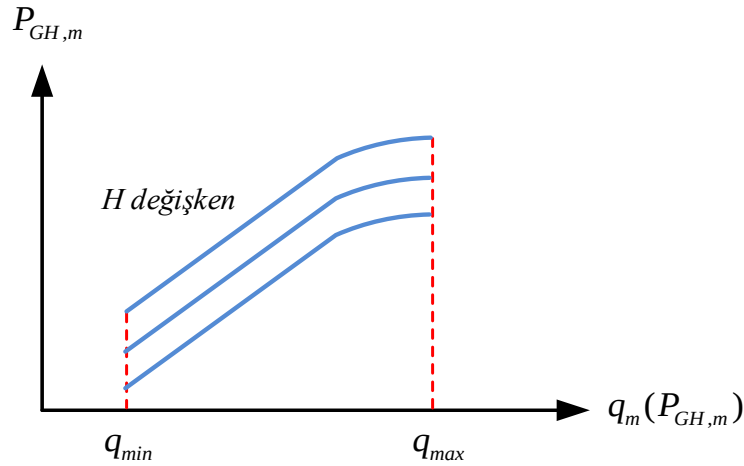
$$q_m(P_{GH,m}) = \begin{cases} d_{1,m} + d_{2,m} \cdot P_{GH,m} & \text{eğer } P_{GH,m}^{\min} \leq P_{GH,m} \leq P_{GH,m}^{büküm} \\ d_{3,m} + d_{4,m} \cdot P_{GH,m} + d_{5,m} \cdot P_{GH,m}^2 & \text{eğer } P_{GH,m}^{büküm} \leq P_{GH,m} \leq P_{GH,m}^{\max} \end{cases} \quad (4.13)$$

Denklemden $q_m(P_{GH,mj})$, m . hidrolik birimden, j . zaman diliminde saat başına salınan su miktarını, $d_{1,m}$, $d_{2,m}$, $d_{3,m}$, $d_{4,m}$ ve $d_{5,m}$ ise fonksiyon sabitlerini göstermektedir. Bu tür bir hidrolik m birimi tarafından işletim süresi boyunca harcanacak toplam su miktarı $q_{toplaml,m}$, rezervuar başlangıç ve bitiş kısıtlarına bağlı olarak denklem (4.14)'e göre, aynı birimin rezervuarındaki son su hacmi V_m^{son} ise denklem (4.15)'e göre hesaplanır.

$$q_{toplaml,m} = \sum_{j=1}^{j_{max}} q_m(P_{GH,mj}) \cdot t_j = V_m^{baş} - V_m^{son} + \sum_{j=1}^{j_{max}} r_{mj} \cdot t_j \quad (4.14)$$

$$V_m^{son} = V_m^{baş} + \sum_{j=1}^{j_{max}} r_{mj} \cdot t_j - \sum_{j=1}^{j_{max}} q_m(P_{GH,mj}) \cdot t_j \quad (4.15)$$

Denklemlerde $V_m^{baş}$ ve V_m^{son} sırasıyla m . hidrolik birimin rezervuarındaki başlangıç ve son su hacmini göstermektedir (Wood vd., 2013). KDHTKP'lerinde hidrolik üretim birimlerinin rezervuarları yeterince büyük değil ise, problemin çözümünde sistemdeki net düşünün güç üretimi üzerine olan etkisinin de dikkate alınması gerekir. Şekil 4.8'de değişken düşülü hidrolik bir birime ait su deşarj eğrisi verilmiştir. Şekil 4.8'den görüleceği gibi, değişken düşülü hidrolik birimlerde, aynı miktarda deşarj edilen su miktarına karşılık, net düşü yüksekliği azaldıkça, üretilen aktif güç miktarıda azalmaktadır (Gonzales ve Castro, 2001)



Şekil 4.8. Değişken düşülü hidrolik üretim birimlerine ait çıkış-giriş eğrisi.

Değişken düşülü hidrolik bir birime ait aktif güç üretim değeri denklem (4.16)'da verildiği gibi, salınan su miktarı ve rezervuar hacimlerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanır.

$$P_{GH,mj} = C_{1,m} \cdot V_{mj}^2 + C_{2,m} \cdot (q_{mj}(P_{GH,mj}))^2 + C_{3,m} \cdot V_{mj} \cdot q_{mj}(P_{GH,mj}) + C_{4,m} \cdot V_{mj} + C_{5,m} \cdot q_{mj}(P_{GH,mj}) + C_{6,m} \quad (4.16)$$

Denklemden V_{mj} , m . hidrolik birimin rezervuarındaki j . alt zaman dilimi sonundaki su miktarını, $C_{1,m}$, $C_{2,m}$, $C_{3,m}$, $C_{4,m}$, $C_{5,m}$ ve $C_{6,m}$ ise değişken düşülü hidrolik üretim biriminin çıkış gücü fonksiyonunun sabitlerini göstermektedir (Orero ve Irving, 1988).

4.6.1. Sabit düşülü kısa dönem hidrotermal koordinasyon probleminin çözümü

Sabit düşülü KDHTKP'i çözülürken işletim süresi boyunca toplam yakıt maliyetinin minimum düzeye çekilmesinin yanında, hidrolik üretim birimlerinin her birinin istenilen miktarda suyu kullanması gerekmektedir. Problemin çözümünde amaç fonksiyonu olarak kullanılan toplam yakıt maliyeti fonksiyonu (TYM) denklem (4.17)'de verilmiştir.

$$TYM = \min \sum_{j=1}^{j_{\max}} t_j \sum_{n \in N_T} F_n(P_{GT,nj}), (R) \quad (4.17)$$

Denklemden N_T , tüm termik üretim birimlerini içeren kümeyi göstermektedir. Termik ve hidrolik üretim birimlerden oluşan kayıplı bir sistemdeki aktif ve reaktif güç denge kısıtları ise sırasıyla denklem (4.18) ve (4.19)'de gösterilmiştir.

$$\sum_{n \in N_T} P_{GT,nj} + \sum_{m \in N_H} P_{GH,mj} - P_{yük,j} - P_{kayıp,j} = 0, \quad j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.18)$$

$$\sum_{n \in N_T} Q_{GT,nj} + \sum_{m \in N_H} Q_{GH,mj} - Q_{yük,j} - Q_{kayıp,j} = 0, \quad j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.19)$$

Denklemden N_H , tüm hidrolik üretim birimlerini içeren kümeyi göstermektedir. Sistemin iletim hatlarında meydana gelen toplam aktif ve reaktif güç kayıpları ($P_{kayıp}$, $Q_{kayıp}$), tam değerler olarak AC yük akışı metodu ile bulunmuştur. Çalışmada iletim hattı kayıplarının hesaplanmasında kullanılan AC yük akışı hesabıyla, güç sistemindeki her bir baranın gerilim genliği ve faz açısı hesaplanmaktadır. Baralar ile ilgili bu değerler hesaplandıktan sonra sistemdeki iletim hattı aktif ve reaktif güç akışları ve kayıplar hesaplanmaktadır (Yaşar vd., 2017).

Sistemdeki termik birimlerinin aktif güç üretim sınır değerleri denklem (4.20) ve (4.21)'de, hidrolik üretim birimlerinin elektriksel ve hidrolik kısıtları ise denklem (4.22)-(4.26)'da verilmiştir.

$$P_{GT,n}^{\min} \leq P_{GT,nj} \leq P_{GT,n}^{\max}, \quad n \in N_T, \quad j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.20)$$

$$Q_{GT,n}^{\min} \leq Q_{GT,nj} \leq Q_{GT,n}^{\max}, \quad n \in N_T, \quad j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.21)$$

$$P_{GH,m}^{\min} \leq P_{GH,mj} \leq P_{GH,m}^{\max}, \quad m \in N_H, \quad j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.22)$$

$$Q_{GH,m}^{\min} \leq Q_{GH,mj} \leq Q_{GH,m}^{\max}, \quad m \in N_H, \quad j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.23)$$

$$q_m^{\min} \leq q_{mj}(P_{GH,mj}) \leq q_m^{\max}, \quad m \in N_H, \quad j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.24)$$

$$V_m^{\min} \leq V_{mj} \leq V_m^{\max}, \quad m \in N_H, \quad j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.25)$$

$$V_{m0} = V_m^{bas}, \quad V_{mj_{\max}} = V_m^{son}, \quad m \in N_H \quad (4.26)$$

Sabit düşümlü KDHTKP'nin IGSA ile çözümü

IGSA'nın sabit düşümlü KDHTKP'ye uygulanabilmesi ve optimal çözümün elde edilebilmesi için denklem (4.20)-(4.26) arasındaki kısıtların sağlanması gerekmektedir. Çalışmada, tüm elektriksel ve hidrolik kısıtların sağlanmasında ceza fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır.

Algoritma ile çözüme başlarken, Şekil 3.6'dan görüleceği üzere, popülasyondaki ajan sayısı, iterasyon sayısı girilir ve probleme ait diğer veriler veri dosyasından okutulur. Programda ilk adımda $P_{GT,nj}$ ve $P_{GH,mj}$ değerleri bütün zaman dilimleri için denklem (4.20) ve (4.22) arasındaki kısıtları sağlayacak şekilde, rassal olarak sırasıyla denklem (4.27) ve (4.28) kullanılarak atanır. $Q_{GT,nj}$ ve $Q_{GH,mj}$ değerleri ise, salınım barası hariç, tüm üretim birimleri için tüm zaman dilimlerinde denklem (4.29)'daki gibi sabit olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada sadece aktif güç optimizasyonu yapıldığı için üretim birimlerine ait reaktif güçler başlangıçta seçilen değerlerinde kalmaktadır. Sadece yük akışı sonucunda aktif güçlerin yanı sıra salınım barasına ait reaktif güç $Q_{GT,salj}$, $j = 1, \dots, j_{\max}$ değerleri hesaplanmaktadır. Bu işlemlere belirlenen ajan sayısı tamamlanıncaya kadar devam edilir. Bu durumda oluşturulan popülasyondaki her bir ajan problemin olası bir çözümü haline gelir.

$$P_{GT,nj} = P_{GT,n}^{\min} + rand[0,1] \cdot (P_{GT,n}^{\max} - P_{GT,n}^{\min}), \quad n \neq \text{salınım}, \quad n \in N_T, \quad j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.27)$$

$$P_{GH,mj} = P_{GH,m}^{\min} + rand[0,1] \cdot (P_{GH,m}^{\max} - P_{GH,m}^{\min}), \quad m \in N_H, \quad j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.28)$$

$$Q_{GT,nj} = Q_{GT,n}^{baş}, \quad Q_{GH,mj} = Q_{GH,m}^{baş}, \quad n \neq \text{salınım}, \quad n \in N_T, \quad m \in N_H, \quad j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.29)$$

Atama işleminden sonra her bir zaman dilimi için yük akışı yapılarak salınım barasının aktif ve reaktif güç değerleri, tüm hatlardan akan güçler ile sistemdeki güç kayıpları hesaplanır. Tüm üretim birimlerine ait çıkış güçleri belli olduğundan denklem (4.17)'den TYM , denklem (4.5)-(4.8)'den hidrolik birimlerin rezervuarlarındaki alt zaman dilimi sonu su miktarları ve denklem (4.13)-(4.15)'den ise hidrolik birimlerin harcadıkları su miktarı değerleri hesaplanır. Algoritma tarafından hesaplanan bu değerlerin salınım barası için denklem (4.20)-(4.21)'deki ve hidrolik birimler için ise denklem (4.24)-(4.26)'daki kısıtları sağlayıp sağlamadıkları test edilir. Her sağlanmayan kısıt için ceza fonksiyonu oluşturulur ve bu değerler TYM 'ye eklenir. Bu şekilde oluşan fonksiyona uygunluk fonksiyonu (f) adı verilir. Dolayısıyla denklem (4.20)-(4.21), (4.24)-(4.26)'daki kısıtlar programda ceza fonksiyonu yardımıyla sağlanmaya çalışılır. Bu nedenle optimal çözüm elde etmek için amaç fonksiyonu olarak denklem (4.17)'deki TYM yerine denklem (4.30)'daki f alınır.

$$f = TYM + TCF \quad (4.30)$$

Denklemdaki TCF , eklenen toplam ceza fonksiyonunu göstermektedir. Problemin önerilen herhangi bir çözümü, öngörülen kısıtları ihlal ettiğinde ceza fonksiyonu yardımıyla cezalandırılmaktadır. Bu öngörülen kısıtları sağlamak için cezalar; CF_{sal} salınım barası, CF_{V_m} hidrolik birimlerin rezervuarlarında depolanan su hacimleri ve $CF_{V_{son}}$ hidrolik birimlerin son alt zaman dilimi sonunda rezervuarlarında kalan su hacimleri cezaları şeklinde belirlenmiştir. Bu nedenle sabit düşümlü KDHTKP'nin çözümünde kullanılan TCF denklem (4.31)'deki gibi alınmıştır.

$$TCF = CF_{sal} + CF_{V_m} + CF_{V_{son}} \quad (4.31)$$

TCF 'deki CF_{sal} değeri salınım barasının minimum ve maksimum üretim sınır değerlerine göre denklem (4.32)'den hesaplanmaktadır.

$$CF_{sal} = \sum_{j=1}^{j_{\max}} \begin{cases} KCF_{sal} (P_{GT,salj} - P_{GT,sal}^{\min})^2 & \text{eğer } P_{GT,salj} < P_{GT,sal}^{\min} \\ KCF_{sal} (P_{GT,sal}^{\max} - P_{GT,salj})^2 & \text{eğer } P_{GT,salj} > P_{GT,sal}^{\max} \\ 0 & \text{eğer } P_{GT,sal}^{\min} \leq P_{GT,salj} \leq P_{GT,sal}^{\max} \end{cases}, \quad j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.32)$$

Denklemden verilen $P_{GT,salj}$, $P_{GT,sal}^{\min}$ ve $P_{GT,sal}^{\max}$ değerleri sırasıyla salınım barasına ait j . zaman dilimindeki aktif güç üretimini, ve bu üretimin alt ve üst sınırlarını göstermektedir. Denklem

(4.31)'de yer alan ceza fonksiyonu (CF_{V_m}) ifadesi denklem (4.33)'e göre hesaplanmıştır. Bu ceza ifadesi, tüm alt zaman dilimleri boyunca hidrolik birimlerin rezervuarlarının kapasitelerinin minimum ve maksimum değerler arasında kalmasını sağlamaktadır.

$$CF_{V_m} = \sum_{j=1}^{j_{\max}} \sum_{m \in N_H} \begin{cases} KCF_{V_m} (V_{mj} - V_m^{\min})^2 & \text{eğer } V_{mj} < V_m^{\min} \\ KCF_{V_m} (V_m^{\max} - V_{mj})^2 & \text{eğer } V_{mj} > V_m^{\max} \\ 0 & \text{eğer } V_m^{\min} \leq V_{mj} \leq V_m^{\max} \end{cases}, j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.33)$$

Hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarında kalan son su hacimleri (V_m^{son}), rezervuarların büyük olmasından dolayı kabul edilebilir bir değer aralığında ($Tol_{V_{son}}$) tutulmaya çalışılmıştır. Her bir rezervuarda kalan son su hacimleri için alt sınır değeri denklem (4.34)'de, üst sınır değeri ise denklem (4.35)'de verilmiştir. Belirlenen yeni sınır değerlerine göre hidrolik birimlerin son zaman diliminde rezervuarlarında kalan su hacimlerine ait ceza fonksiyonu ($CF_{V_{son}}$) denklem (4.36)'ya göre hesaplanmaktadır.

$$V_m^{son-} = (1 - Tol_{V_{son}}) \cdot V_m^{son} \quad (4.34)$$

$$V_m^{son+} = (1 + Tol_{V_{son}}) \cdot V_m^{son} \quad (4.35)$$

$$CF_{V_{son}} = \sum_{m \in N_H} \begin{cases} KCF_{V_{son}} (V_{m,j_{\max}} - V_m^{son-})^2 & \text{eğer } V_{m,j_{\max}} < V_m^{son-} \\ KCF_{V_{son}} (V_m^{son+} - V_{m,j_{\max}})^2 & \text{eğer } V_{m,j_{\max}} > V_m^{son+} \\ 0 & \text{eğer } V_m^{son-} \leq V_{m,j_{\max}} \leq V_m^{son+} \end{cases} \quad (4.36)$$

Bu işlemler tamamlandığında denklem (4.30)'daki f uygunluk fonksiyonu hesaplanır ve ikinci iterasyona geçilir. İkinci iterasyonda salınım barasına ait aktif ve reaktif güç üretimleri, $Q_{GT,salj}$ ve $P_{GT,salj}$ hariç tüm $P_{GT,nj}$ ve $P_{GH,mj}$ değerleri denklem (3.12) yardımıyla IGSA tarafından güncellenir. Yeni değerlerle yeniden yük akışı yapılarak salınım barasının aktif ve reaktif güç değerleri, tüm hatlardan akan güçler ile sistemdeki güç kayıpları tekrar hesaplanır. Bulunan bu çözümün kısıtlara uyup uymadığı tekrar kontrol edilir ve her bir kısıt için belirlenen bu güncellenmiş TCF değeri TYM 'ye eklenerek uygunluk fonksiyonunun yeni değeri bulunur. Bu işlemler algoritmada benzer şekilde durma kriteri (iterasyon sayısı) sağlanıncaya kadar tekrarlanır. Durma kriteri sağlandığında, (CF_{sal}) ve (CF_{V_m}) değerlerinin sıfır olup olmadığı kontrol edilir. Bu ceza fonksiyonu değerleri sıfır değilse çözüm tekrarlanır. Eğer sıfır ise tüm kısıtların sağlandığı optimal çözüm kaydedilerek işlem tamamlanır. Bu durum devamlılık arz

ederse, ortadan kaldırmak için ilgili fonksiyonlara ait ceza katsayıları artırılır. Çalışmada maksimum aktif hat akışı kısıtları ve bara gerilimi kısıtları gibi sistem güvenlik kısıtları kontrol edilmemiştir.

Algoritmada denklem (4.32), (4.33) ve (4.36)'da yer alan KCF_{sal} , KCF_{V_m} ve $KCF_{V_{son}}$ değerleri, ceza fonksiyonlarına ait sabitler olup değerleri kullanıcı tarafından belirlenir. Bu katsayılarının belirlenmesinde dikkat edilecek husus, bu katsayılarla hesaplanan ceza fonksiyonlarının uygunluk fonksiyonu içinde birbirine yakın değerlerde olmasıdır.

Değişken düşülü KDHTKP'nin IGSA ile çözümü

IGSA'nın değişken düşülü KDHTKP'ye uygulanabilmesi ve optimal çözümün elde edilebilmesi için de denklem (4.20)-(4.26) arasındaki kısıtların sağlanması gerekmektedir. Değişken düşülü KDHTKP'in optimal çözümünde de sabit düşülüye benzer şekilde tüm elektriksel ve hidrolik kısıtların sağlanmasında ceza fonksiyonu yöntemi kullanılmıştır.

Algoritma ile çözüme başlarken, Şekil 3.6'dan görüleceği üzere, popülasyondaki ajan sayısı, iterasyon sayısı girilir ve probleme ait diğer veriler veri dosyasından okunur. Programda, ilk adımda $P_{GT,nj}$, q_{mj} , ve $Q_{GH,mj}$ değerleri (salınım barası hariç) bütün zaman dilimleri için denklem (4.20), (4.21), (4.23), (4.24) arasındaki kısıtları sağlayacak şekilde rassal olarak sırasıyla (4.27), (4.29) ve (4.37) denlemlerindekine benzer şekilde atanır. Bu çalışmada sadece aktif güç optimizasyonu yapıldığı için üretim birimlerine ait reaktif güçler başlangıçta seçilen değerlerinde kalmaktadır. Sadece yük akışı sonucunda salınım barasına ait reaktif güç $Q_{GT,salj}$, $j = 1, \dots, j_{\max}$ değerleri hesaplanmaktadır. Bu işleme belirlenen ajan sayısı tamamlanıncaya kadar devam edilir.

$$q_{mj}(P_{GH,mj}) = q_m^{\min} + rand[0,1] \cdot (q_m^{\max} - q_m^{\min}), \quad m \in N_H, \quad j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.37)$$

Denklem (4.37) yardımıyla atanan deşarj su miktarı değerleriyle önce V_{mj} değerleri ve sonrada denklem (4.16) kullanılarak sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin aktif güç üretimleri hesaplanır. Atama işleminden sonra her bir alt zaman dilimi için yük akışı yapılarak salınım barasının aktif ve reaktif güç değerleri, tüm hatlardan akan güçler ve sistemdeki güç kayıpları hesaplanır. Bu durumda yük akışı sonrası elde edilen salınım barası üretim değerleriyle birlikte oluşturulan popülasyondaki her bir ajan problemin olası bir çözümü haline gelir. Sistemdeki bütün üretim birimlerine ait güçler belli olduğundan denklem (4.17)'den TYM , ve denklem (4.5)-(4.8)'deki süreklilik denklemlerinden rezervuar su hacmi değerleri hesaplanır. Algoritma tarafından hesaplanan bu değerlerin salınım barası için denklem (4.20)-(4.21) ve hidrolik birimler

için ise denklem (4.22), (4.25) ve (4.26)'daki kısıtları sağlayıp sağlamadıkları test edilir. Her sağlanmayan kısıt için ceza fonksiyonu oluşturulur ve bu değerler TYM 'ye eklenerek f uygunluk fonksiyonu elde edilir. Dolayısıyla salınım barasının aktif ve reaktif gücü ile hidrolik birimlere ait sırasıyla denklem (4.20), (4.21), (4.22), (4.25) ve (4.26)'daki kısıtlar programda ceza fonksiyonu yardımıyla sağlanmaya çalışılır. Sabit düşülü KDHTKP'nin çözümüne benzer şekilde optimal çözüm bulmak için amaç fonksiyonu olarak denklem (4.30)'daki f alınır. Uygunluk fonksiyonunda toplam ceza fonksiyonu TCF , öngörülen kısıtlar ihlal edildiğinde oluşan toplam cezayı ifade etmektedir. Bunlar PF_{sal} salınım barası, PF_{V_m} hidrolik birimlerin rezervuarlarında depolanan su hacimleri ve $PF_{V_{son}}$ hidrolik birimlerin son alt zaman dilimi sonunda rezervuarlarında kalan su hacimleri ve $PF_{P_{GH}}$ ise değişken düşülü hidrolik birimlerce üretilen aktif güç değerlerine ait cezalardır. Bu nedenle değişken düşülü KDHTKP'nin çözümünde kullanılan TCF denklem (4.38)'deki gibi alınmıştır.

$$TCF = CF_{sal} + CF_{P_{GH}} + CF_{V_m} + CF_{V_{son}} \quad (4.38)$$

Yük akışı sonrasında ortaya çıkan $P_{GT,salj}$ değerinin denklem (4.20)'deki sınır şartlarını sağlayıp sağlamadığı test edilir. Bu testin sonucuna göre TCF 'deki CF_{sal} değeri salınım barasının minimum ve maksimum üretim sınır değerlerine göre denklem (4.32) kullanılarak hesaplanır. Değişken düşülü KDHTKP'de her alt zaman diliminde ve her hidrolik birim için $P_{GH,mj}$ değerleri denklem (4.16)'dan hesaplandığından denklem (4.22)'deki sınır şartlarını sağlayıp sağlamadığı test edilir. Bu test işleminin sonucuna göre değişken düşülü hidrolik birimlerin ürettikleri aktif güç değerlerine ait ceza fonksiyonu $CF_{P_{GH}}$ denklem (4.39)'dan bulunur.

$$CF_{P_{GH}} = \sum_{j=1}^{j_{\max}} \sum_{m \in N_H} \begin{cases} KCF_{P_{GH,m}} (P_{GH,mj} - P_{GH,m}^{\min})^2 & \text{eğer } P_{GH,mj} < P_{GH,m}^{\min} \\ KCF_{P_{GH,m}} (P_{GH,m}^{\max} - P_{GH,mj})^2 & \text{eğer } P_{GH,mj} > P_{GH,m}^{\max} \\ 0 & \text{eğer } P_{GH,m}^{\min} \leq P_{GH,mj} \leq P_{GH,m}^{\max} \end{cases}, j = 1, \dots, j_{\max} \quad (4.39)$$

Hidrolik birimlerin rezervuarlarındaki, su hacmi değerleri denklem (4.25)'teki sınır şartlarını sağlayıp sağlamadıkları test edilir. Bu testin sonucuna göre denklem (4.38)'de yer alan rezervuar sınırları ceza fonksiyonu (CF_{V_m}) ifadesi denklem (4.33)'e göre hesaplanır. Bu ceza ifadesi, tüm alt zaman dilimleri boyunca hidrolik birimlerin rezervuarlarındaki su miktarlarının minimum ve maksimum değerler arasında kalmasını sağlamaktadır.

Problemin çözümünde hidrolik birimlerin harcadıkları su miktarları ve $V_{m,j_{\max}}$ değerleri denklem (4.5)-(4.8)'e göre hesaplanır. Hesaplanan $V_{m,j_{\max}}$ değerleri içinde, $V_m^{son-} \leq V_{m,j_{\max}} \leq V_m^{son+}$ kısıtını sağlamayan $V_{m,j_{\max}}$ değerleri için ceza değeri, $CF_{V_{son}}$, denklem (4.36)'ya göre hesaplanır.

Bu işlemler tamamlandığında denklem (4.30)'daki f uygunluk fonksiyonu hesaplanır ve bu işlemin sonucunda birinci iterasyon tamamlanmış olup ikinci iterasyona geçilir. İkinci iterasyonda salınım barası, $P_{GT,salj}$, $Q_{GT,salj}$ hariç olmak üzere $P_{GT,nj}$, q_{mj} ve dolayısıyla $P_{GH,mj}$ değerleri denklem (3.12) kullanılarak IGSA tarafından güncellenir. Yeni değerlerle yeniden yük akışı yapılarak salınım barasının aktif ve reaktif güç değerleri, tüm hatlardan akan güçler ile sistemdeki güç kayıpları tekrar hesaplanır. Bulunan bu çözümün kısıtları sağlayıp sağlamadığı tekrar kontrol edilir ve her bir kısıt için belirlenen bu güncellenmiş TCF değeri TYM 'ye eklenerek uygunluk fonksiyonunun yeni değeri bulunur. Bu işlemler algoritmada benzer şekilde durma kriteri (iterasyon sayısı) sağlanıncaya kadar tekrarlanır. Durma kriterine ulaşıldığında ise tüm kısıtları da sağlayan optimal çözüm kaydedilerek işlem tamamlanır. Kısıtlarını sağlamayan değişkenler var ise, o değişkene ait ceza katsayısı artırılarak çözüm tekrarlanır.

Bu çalışmada da sabit düşülü KDHTKP'ine benzer şekilde sadece aktif güç optimizasyonu yapıldığı için üretim birimlerine ait reaktif güçler başlangıçta seçilen değerlerinde kalmaktadır. Sadece yük akışı sonucunda aktif güçlerin yanı sıra salınım barasına ait reaktif güç $Q_{GT,salj}$, $j = 1, \dots, j_{\max}$ değerleri ve kayıplar hesaplanmaktadır.

Algoritmada yer alan denklem (4.32), (4.33), (4.36) ve (4.39)'da yer alan KCF_{sal} , KCF_{V_m} , $KCF_{V_{son}}$ ve $KCF_{P_{GH}}$ değerleri, ceza fonksiyonlarına ait sabitlerdir. Bu sabitlerin değerleri, bütün ceza fonksiyonu değerlerinin, uygunluk fonksiyonu içinde eşit ağırlıkta olacak şekilde kullanıcı tarafından belirlenir.

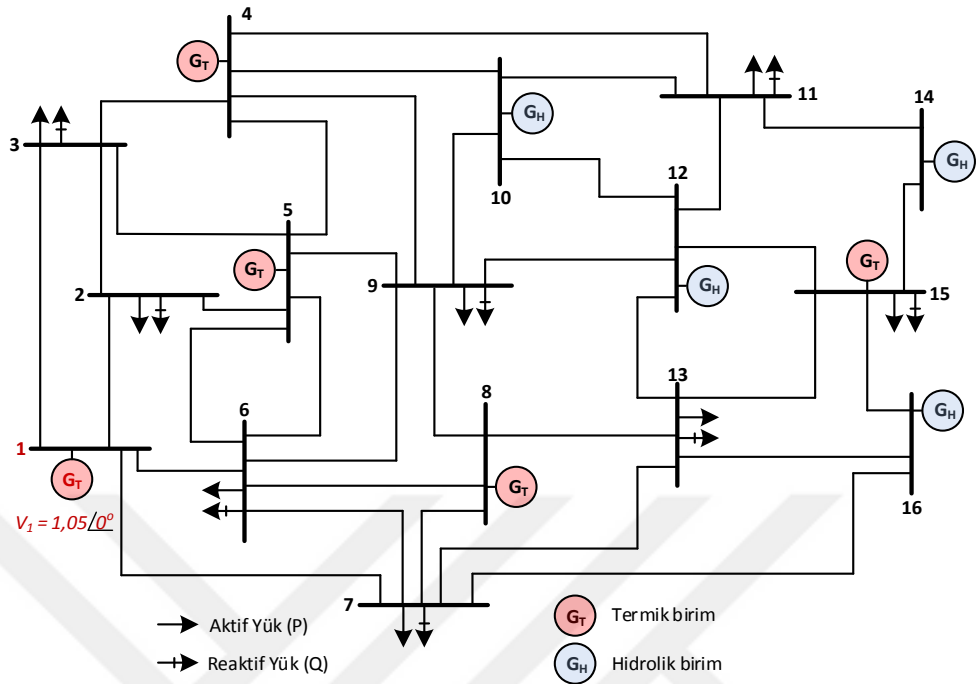
5. ÖRNEK PROBLEM ÇÖZÜMLERİ

Bu bölümde geliştirilen IGSA ile KDHTKP'ine ait dört farklı örnek problemin çözümleri verilmektedir. Bu problemlerden iki tanesi sabit düşülü hidrolik üretim birimleri içeren sistemlere aittir. Sabit düşülü hidrolik birim içeren problemlerden ilki literatürde daha önce çözümü farklı yöntemlerle yapılan, konveks yakıt maliyet fonksiyonlarına sahip termik birimler içeren kayıplı bir sistemdir. İkinci örnek ise, aynı sistemde sadece valf nokta etkilerinin de dikkate alındığı, konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonlu termik üretim birimleri olan başka bir problemidir. Çalışmadaki diğer iki örnek ise değişken düşülü hidrolik üretim birimleri içeren sistemlere aittir. Değişken düşülü hidrolik birim içeren problemlerden ilki, literatürde daha önce çözümü birçok farklı metotla yapılmış olan konveks maliyet fonksiyonlarına sahip kayıpsız bir sistemdir. Değişken düşülü ikinci örnek ise çözümü daha önce deterministik metotlarla yapılmış fakat sezgisel algoritmalar ile, bilindiği kadarıyla, ilk kez bu çalışmada yapılan, yakıt maliyet fonksiyonları konveks olmayan kayıplı bir sistemdir.

Bu tez çalışmasında örnek problemlerin çözümü için Matlab dilinde bir program geliştirilmiştir. Programların yazılımında ve çalıştırılmasında Intel Xeon E5-2637 v4 3.50 GHz işlemcili ve 128 GB RAM bellekli iş istasyonu kullanılmıştır.

5.1. Örnek Sistem-1: İletim hattı kayıplı konveks yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren sabit düşülü KDHTKP

Bu bölümde termik üretim birimleriyle, rezervuarlarındaki su hacimlerinin (veya düşü yüksekliklerinin) güç üretimi üzerinde etkisi ihmal edilen (sabit düşülü) hidrolik birimlerin birlikte kullanıldığı bir güç sisteminin çözümü, iletim hattı kayıpları da dikkate alınarak yapılmıştır. Örnek sistem olarak literatürde daha önce farklı yöntemlerle çözümü yapılan ve Şekil 5.1'de tek hat diyagramı verilen 16 baralı, 5 adet termik üretim birimi, 4 adet sabit düşülü hidrolik üretim biriminden oluşan güç sistemi seçilmiştir. Sistemin baz değerleri $S_{baz}=100 \text{ MVA}$, $U_{baz}=230 \text{ kV}$ olarak alınmıştır. Sistemde 1 nolu bara salınım barası olup gerilimi $1,05\angle 0^\circ \text{ pu}$ 'dur. Sistemin çözümünde dörder saatlik altı eşit alt zaman diliminden ($t_j=4h, j=1,...,6$) oluşan bir günlük işletim süresi göz önüne alınmıştır. Sistemde 1, 4, 5, 8 ve 15 nolu baralara konveks yakıt maliyet fonksiyonlarına sahip termik üretim birimleri, 10, 12, 14 ve 16 nolu baralara ise hidrolik üretim birimleri bağlıdır (Yaşar, 1999; Fadıl ve Yaşar, 2001).



Şekil 5.1. 16 baralı örnek sisteme ait tek hat diyagramı.

Şekil 5.1’de verilen örnek sistemdeki her alt zaman dilimindeki aktif ve reaktif yük değerleri Çizelge 5.1 ve 5.2’de, termik üretim birimlerine ait konveks maliyet eğrisi katsayıları ve aktif güç üretim sınır değerleri Çizelge 5.3’te verilmiştir. Hidrolik üretim birimlerinin saat başına deşarj edilen su miktarı eğrilerine ait katsayılar ve aktif güç üretim sınırları Çizelge 5.4’teki gibi alınmıştır.

Çizelge 5.1. Örnek sisteme ait her alt zaman dilimindeki p_u aktif yük değerleri.

Bara No	Alt zaman dilimi (j)					
	1	2	3	4	5	6
2	0,75	0,90	1,25	1,20	1,25	0,85
3	1,00	1,10	1,05	1,00	1,20	0,95
6	0,95	0,95	1,15	1,25	1,10	1,00
7	0,70	1,05	1,00	1,15	1,15	0,95
9	1,05	0,85	1,30	1,30	1,30	1,05
11	0,60	1,20	0,90	1,10	1,10	1,10
13	0,90	1,00	1,15	1,05	1,05	0,90
15	0,85	1,25	0,95	1,35	1,00	0,80
$\sum P_{yük} (pu)$	6,80	8,30	8,75	9,40	9,15	7,60

Çizelge 5.2. Örnek sisteme ait her alt zaman dilimindeki pu reaktif yük değerleri.

Bara No	Alt zaman dilimi (j)					
	1	2	3	4	5	6
2	0,55	0,60	0,95	0,90	0,95	0,60
3	0,75	0,80	0,80	0,75	0,90	0,70
6	0,70	0,65	0,85	0,95	0,80	0,75
7	0,50	0,80	0,75	0,85	0,85	0,70
9	0,80	0,60	1,00	1,00	1,00	0,80
11	0,45	0,90	0,60	0,80	0,80	0,80
13	0,65	0,75	0,85	0,80	0,80	0,65
15	0,60	0,95	0,70	1,00	0,75	0,60
$\sum Q_{yük} (pu)$	5,00	6,05	6,50	7,05	6,85	5,60

Çizelge 5.3. Örnek sistemdeki termik üretim birimlerine ait konveks yakıt maliyet fonksiyonu katsayıları ve aktif güç üretim sınır değerleri.

Katsayılar	Bara No (n)				
	1	4	5	8	15
a_n	527,0	561,0	310,0	215,0	78,0
b_n	7,48	7,92	7,85	7,94	7,97
c_n	0,001495	0,001562	0,00194	0,00236	0,00482
$P_{GT,n}^{min} (MW)$	30,0	45,0	40,0	50,0	45,0
$P_{GT,n}^{max} (MW)$	350,0	250,0	250,0	200,0	250,0

Çizelge 5.4. Örnek sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin saat başına deşarj su miktarı eğrilerine ait katsayılar ve aktif güç üretim sınır değerleri.

Katsayılar	Bara No(m)			
	10	12	14	16
$d_{1,m}$	330,0	320,0	380,0	300,0
$d_{2,m}$	4,97	6,2	5,65	6,0
$d_{3,m}$	254,4	275,0	432,0	343,2
$d_{4,m}$	2,0	3,8	2,0	2,28
$d_{5,m}$	0,03	0,018	0,025	0,028
$P_{GH,m}^{min} (MW)$	0,0	0,0	0,0	0,0
$P_{GH,m}^{büküm} (MW)$	120,0	150,0	130,0	120,0
$P_{GH,m}^{max} (MW)$	135,0	165,0	145,0	135,0

Örnek sistemdeki iletim hatlarına ait nominal π eşdeğer devresinin pu R , X , B değerleri Çizelge 5.5'te, hidrolik üretim birimlerinin rezervuar depolama sınır değerleri, başlangıç-bitiş su hacimleri, rezervuarlarına gelen saat başı su miktarları ve işletim süresi boyunca harcanması gereken toplam su miktarları ise Çizelge 5.6'da verilmiştir. Çözümde iletim hatları taşıma kapasiteleri kontrol edilmediğinden, Çizelge 5.5'de bu değerler verilmemiştir.

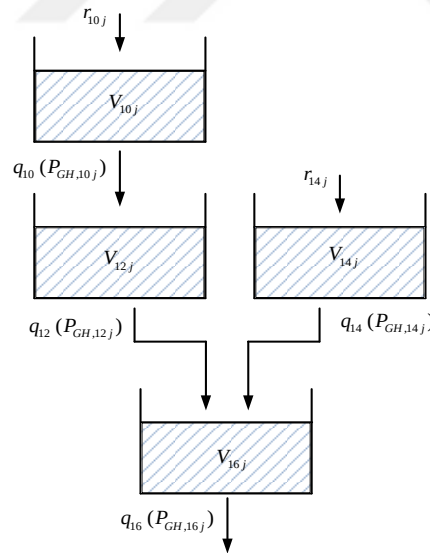
Çizelge 5.5. Örnek sistemdeki iletim hatlarının nominal π eşdeğer devrelerine ait pu parametre değerleri.

<i>Baradan</i>	<i>Baraya</i>	<i>R (pu)</i>	<i>X (pu)</i>	<i>B (pu)</i>
1	2	0,1000	0,0200	0,0400
1	3	0,0150	0,1800	0,0300
1	5	0,0800	0,3000	0,0600
1	6	0,0500	0,2000	0,0400
1	7	0,0700	0,2000	0,0500
2	3	0,0500	0,2500	0,0600
2	5	0,0500	0,1000	0,0200
3	4	0,0500	0,2000	0,0400
3	5	0,0700	0,2000	0,0500
4	5	0,1000	0,2000	0,0400
4	9	0,0900	0,3000	0,0600
4	10	0,0700	0,2000	0,0500
4	11	0,0600	0,1800	0,0300
5	6	0,0200	0,1000	0,0200
5	9	0,0700	0,3000	0,0600
6	7	0,0600	0,3000	0,0600
6	8	0,0800	0,2000	0,0500
6	9	0,0500	0,1800	0,0300
7	8	0,0200	0,1000	0,0200
7	13	0,0700	0,2000	0,0500
7	16	0,0600	0,1800	0,0400
8	9	0,0800	0,3000	0,0600
8	13	0,0500	0,2000	0,0400
9	10	0,0200	0,1000	0,0200
9	12	0,0700	0,2000	0,0500
10	11	0,0600	0,1800	0,0400
10	12	0,0500	0,2500	0,0600
11	12	0,1000	0,2000	0,0400
11	14	0,0200	0,1000	0,0200
12	13	0,1000	0,2000	0,0400
12	15	0,0600	0,1800	0,0400
13	15	0,0800	0,2000	0,0400
13	16	0,0500	0,2500	0,0600
14	15	0,0500	0,2000	0,0400
15	16	0,1000	0,3000	0,0600

Çizelge 5.6. Örnek sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin rezervuar depolama sınır değerleri, rezervuarların başlangıç-bitiş su hacimleri, rezervuarlara saat başına giren su miktarları (r_{mj} (acre-ft/h) ve işletim süresi boyunca harcanması gereken toplam su miktarı değerleri (acre-ft).

Rezervuar Değerleri	Bara No (m)			
	10	12	14	16
V_m^{min}	30000	30000	30000	30000
V_m^{max}	80000	80000	80000	80000
$V_m^{baş}$	50000	45000	46600	40000
V_m^{son}	48000	46600	40600	50600
r_{mj}	650	-	450	-
q_{toplam}	17600	16000	16800	22200

Örnek sistemdeki hidrolik birimler birbirine kademeli seri-paralel bağlı olup aralarındaki hidrolik ilişkiler Şekil 5.2’de gösterilmiştir. 10, 12, 14, ve 16. baralara bağlı hidrolik birimlerin her alt zaman dilimi sonunda rezervuarlarında depolanan su hacmi değerleri sırasıyla denklem (5.1)-(5.4) kullanılarak hesaplanmaktadır.



Şekil 5.2. Örnek güç sisteminde hidrolik birimler arasındaki hidrolik ilişkiler.

$$V_{10j} = V_{10j-1} + [r_{10j} - q_{10}(P_{GH,10j})] \cdot t_j, \quad j = 1, \dots, 6 \quad (5.1)$$

$$V_{12j} = V_{12j-1} + [q_{10}(P_{GH,10j}) - q_{12}(P_{GH,12j})] \cdot t_j, \quad j = 1, \dots, 6 \quad (5.2)$$

$$V_{14j} = V_{14j-1} + [r_{14j} - q_{14}(P_{GH,14j})]t_j, \quad j=1, \dots, 6 \quad (5.3)$$

$$V_{16j} = V_{16j-1} + [q_{12}(P_{GH,12j}) + q_{14}(P_{GH,14j}) - q_{16}(P_{GH,16j})]t_j, \quad j=1, \dots, 6 \quad (5.4)$$

Her alt zaman dilimindeki sabit pu reaktif güç üretim değerleri Çizelge 5.7’de verilmiştir. Çalışmada reaktif güç optimizasyonu yapılmadığından bu değerler işletim süresi boyunca değişmemektedir. Problemin çözümünde kullanılan IGSA’ya ve KDHTKP’e ait parametre değerleri Çizelge 5.8’deki gibi alınmıştır.

Çizelge 5.7. Örnek sistemdeki üretim birimlerine ait sabit pu reaktif güç üretim değerleri.

Üretim Biriminin bağlı olduğu Bara no	Alt zaman dilimi (j)					
	1	2	3	4	5	6
4	0,400	0,550	0,600	0,700	0,650	0,500
5	0,400	0,550	0,600	0,650	0,650	0,500
8	0,400	0,550	0,600	0,600	0,600	0,500
10	0,400	0,550	0,600	0,600	0,600	0,500
12	0,400	0,550	0,600	0,700	0,600	0,500
14	0,400	0,550	0,600	0,700	0,650	0,500
15	0,400	0,550	0,600	0,700	0,600	0,500
16	0,400	0,550	0,600	0,650	0,650	0,500

Çizelge 5.8. Örnek problemin IGSA ve KDHTKP’e ait parametre değerleri.

IGSA					KDHTKP	
<i>IteN</i>	<i>N</i>	<i>N_{min}</i>	<i>N_{max}</i>	<i>SS</i>	<i>KCF_{sal}</i>	2.10^6
1000	50	30	59	20	<i>KCF_{V_m}</i>	10
<i>f_{Call}</i>	<i>Run</i>	<i>G₀</i>	<i>α</i>	<i>ε</i>	<i>Tol_{V_{son}}</i> (%)	1
50000	30	331	11	10^{-6}	<i>KCF_{V_{son}}</i>	10^3

Çizelge 5.8’de yer alan *IteN* algoritmanın durma kriteri olan iterasyon sayısını, *N* klasik bir sezgisel algoritma için belirlenen her popülasyondaki ajan sayısını, *f_{Call}* çözüm boyunca kaç kez amaç fonksiyonu çağırımı yapıldığının sayısını, *Run* her algoritma ile sistemin kaç kez çözüldüğünü, *N_{min}* başlangıç popülasyonundaki ajan sayısını, *N_{max}* artırımın bittiği popülasyondaki ajan sayısını, *SS* popülasyona yeni ajan ekleme adım sayısını, *G₀* yerçekimsel

sabitin başlangıç değerini, α yerçekimsel sabitin azalma hızını belirleyen sabit sayıyı, ε tanımsızlık sabitini, KCF_{sal} salınım barası ceza katsayısını, KCF_{V_m} rezervuarların minimum ve maksimum depolama sınırları ceza katsayısını, $Tol_{V_{son}}$ rezervuardaki su hacminin son değerinin yüzde tolerans değeri ve $KCF_{V_{son}}$ ise rezervuarların bitiş sınırları ceza katsayısını göstermektedir. Örnek sistem IGSA-1, 2 ve 3 ile 30'ar kez çözülmüştür. Her bir algoritmayla yapılan 30'ar çözümün tamamında elde edilen en iyi, en kötü, ortalama değer, standart sapma, toplam süre ve ortalama süre saniye olarak değerler Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen değerler.

	IGSA-1	IGSA-2	IGSA-3
En kötü	155601,018593 (Run: 15)	152867,995945 (Run: 10)	151615,582276 (Run: 4)
Ortalama	151904,885453	150639,948836	150356,349736
En İyi	149601,408856 (Run: 26)	149089,363410 (Run: 9)	148527,563642 (Run: 8)
Standart Sapma	1128,132209	1148,716338	883,828763
Toplam Süre (s)	12681,143676	12472,784025	11974,353144
Ort. Süre (s)	422,704789	415,759467	399,145105

Çizelge 5.9'da toplam ve ortalama süreler bakımından farklılıklar görülmektedir. Algoritmalar arasında bir miktar süre farkının olması yakınsama hızlarının değişkenlik göstermesiyle açıklanabilir. Daha çabuk yakınsayan algoritma (problemin yapısına göre), sonraki iterasyonlarda tekrar ceza fonksiyonu hesaplamak için vakit harcamamaktadır. İlk rassal atama değerleri farklı olduğundan dolayı, bu süreler her çalışma için farklılık göstermektedir.

IGSA-1 ile yapılan 30 çözüm içinde en iyi toplam yakıt maliyetine sahip 26. çalışmadaki çözüme ait, hidrolik üretim birimleri tarafından her alt zaman diliminde salınan su miktarları Çizelge 5.10'da, alt zaman dilimleri sonunda rezervuardaki su hacim değerleri Çizelge 5.11'de ve her alt zaman dilimindeki pu aktif ve reaktif güç üretim değerleri, iletim hattı kaybı, toplam yakıt maliyeti değeri ve çözüm süresi Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.9'da verilen 30 çözümünden, IGSA-2 için en iyi toplam yakıt maliyetinin elde edildiği 9. çalışmadaki çözüme ait ve yukarıdaki paragrafta zikredilen büyüklükler sırasıyla Çizelge 5.13, Çizelge 5.14 ve Çizelge 5.15'de verilmiştir.

IGSA-3 için en iyi toplam yakıt maliyetine sahip 8. çalışmadaki çözüme ait ve yine yukarıdaki paragrafta zikredilen büyüklükler sırasıyla Çizelge 5.16, Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.10. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=26).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı (acre-ft)			
	$q_{10j} (P_{GH,10j})$	$q_{12j} (P_{GH,12j})$	$q_{14j} (P_{GH,14j})$	$q_{16j} (P_{GH,16j})$
1	2398,712170	4240,668299	1935,973669	4020,938208
2	3109,070147	1305,935480	1520,000000	3774,643121
3	2923,299706	1847,447843	2573,486441	2418,117651
4	2349,707170	1325,129818	4372,124287	4437,415459
5	3125,020833	4367,438653	1863,690577	4138,757582
6	3714,995385	2945,377388	4544,356600	3458,914792
$q_{harcanan}$	17620,805410	16031,997480	16809,631570	22248,786810
q_{toplam}	17600	16000	16800	22200

Çizelge 5.11. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=26).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı (acre-ft)			
	V_{10j}	V_{12j}	V_{14j}	V_{16j}
$V_{baş}$	50000	45000	46600	40000
1	50201,28783	43158,04387	46464,02633	42155,70376
2	49692,21768	44961,17854	46744,02633	41206,99612
3	49368,91798	46037,03040	45970,53989	43209,81275
4	49619,21081	47061,60775	43398,41560	44469,65140
5	49094,18997	45819,18993	43334,72503	46562,02305
6	47979,19459	46588,80793	40590,36843	50592,84224
V_{son}	48000	46600	40600	50600
Fazladan harcanan su	20,805410	11,192069	9,631574	7,157758
%hata	0,043345	0,024017	0,023723	0,014146

Çizelge 5.12. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=26).

Üretim Birimi Baraları	Üretilen Güçler (pu)	Alt zaman dilimi (j)					
		1	2	3	4	5	6
1	$P_{GT,1}$	0,985428	1,804814	1,813171	1,212213	2,162611	1,348257
	$Q_{GT,1}$	0,603963	0,930127	0,962690	1,145685	1,156551	0,538697
4	$P_{GT,4}$	0,450000	2,096123	0,495296	1,635420	0,651749	0,457102
5	$P_{GT,5}$	1,421833	0,419229	2,301664	0,580586	1,590594	0,557061
8	$P_{GT,8}$	0,508297	1,680131	1,926584	0,992336	0,976394	0,734959
10	$P_{GH,10}$	0,542612	0,899935	0,806489	0,517961	0,907958	1,202551
12	$P_{GH,12}$	1,193818	0,010458	0,228810	0,018198	1,244935	0,671523
14	$P_{GH,14}$	0,184059	0,000000	0,466144	1,262002	0,152075	1,325212
15	$P_{GT,15}$	0,480737	0,546621	0,470502	2,206514	0,528057	0,541804
16	$P_{GH,16}$	1,175391	1,072768	0,507549	1,296391	1,216240	0,941214
Üretilen Aktif Güç (pu)		6,942174	8,530078	9,016209	9,721621	9,430614	7,779683
Toplam $P_{kayıp}$ (pu)		1,420380					
TYM (R)		149601,408856					
Süre (s)		425,701485					

Çizelge 5.13. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=9).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı (acre-ft)			
	$q_{10j} (P_{GH,10j})$	$q_{12j} (P_{GH,12j})$	$q_{14j} (P_{GH,14j})$	$q_{16j} (P_{GH,16j})$
1	3183,346429	1677,379782	1532,040524	3059,191224
2	1889,456041	2374,352213	4712,713159	4588,368825
3	1930,642447	4334,542881	3694,615654	3478,138375
4	3872,183976	1761,429882	1611,711575	4013,610005
5	3204,588570	4032,241422	3697,370584	2488,610607
6	3536,300318	1848,727891	1550,197996	4613,075924
$q_{harcanan}$	17616,517780	16028,674070	16798,649490	22240,994960
q_{toplam}	17600	16000	16800	22200

Çizelge 5.14. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=9).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı (acre-ft)			
	V_{10j}	V_{12j}	V_{14j}	V_{16j}
$V_{baş}$	50000	45000	46600	40000
1	49416,65357	46505,96665	46867,95948	40150,22908
2	50127,19753	46021,07047	43955,24632	42648,92563
3	50796,55508	43617,17004	42060,63066	47199,94579
4	49524,37111	45727,92414	42248,91909	46559,47724
5	48919,78254	44900,27128	40351,54850	51800,47864
6	47983,48222	46587,84371	40601,35051	50586,32860
V_{son}	48000	46600	40600	50600
Fazladan Harcanan su	16,517781	12,156289	-1,350507	13,671397
%hata	0,034412	0,026086	0,003326	0,027019

Çizelge 5.15. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=9).

Üretim Birimi Baraları	Üretilen Güçler (pu)	Alt zaman dilimi (j)					
		1	2	3	4	5	6
1	$P_{GT,1}$	1,688295	1,543108	1,883045	2,765145	2,739890	1,657846
	$Q_{GT,1}$	0,671463	0,759234	0,846238	1,314888	1,210703	0,603879
4	$P_{GT,4}$	1,425050	1,597209	0,724529	2,083266	0,512024	1,112224
5	$P_{GT,5}$	0,460980	0,419336	1,417786	0,626170	0,975830	0,448403
8	$P_{GT,8}$	0,547656	0,573641	0,985826	0,579822	0,797029	1,394185
10	$P_{GH,10}$	0,937297	0,286447	0,307164	1,244618	0,947982	1,114839
12	$P_{GH,12}$	0,160234	0,441271	1,231671	0,194125	1,109775	0,229326
14	$P_{GH,14}$	0,005328	1,373334	0,962219	0,040580	0,963438	0,013362
15	$P_{GT,15}$	0,943206	0,944576	0,541848	1,013585	0,856712	0,472525
16	$P_{GH,16}$	0,774663	1,335501	0,949224	1,172338	0,536921	1,341819
Üretilen Aktif Güç (pu)		6,942709	8,514424	9,003312	9,719650	9,439602	7,784530
Toplam $P_{kayıp}$ (pu)		1,404229					
TYM (R)		149089,363410					
Süre (s)		411,014801					

Çizelge 5.16. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=8).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı (acre-ft)			
	$q_{10j} (P_{GH,10j})$	$q_{12j} (P_{GH,12j})$	$q_{14j} (P_{GH,14j})$	$q_{16j} (P_{GH,16j})$
1	2049,392599	2026,787024	2703,567080	4405,992987
2	3172,469661	1390,404733	4555,595082	4315,828607
3	3603,534772	1282,980184	2990,432148	4341,317283
4	1509,604941	4325,811587	3415,338351	3843,845256
5	3467,805124	4491,381305	1611,952804	3255,899394
6	3814,639943	2504,864859	1539,713211	2083,228559
$q_{harcanan}$	17617,447040	16022,229690	16816,598680	22246,112090
q_{toplam}	17600	16000	16800	22200

Çizelge 5.17. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=8).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı (acre-ft)			
	V_{10j}	V_{12j}	V_{14j}	V_{16j}
$V_{baş}$	50000	45000	46600	40000
1	50550,60740	45022,60558	45696,43292	40324,36112
2	49978,13774	46804,67050	42940,83784	41954,53233
3	48974,60297	49125,22509	41750,40569	41886,62738
4	50064,99803	46309,01844	40135,06734	45783,93206
5	49197,19290	45285,44226	40323,11453	48631,36677
6	47982,55296	46595,21735	40583,40132	50592,71628
V_{son}	48000	46600	40600	50600
Fazladan Harcanan su	17,447040	4,782651	16,598676	7,283716
%hata	0,036348	0,010263	0,040883	0,014395

Çizelge 5.18. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=8).

Üretim Birimi Baraları	Üretilen Güçler (pu)	Alt zaman dilimi (j)					
		1	2	3	4	5	6
1	$P_{GT,1}$	1,415690	1,751958	2,176274	1,809028	1,841876	2,287202
	$Q_{GT,1}$	0,668969	0,761154	0,988437	1,027657	1,123669	0,672392
4	$P_{GT,4}$	1,083701	0,515938	1,385997	0,716955	0,995421	0,484549
5	$P_{GT,5}$	0,418280	1,534607	1,266423	1,553494	1,300699	1,594046
8	$P_{GT,8}$	0,688922	0,519509	0,570753	1,809513	1,560063	0,712455
10	$P_{GH,10}$	0,366898	0,931826	1,148659	0,095375	1,080385	1,229350
12	$P_{GH,12}$	0,301124	0,044518	0,001202	1,228150	1,294912	0,493897
14	$P_{GH,14}$	0,523702	1,328466	0,650634	0,838645	0,040687	0,008723
15	$P_{GT,15}$	0,863633	0,607299	0,550785	0,517173	0,454880	0,613376
16	$P_{GH,16}$	1,288137	1,264225	1,271019	1,101602	0,856625	0,368012
Üretilen Aktif Güç (pu)		6,950088	8,498345	9,021746	9,669935	9,425548	7,791611
Toplam $P_{kayıp}$ (pu)		1,357275					
TYM (R)		148527,563642					
Süre (s)		386,917206					

IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümü yapılan örnek sistem için Çizelge 5.10-5.15 incelenirse, termik üretim birimleri için her alt zaman dilimindeki aktif güç değerleri Çizelge 5.3'te verilen sınır değerler arasında kaldığı görülmektedir. Benzer şekilde, hidrolik üretim birimleri tarafından her alt zaman diliminde deşarj edilen su miktarlarının ve bu su miktarları ile elde edilen her alt zaman dilimindeki aktif güç değerlerinin Çizelge 5.4'de verilen sınır değerler arasında kaldığı görülmektedir. *TYM* değerlerine bakıldığında ise kabul edilen su toleransı içinde 148527,563642 *R* ile en iyi değeri IGSA-3 yakalamıştır. IGSA-3 ile bulunan en iyi değer 399,145105 s sürede hesaplanmıştır. Çizelge 5.11, 5.14 ve 5.17'den görüldüğü gibi çözümlerin %0,003326 ile %0,043345 arasındaki su son değerleri hatalarıyla elde edildiği görülmektedir. Bu hata değerleri aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$\%hata = \frac{V_m^{son} - V_{m,j_{max}}}{V_m^{son}} \times 100, \quad m = 10, 12, 14, 16 \quad (5.5)$$

Literatürdeki sıfır su hatası ile çalışan metotlarla sonuçlar karşılaştırılmak istenirse, Çizelge 5.11, 5.14 ve 5.17'deki %hata değerlerinin sıfırlanması gerekir. Sıfırlama işleminin nasıl yapıldığına örnek olarak IGSA-1 için 10. baraya bağlı hidrolik üretim biriminin yeni deşarj edilen su ve üretilen aktif güç değerleri yeniden hesaplanmıştır. Çalışmadaki bütün sıfırlama işlemleri aynı şekilde yapılmıştır.

Çizelge 5.11'den görüldüğü gibi 10. hidrolik birim için 6. alt zaman dilimi sonunda rezervuarında birikmesi gereken su miktarı tutturulamamıştır ($V_{10,6} \neq V_{10}^{son}$). 6. alt zaman dilimi sonunda 48000 *acre-ft*'lik suyun kalması için, 10. hidrolik birimin deşarj etmesi gereken su miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$q_{10,6} (P_{GH,10,6}) = (49094,1899 + (4 \times 650) - 48000) = 3694,189900 < 3714,99 \text{ acre-ft}$$

Hata değerini sıfır yapan yeni su deşarj değerine göre hidrolik birimin aktif güç üretimi de aşağıdaki şekilde yeniden hesaplanmıştır.

$$((3694,1899/4) - 330) / 4,97 = 119,4260 \text{ MW} = 1,194260 < 1,202551 \text{ pu}$$

Burada bulunan su hatası sıfırlanmış $q_{10,6}$ değeri, serisinde olan $q_{12,6}$ 'nın düzeltilmesinde kullanılmıştır. Aynı şekilde $q_{14,6}$ değeri düzeltildikten sonra, düzeltilmiş $q_{12,6}$ ve $q_{14,6}$ değerleriyle en sonunda $q_{16,6}$ değeri düzeltilmiştir. Düzeltilmiş su deşarj değerlerinden hatasız hidrolik birim aktif güç üretimleri hesaplanmış ve sonunda bu değerler ile bir yük akışı yapılmıştır. Buradan 6. alt zaman dilimine ait yakıt maliyet değeri bulunmuş ve neticede yeni düzeltilmiş *TYM* değeri elde edilmiştir.

Bu işlemler yapıldığında, IGSA-1, 2 ve 3 için elde edilen değerler Çizelge 5.19'da verilmiştir. Çizelgede yeniden hesaplanan değerler koyu renkte verilmiştir.

Çizelge 5.19. Hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarındaki son su değerlerinin sıfır hata ile sağlanması durumunda IGSA-1, 2 ve 3 için 6. alt zaman dilimindeki aktif güç ve *TYM* değerleri.

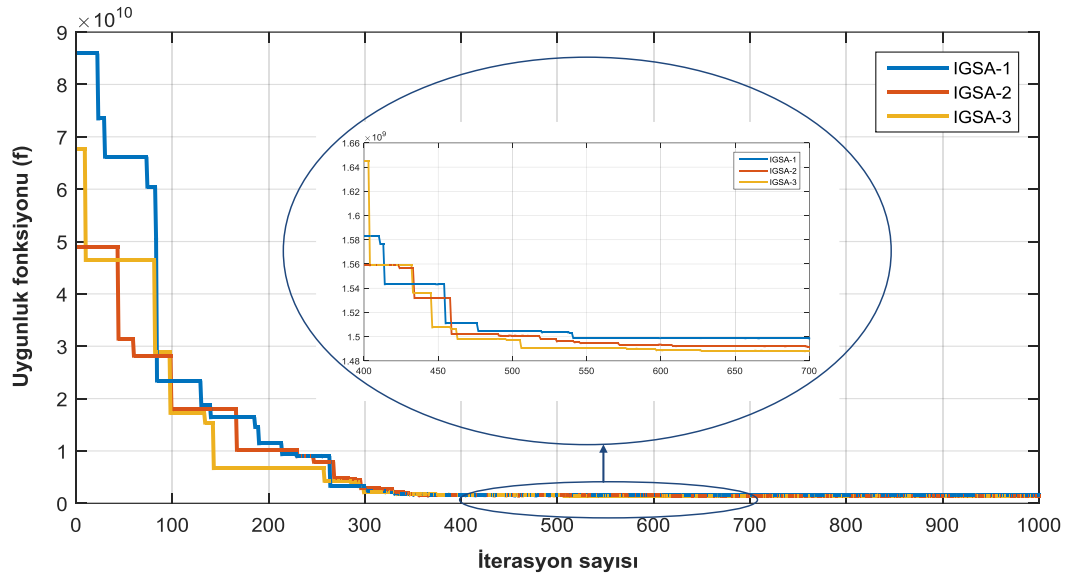
Üretim Birimi Baraları	Üretilen Güçler (pu)	j=6		
		IGSA-1	IGSA-2	IGSA-3
1	$P_{GT,1}$	1,391472	1,729426	2,330120
4	$P_{GT,4}$	0,457102	1,112224	0,484549
5	$P_{GT,5}$	0,557061	0,448403	1,594046
8	$P_{GT,8}$	0,734959	1,394185	0,712455
10	$P_{GH,10}$	1,194260	1,106530	1,224690
12	$P_{GH,12}$	0,658620	0,217763	0,484933
14	$P_{GH,14}$	1,322418	0,013959	0,001378
15	$P_{GT,15}$	0,541804	0,472525	0,613376
16	$P_{GH,16}$	0,920886	1,331323	0,348798
Üretilen Aktif Güç (pu)		7,778582	7,826338	7,794345
Düzeltilmiş <i>TYM</i> (R)		149635,503717	149146,530041	148562,628891

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen değerlerin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması Çizelge 5.20'de verilmiştir. Çizelgedeki karşılaştırmalar iki farklı şekilde iki satırda yapılmıştır. Çizelgede ilk satırdaki *TYM* değerleri, çözüm yöntemleri tarafından tolerans değeri içinde kalınarak belirlenmiş su hatasıyla, ikinci satırdaki değerler ise sıfır su hatasıyla bulunan değerlerdir. Çizelgede yer alan *TYM* değerleri PSPA (sözde spot yakıt algoritması) (Yaşar, 1999; Fadıl ve Yaşar, 2001)'den, Gradyent Metot (Yaşar, 1999)'dan ve F-MSG (uygun temeller değerli genelleştirilmiş subgradient algoritması) (Urazel, 2017)'den alınmıştır. Çizelgeden görüleceği üzere, sıfır su hatasıyla yapılan çözümler, verdikleri *TYM* değerlerine göre en iyiden (en küçük) en kötüye (en büyük) doğru sıralandığında, sıralamanın F-MSG, PSPA, Gradyent Yöntemi, IGSA-3, IGSA2 ve IGSA-1 şeklinde olduğu görülmektedir.

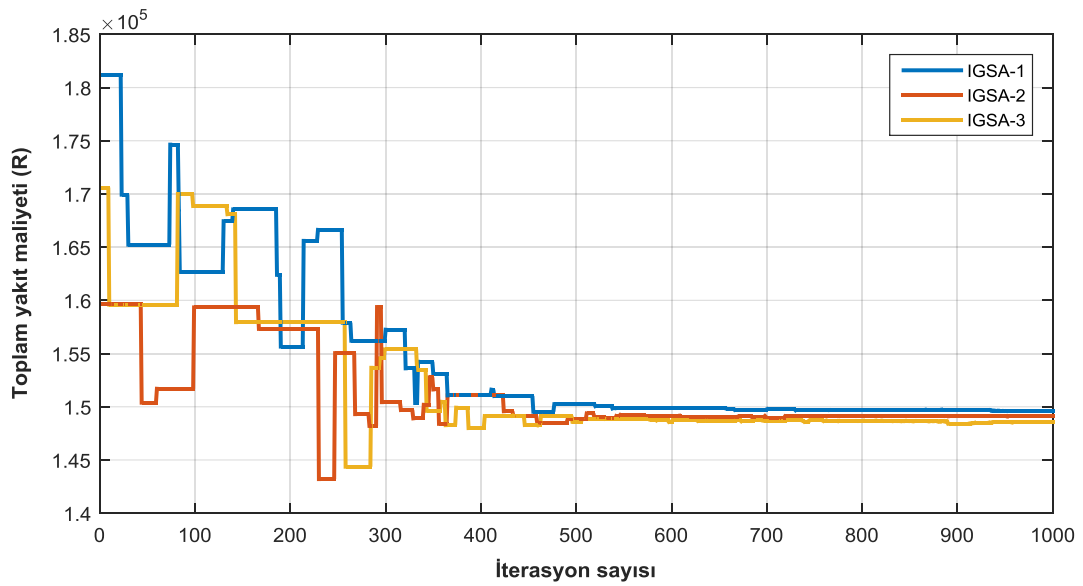
Çizelge 5.20. Literatür karşılaştırması.

	İteratif Yöntemler Analitik Metotlar			Sezgisel Algoritmalar		
	PSPA	Gradyent Yöntemi	F-MSG	IGSA-1	IGSA-2	IGSA-3
<i>TYM</i> (R) (%hata≠0)	147420,42	-	-	149601,40	149089,36	148527,56
<i>TYM</i> (R) (%hata=0)	147501,23	147522,33	147191,11	149635,50	149146,53	148562,62

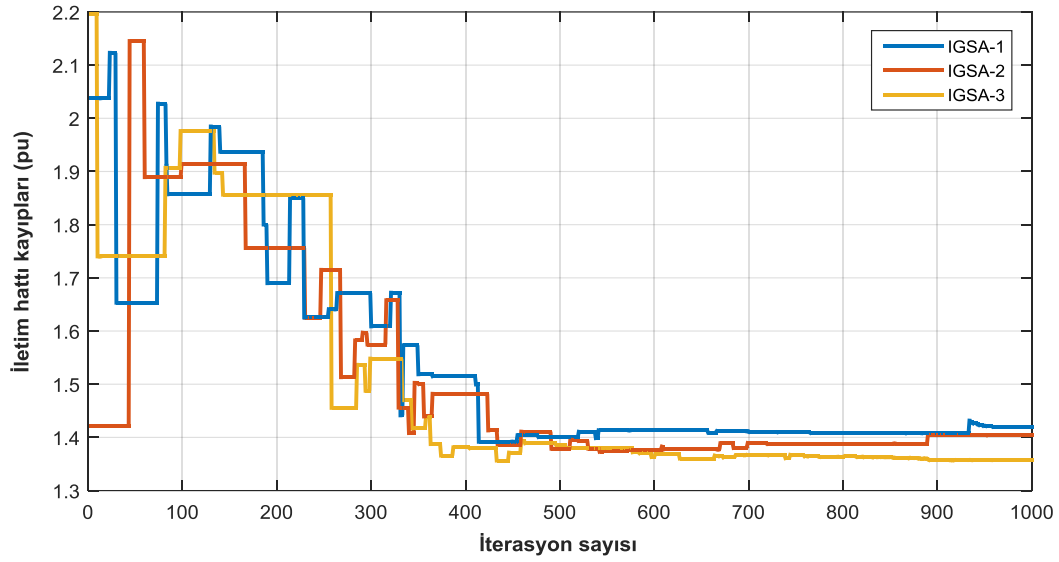
Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümü yapılırken amaç fonksiyonu olarak kullanılan f uygunluk fonksiyonunun iterasyon sayısına göre yakınsaması Şekil 5.3'te, aynı çözümlerde elde edilen toplam yakıt maliyeti değerlerinin iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.4'te, iletim hattı kayıplarının iterasyona göre değişimleri Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Uygunluk fonksiyonunun iterasyonlara göre değişimi.

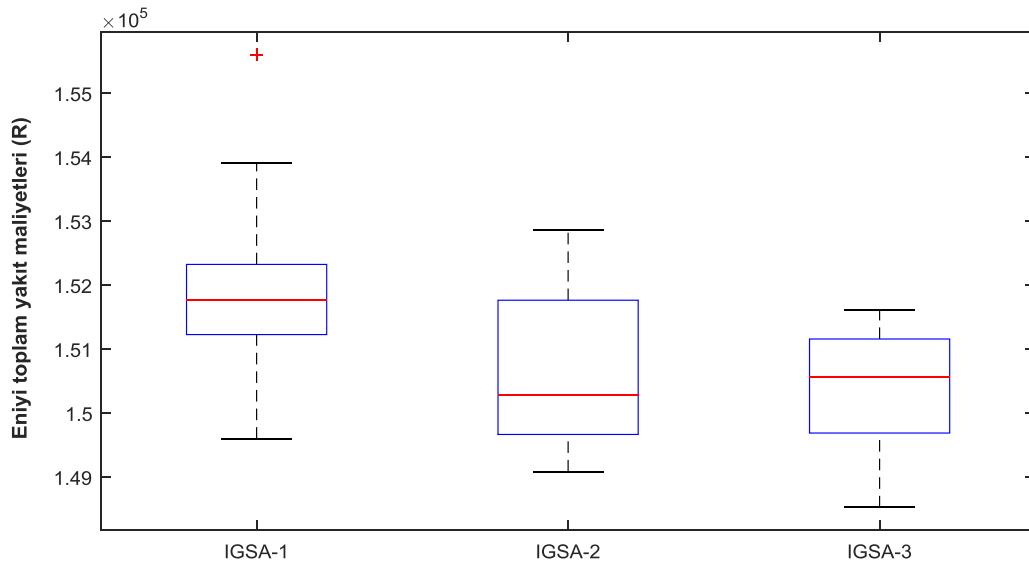


Şekil 5.4. Toplam yakıt maliyeti değerlerinin iterasyonlara göre değişimi.



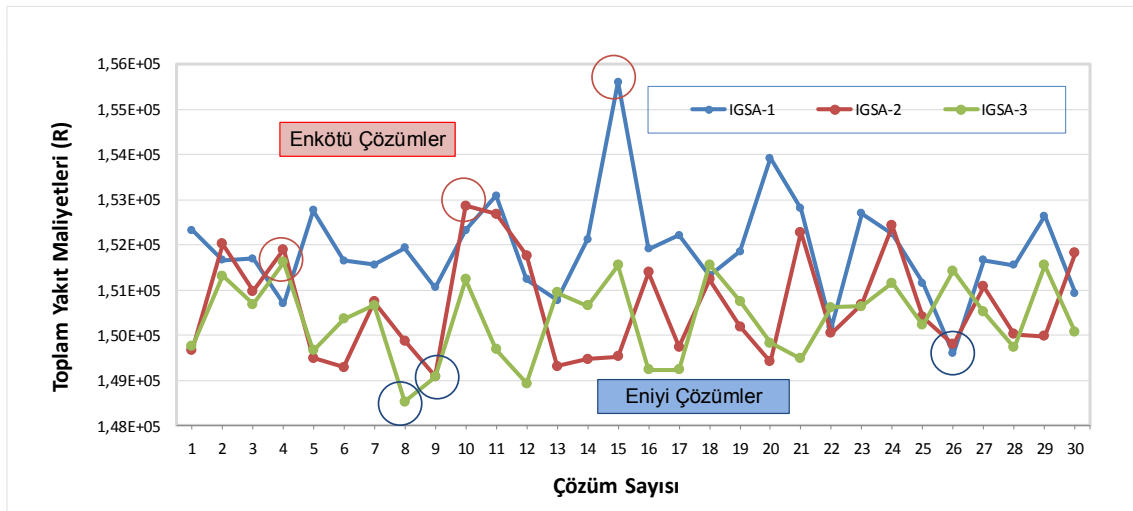
Şekil 5.5. İletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile 30'ar kez çözümünden elde edilen kutu grafikleri Şekil 5.6'da ve bu 30 çözümün tamamından elde edilen en iyi toplam yakıt maliyetlerinin değişimleri ise Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerlerinin kutu grafikleri.

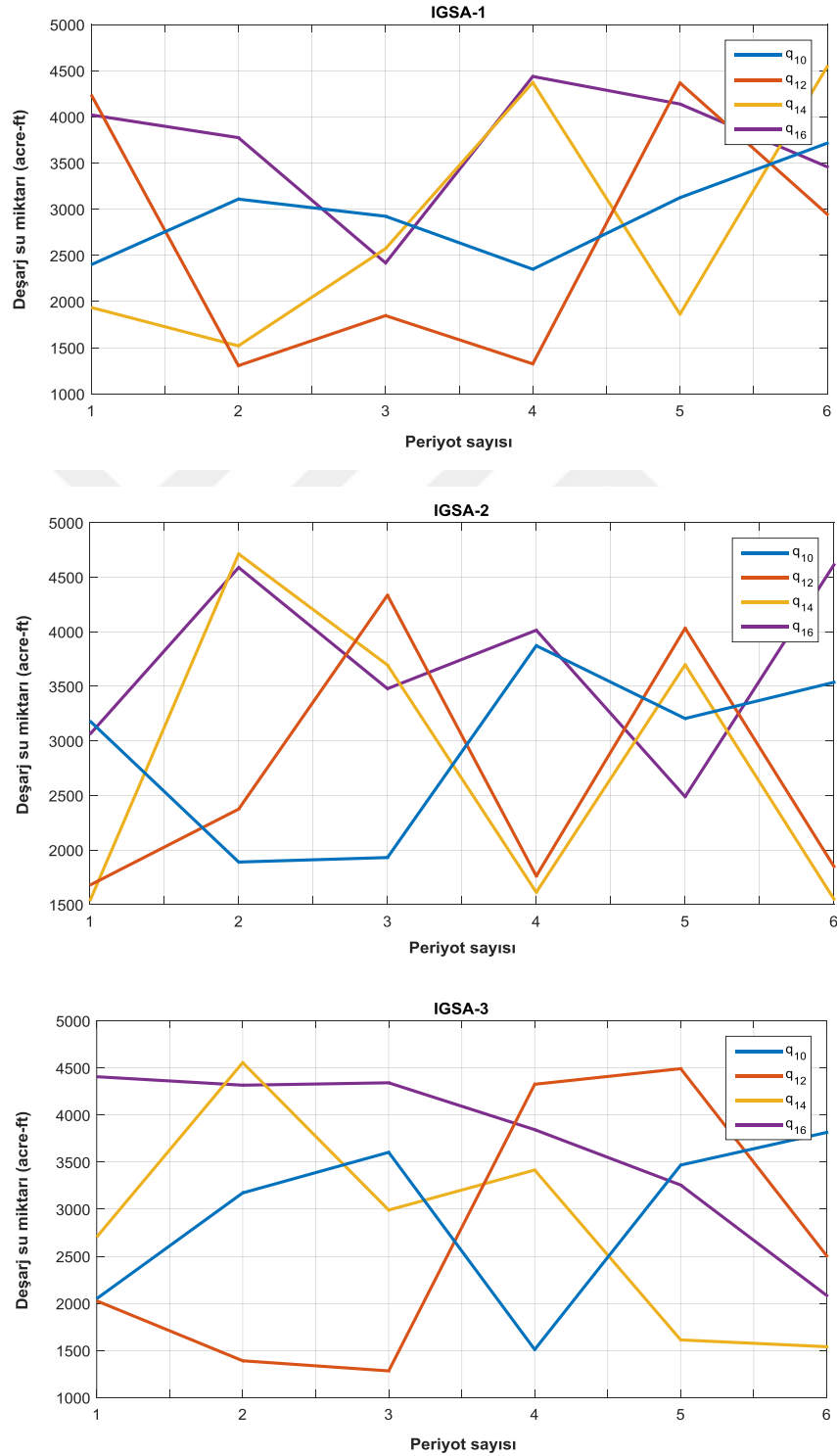
Kutu grafikleri çiziminde siyah renkteki çizgiler (sapan değer yok ise) 30 çalışmada elde edilen eniyi *TYM* ve enkötü *TYM* değerlerini göstermektedir. Kutu içindeki kırmızı çizgi küçükten büyüğe sıralanmış 30 değerlerin ortanca (medyan) değeridir. Mavi kutu çizgileri ise bu değerlerin ilk çeyreğinin ve son çeyreğinin ortanca değerleridir. Buna göre Şekil 5.6'daki 30 çalışmaya ait kutu grafikleri incelendiğinde, IGSA-3'ün 1 ve 2'ye göre daha düşük yakıt maliyeti değeri yakaladığı aynı zamanda IGSA-3'ün bu örnek için daha kararlı bir yapıda olduğu söylenebilir. IGSA-2 ve IGSA-3'te hiç sapan değer olmamasına rağmen IGSA-1'de bir adet sapan değer (şekilde kırmızı artı işareti ile gösterilen) vardır. IGSA-3, 30 çalışmada hem daha küçük bir arama aralığında arama yapmış hem de en düşük *TYM* değerini elde etmiştir.



Şekil 5.7. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerleri.

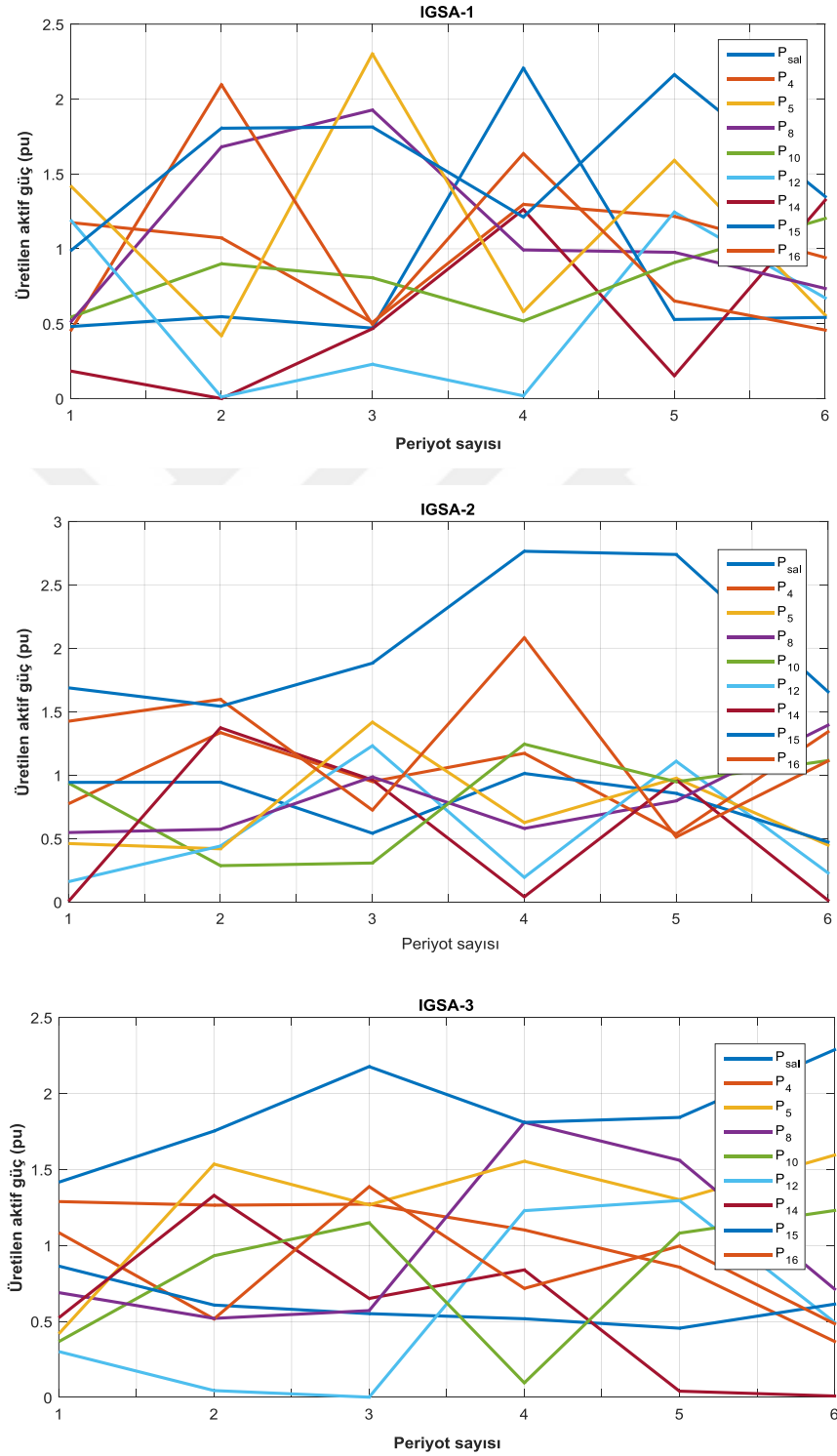
Şekil 5.7 incelendiğinde, IGSA-1, 2 ve 3 ile 30'ar kez yapılan çözümde, problem için belirlenen kısıtları sağlayan, yaklaşık minimum 148000 ve maksimum 156000 R arasında değişen toplam yakıt maliyeti değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Maksimum ile minimum maliyet arasındaki farklar yaklaşık olarak IGSA-1 için 6000 R, IGSA-2 için 3800 R ve IGSA-3 için 3000 R'dır. Bu yakıt maliyeti farklılıklarının nedeni, her çözümde algoritmanın su son kısıtlarını farklı kabul edilebilir aralıklarla sağlaması ve iletim hattı kayıplarının üretilen farklı güç değerlerine göre değişiklik göstermesidir. Şekilde mavi yuvarlak içine alınan 30 çalışmada elde edilen eniyi *TYM* değerleri ise IGSA-1 için 149601,408856 R, IGSA-2 için 149089,363410 R ve IGSA-3 için 148527,563642 R'dır. Şekilde kırmızı yuvarlak içine alınan 30 çalışmada elde edilen enkötü *TYM* değerleri ise IGSA-1 için 155601,018593 R, IGSA-2 için 152867,995945 R ve IGSA-3 için 151615,582276 R'dır.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerinden elde edilen en iyi çözümlere ait, hidrolik birimler tarafından harcanan su miktarlarının alt zaman dilimlerine göre değişimleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



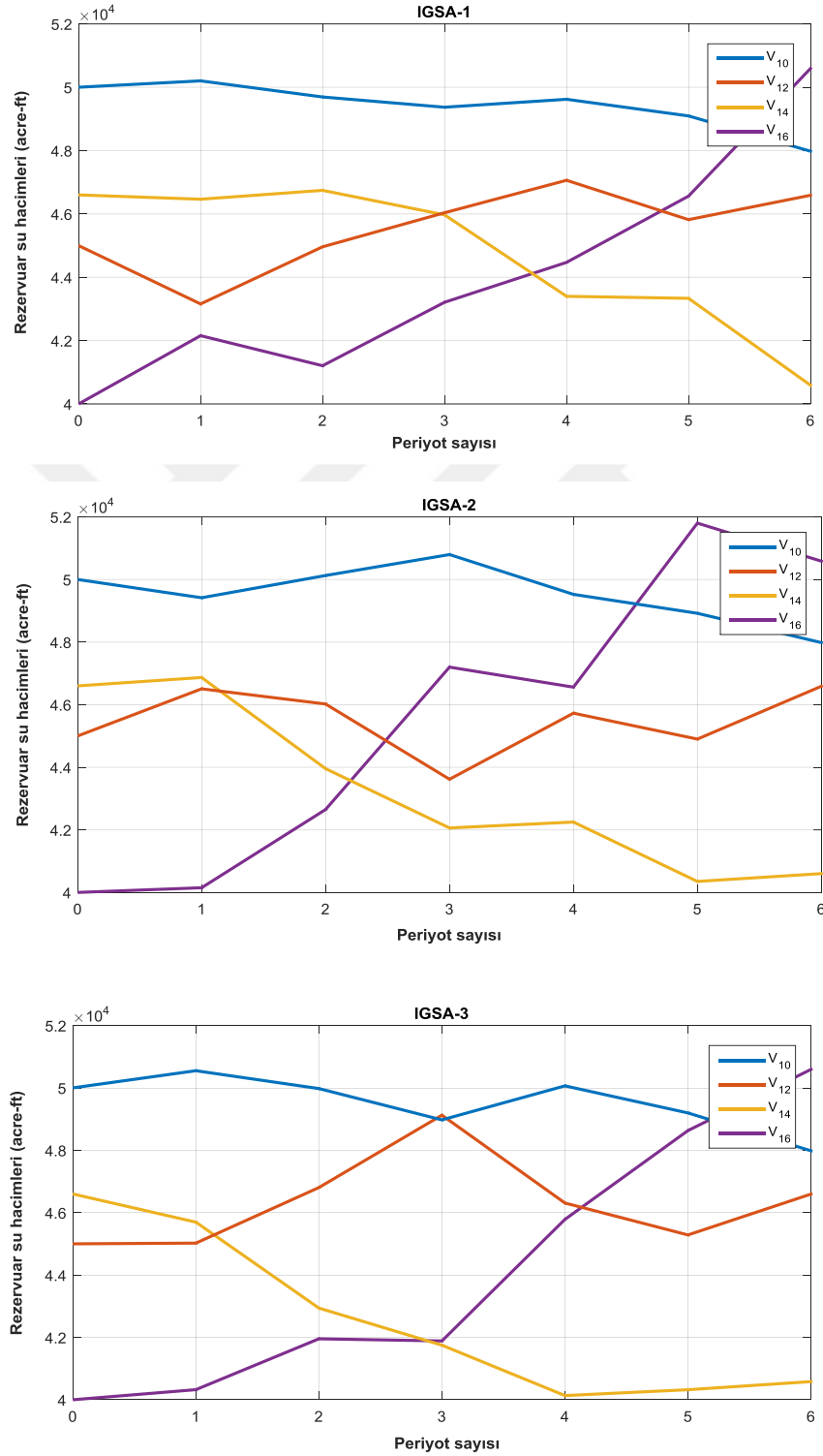
Şekil 5.8. Hidrolik birimlerin her alt zaman dilimindeki deşarj su miktarları.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerinden elde edilen en iyi çözümlere ait, üretim birimleri tarafından üretilen aktif güç miktarlarının alt zaman dilimlerine göre değişimleri Şekil 5.9'da verilmiştir.



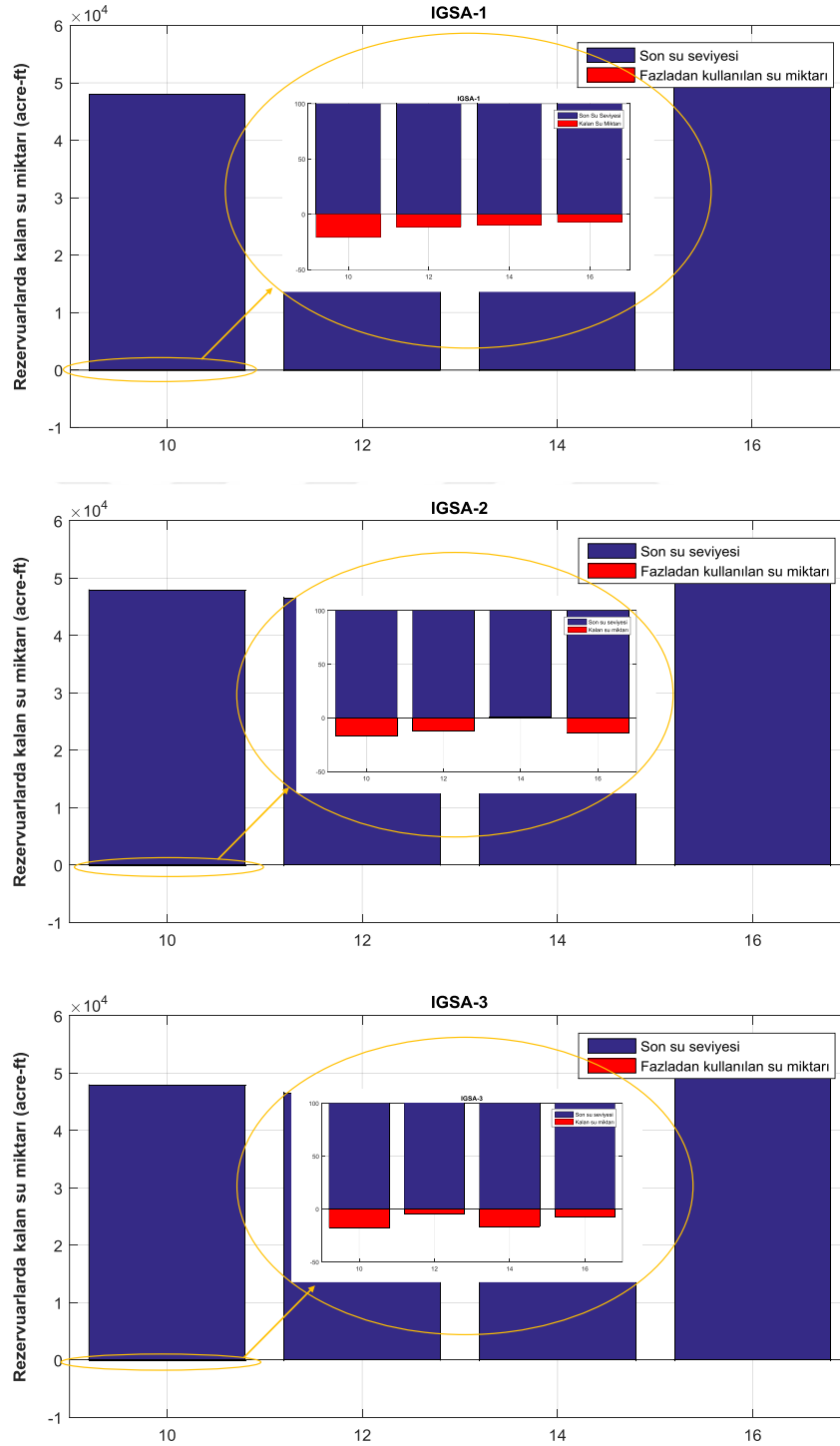
Şekil 5.9. Her alt zaman diliminde üretilen aktif güç değerleri.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerinden elde edilen en iyi çözümlere ait, hidrolik birimlerin rezervuarlarındaki su hacimlerinin alt zaman dilimlerine göre değişimleri Şekil 5.10'da verilmiştir.



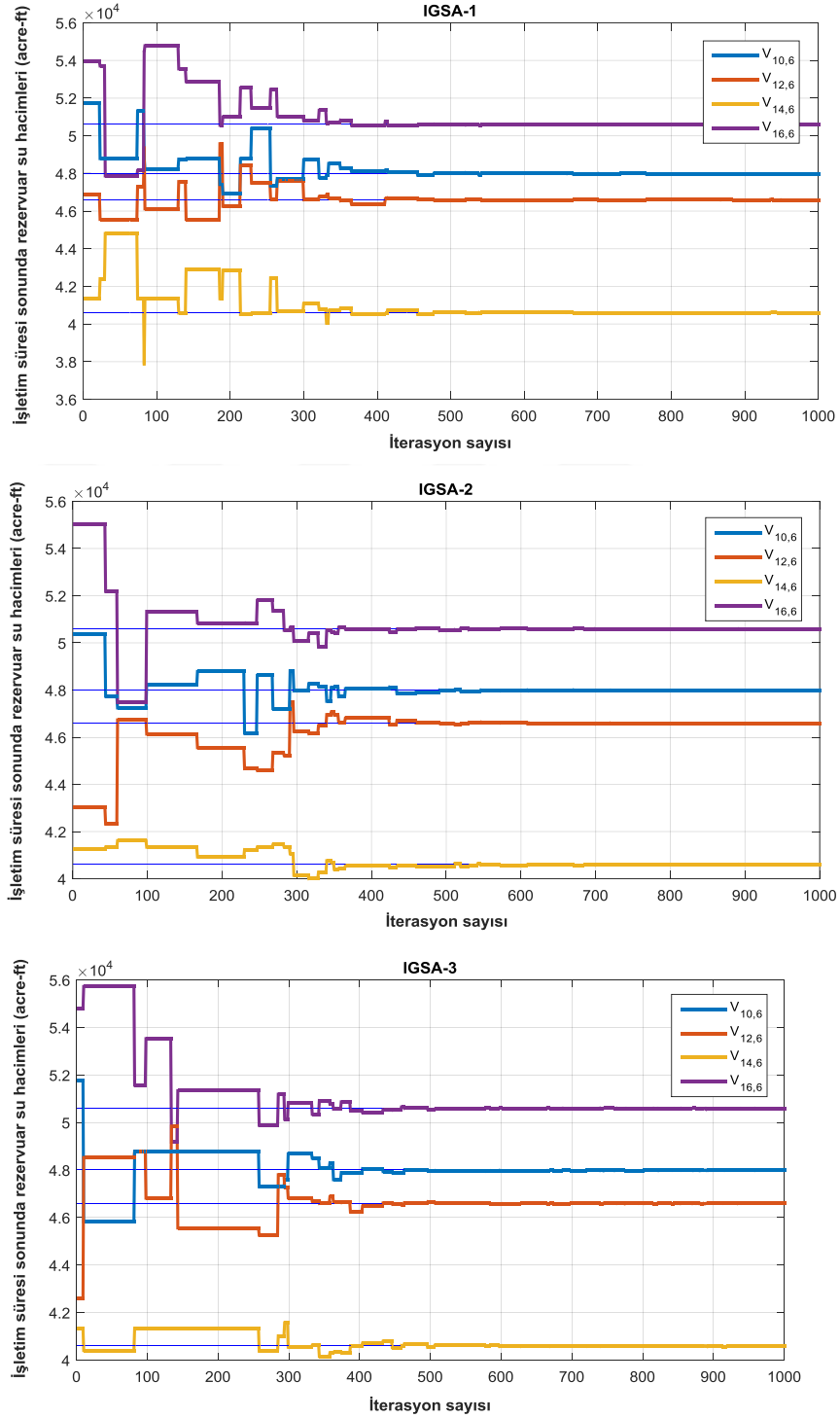
Şekil 5.10. Hidrolik birimlerin rezervuar su hacimlerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerinden elde edilen en iyi çözüme ait, hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarında işletim süresi sonunda kalan su miktarlarını gösteren grafikler Şekil 5.11’de verilmiştir.



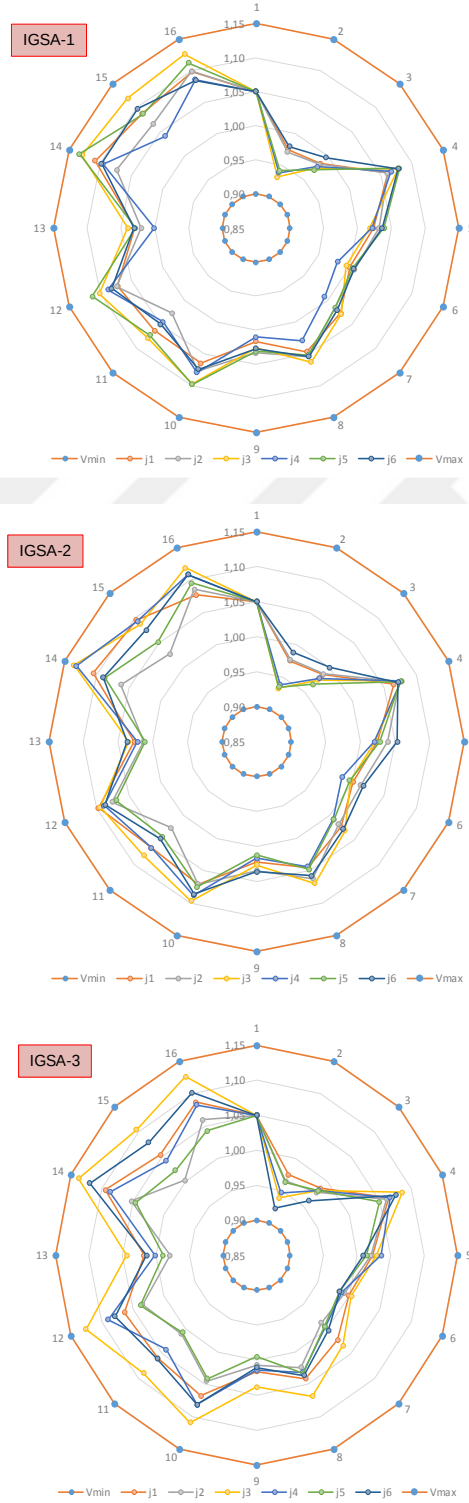
Şekil 5.11. İşletim süresi sonunda hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan su miktarları.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerinden elde edilen en iyi çözüme ait, hidrolik birimlerin rezervuarlarında işletim süresi sonundaki su seviyelerinin iterasyonlara göre değişimleri Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12. Hidrolik birimlerin işletim süresi sonu rezervuar su hacimlerinin iterasyonlara göre değişimi.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerinden elde edilen en iyi çözüme ait, sistemdeki bütün baraların gerilimlerinin, tüm alt zaman dilimlerine göre değişimlerini gösteren gerilim genliği değerleri Şekil 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.13. En iyi çözümlere ait bara gerilim genliklerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.

Şekil 5.3'te verilen uygunluk fonksiyonu incelendiğinde 350. iterasyondan sonra fonksiyonun çok değişmediği görülmektedir. Şekil 5.4'teki *TYM*'nin iterasyonlara göre değişimi ise 500. iterasyondan sonra çok fazla değişmediği görülmektedir. Şekil 5.5'teki iletim hattı kayıplarının iterasyon sayısına göre IGSA-3'le çözümü daha düşük olup 600. iterasyondan sonra değişimin minimum seviyede olduğu söylenebilir.

Şekil 5.8'de verilen deşarj su miktarları grafiklerinde, her üç çözümde, her alt zaman diliminde farklı miktarda su kullanılarak üretim yapıldığı görülmektedir. Değişik miktarlarda deşarj su miktarlarına rağmen Şekil 5.9'da üretilen aktif güç grafiklerindeki üretim değerleri Çizelge 5.3 ve 5.4'te verilen sınır değerler arasında kalmıştır.

Şekil 5.10'da işletim süresindeki tüm alt zaman dilimlerinde hidrolik birimlerin rezervuar seviyelerinin Çizelge 5.6'da verilen limitler arasında kaldığı görülmektedir.

Şekil 5.11'de, IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan çözümlerde işletim süresi boyunca hidrolik birimlerin harcaması gereken su miktarlarını belirlenen tolerans değerleri arasında harcadığı görülmüştür. Şekil 5.11'deki grafikte mavi sütunlar $V_{m,6}$, $m=10,12,14,16$ değerlerini, kırmızı sütunlar ise fazladan yada az kullanılan su miktarlarını göstermektedir. Negatif kırmızı sütun fazladan, pozitif kırmızı sütun ise az kullanılan su miktarını göstermektedir. Bu durum, grafiklerde gösterim kolaylığı açısından, çizelgedeki gösterimin tersi alınmıştır.

Şekil 5.12'de verilen en iyi çözümlerin elde edildiği çalışmalara ait rezervuar son su seviyeleri ise her üç algoritma ile Çizelge 5.6'daki değerleri verilen tolerans değerleri aralığında sağlamıştır.

Şekil 5.13'te ise *TYM* açısından en iyi çözümlere ait bara gerilim profillerinin bütün alt zaman dilimlerinde 0,90 pu ile 1,15 pu arasında elde edilmiştir.

5.2. Örnek Sistem-2: İletim hattı kayıplı konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren sabit düşülü KDHTKP

Bu örneğin Örnek Sistem-1'den farkı, termik üretim birimlerinin konveks yerine konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonlarına sahip olmasıdır. Diğer tüm veriler örnek sistem-1'de verildiği gibi alınmıştır. Şekil 5.1'de verilen örnek sistemdeki termik üretim birimlerine ait konveks olmayan yakıt maliyet eğrisi katsayıları (a_n , b_n , c_n) ve aktif güç üretim sınırları ise Çizelge 5.3'te verildiği için, yakıt maliyet eğrisinde valf nokta etkisini gösteren e_n ve f_n katsayıları ise

Çizelge 5.21’de verilmiştir. Örnek sistemin çözümünde kullanılan IGSA’ya ve probleme ait parametre değerleri Çizelge 5.22’de verilmiştir.

Çizelge 5.21. Örnek sistemde termik üretim birimlerinin yakıt maliyet eğrilerindeki valf nokta etkisini gösteren ilave katsayılar.

<i>Katsayılar</i>	<i>Bara No</i>				
	<i>1</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>8</i>	<i>15</i>
e_n	480	600	540	600	360
f_n	0,015	0,015	0,020	0,025	0,050

Çizelge 5.22. Örnek problemin IGSA ve KDHTKP’e ait parametre değerleri.

<i>IGSA</i>					<i>KDHTKP</i>	
<i>IteN</i>	<i>N</i>	<i>N_{min}</i>	<i>N_{max}</i>	<i>SS</i>	<i>KCF_{sal}</i>	2.10^6
1000	50	30	59	20	<i>KCF_{V_m}</i>	10
<i>f_{Call}</i>	<i>Run</i>	<i>G₀</i>	<i>a</i>	<i>ε</i>	<i>Tol_{V_{son}} (%)</i>	1
50000	30	343	9	10^{-6}	<i>KCF_{V_{son}}</i>	15.10^2

IGSA-1 ile yapılan 30 çözüm içinde en iyi toplam yakıt maliyetine sahip 23. çalışmadaki çözüme ait, hidrolik üretim birimleri tarafından her alt zaman diliminde salınan su miktarları Çizelge 5.23’de, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su değerleri Çizelge 5.24’de ve her alt zaman dilimindeki aktif ve reaktif güç üretim değerleri, iletim hattı kaybı, toplam yakıt maliyeti değeri ve çözüm süresi Çizelge 5.25’de verilmiştir. IGSA-2 için 16. çalışmadaki çözüme ait, yukarıda zikredilen değerler sırasıyla Çizelge 5.26’da, Çizelge 5.27’de ve Çizelge 5.28’de verilmiştir. IGSA-3 için 10. çalışmadaki çözüme ait, aynı değerler ise Çizelge 5.29’da, Çizelge 5.30’da ve Çizelge 5.31’de verilmiştir.

Çizelge 5.23. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=23).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı (acre-ft)			
	$q_{10j} (P_{GH,10j})$	$q_{12j} (P_{GH,12j})$	$q_{14j} (P_{GH,14j})$	$q_{16j} (P_{GH,16j})$
1	2504,820654	1306,194289	4990,500000	1352,160757
2	1334,490011	1645,788356	1651,741267	4095,380554
3	3896,814952	1453,931106	2123,751633	4593,918976
4	4158,987709	5516,720305	1523,908597	3016,174119
5	4180,759874	1369,824772	4955,280873	4541,276065
6	1538,057430	4732,364760	1520,000000	4602,256476
$q_{harcanan}$	17613,930630	16024,823590	16765,182370	22201,166950
q_{toplam}	17600	16000	16800	22200

Çizelge 5.24. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=23).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı (acre-ft)			
	V_{10j}	V_{12j}	V_{14j}	V_{16j}
$V_{baş}$	50000	45000	46600	40000
1	50095,17935	46198,62636	43409,50000	44944,53353
2	51360,68934	45887,32802	43557,75873	44146,68260
3	50063,87438	48330,21187	43234,00710	43130,44636
4	48504,88667	46972,47927	43510,09850	47154,90115
5	46924,12680	49783,41437	40354,81763	48938,73073
6	47986,06937	46589,10704	40634,81763	50588,83901
V_{son}	48000	46600	40600	50600
Fazladan Harcanan su	13,930629	10,892959	-34,817630	11,160988
%hata	0,029022	0,023375	0,085758	0,022057

Çizelge 5.25. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme, ait güç üretim değerleri (Run=23).

Üretim Birimi Baraları	Üretilen Güçler (pu)	Alt zaman dilimi (j)					
		1	2	3	4	5	6
1	$P_{GT,1}$	1,966113	1,899955	2,358480	2,288171	1,886389	2,034351
	$Q_{GT,1}$	0,825395	0,822390	1,202061	1,370152	1,318908	0,699144
4	$P_{GT,4}$	0,450755	2,353573	2,422703	2,373387	0,725407	0,461942
5	$P_{GT,5}$	0,457433	0,477035	0,406429	0,437263	0,411729	0,400156
8	$P_{GT,8}$	1,518258	0,506727	0,502413	0,500016	1,845731	1,481058
10	$P_{GH,10}$	0,595986	0,007289	1,251109	1,318615	1,324098	0,109687
12	$P_{GH,12}$	0,010562	0,147495	0,070134	1,636754	0,036220	1,392083
14	$P_{GH,14}$	1,450000	0,058293	0,267147	0,001729	1,440457	0,000000
15	$P_{GT,15}$	0,453826	1,865586	0,459597	0,450070	0,468763	0,597122
16	$P_{GH,16}$	0,063400	1,204267	1,336923	0,756739	1,323395	1,339055
Üretilen Aktif Güç (pu)		6,966334	8,520219	9,074934	9,762745	9,462188	7,815455
Toplam $P_{kayıp}$ (pu)		1,601876					
TYM (R)		166516,440648					
Süre (s)		394,544094					

Çizelge 5.26. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=16).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı (acre-ft)			
	$q_{10j} (P_{GH,10j})$	$q_{12j} (P_{GH,12j})$	$q_{14j} (P_{GH,14j})$	$q_{16j} (P_{GH,16j})$
1	1834,421483	5506,776552	1677,117467	3186,180742
2	3471,858917	4507,169195	1970,634150	2021,124734
3	3703,449880	1395,965464	4892,459125	3304,636901
4	2846,658988	1315,455976	1791,402538	4604,527030
5	2639,064885	1781,589063	4865,958878	4555,688471
6	3106,133844	1498,636477	1613,620769	4556,616253
$q_{harcanan}$	17601,588000	16005,592730	16811,192930	22228,774130
q_{toplam}	17600	16000	16800	22200

Çizelge 5.27. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=16).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı (acre-ft)			
	V_{10j}	V_{12j}	V_{14j}	V_{16j}
$V_{baş}$	50000	45000	46600	40000
1	50765,57852	41327,64493	46722,88253	43997,71328
2	49893,71960	40292,33465	46552,24838	48454,39189
3	48790,26972	42599,81907	43459,78926	51438,17958
4	48543,61073	44131,02208	43468,38672	49940,51106
5	48504,54585	44988,49790	40402,42784	52032,37053
6	47998,41200	46595,99527	40588,80707	50588,01153
V_{son}	48000	46600	40600	50600
Fazladan Harcanan su	1,587996	4,004731	11,192927	11,988474
%hata	0,003308	0,008594	0,027569	0,023693

Çizelge 5.28. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=16).

Üretim Birimi Baraları	Üretilen Güçler (pu)	Alt zaman dilimi (j)					
		1	2	3	4	5	6
1	$P_{GT,1}$	2,375970	2,044985	3,229690	2,330774	0,313850	2,396254
	$Q_{GT,1}$	0,793906	0,662988	1,239387	1,247183	1,440325	0,807481
4	$P_{GT,4}$	0,452076	0,450817	0,762543	1,787348	2,306845	0,450000
5	$P_{GT,5}$	0,401158	0,401600	0,456036	1,759082	1,126258	0,409867
8	$P_{GT,8}$	0,501611	0,970672	0,508593	0,500661	0,502492	1,761179
10	$P_{GH,10}$	0,258763	1,082424	1,198918	0,767937	0,663514	0,898458
12	$P_{GH,12}$	1,634188	1,301278	0,046760	0,014297	0,202254	0,088160
14	$P_{GH,14}$	0,069521	0,199396	1,423310	0,120090	1,416028	0,041425
15	$P_{GT,15}$	0,454379	1,707419	0,572297	1,078708	1,681355	0,450000
16	$P_{GH,16}$	0,827575	0,342135	0,876932	1,339636	1,327109	1,327348
Üretilen Aktif Güç (pu)		6,975240	8,500726	9,075080	9,698533	9,539706	7,822691
Toplam $P_{kayıp}$ (pu)		1,611978					
TYM (R)		165259,461040					
Süre (s)		394,83607					

Çizelge 5.29. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=10).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı (acre-ft)			
	$q_{10j} (P_{GH,10j})$	$q_{12j} (P_{GH,12j})$	$q_{14j} (P_{GH,14j})$	$q_{16j} (P_{GH,16j})$
1	2288,916004	1458,241043	1898,683875	4056,835816
2	3494,202474	1578,397766	1760,911292	3611,337926
3	2172,131410	4702,374461	1525,635592	4084,792358
4	4141,994773	5566,683177	1715,791608	2865,027062
5	4147,917667	1361,447944	4911,725074	3470,228908
6	1368,675755	1356,710761	4982,941419	4138,167608
$q_{harcanan}$	17613,838080	16023,855150	16795,688860	22226,389680
q_{toplam}	17600	16000	16800	22200

Çizelge 5.30. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=10).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı (acre-ft)			
	V_{10j}	V_{12j}	V_{14j}	V_{16j}
$V_{baş}$	50000	45000	46600	40000
1	50311,08400	45830,67496	46501,31612	39300,0891
2	49416,88152	47746,47967	46540,40483	39028,06023
3	49844,75011	45216,23662	46814,76924	41171,27793
4	48302,75534	43791,54821	46898,97763	45588,72565
5	46754,83767	46578,01794	43787,25256	48391,66976
6	47986,16192	46589,98293	40604,31114	50593,15433
V_{son}	48000	46600	40600	50600
Fazladan Harcanan su	13,838081	10,017070	-4,311139	6,845665
%hata	0,028829	0,021496	0,010619	0,013529

Çizelge 5.31. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=10).

Üretim Birimi Baraları	Üretilen Güçler (pu)	Alt zaman dilimi (j)					
		1	2	3	4	5	6
1	$P_{GT,1}$	1,347218	1,687110	2,340588	2,390682	1,933418	2,284858
	$Q_{GT,1}$	0,720955	0,691559	1,094797	1,143540	1,276860	0,781792
4	$P_{GT,4}$	0,462922	0,568999	2,284271	0,526212	0,488773	0,455362
5	$P_{GT,5}$	0,467617	0,454468	0,415893	0,945563	0,407777	0,423153
8	$P_{GT,8}$	1,711741	1,761093	0,527163	1,614565	1,753127	1,480108
10	$P_{GH,10}$	0,487382	1,093663	0,428638	1,314324	1,315821	0,024485
12	$P_{GH,12}$	0,071871	0,120322	1,379990	1,649611	0,032842	0,030932
14	$P_{GH,14}$	0,167559	0,106598	0,002494	0,086633	1,428586	1,447956
15	$P_{GT,15}$	1,053596	1,697593	0,484596	0,481094	1,148075	0,450000
16	$P_{GH,16}$	1,190348	1,004724	1,201331	0,693761	0,945929	1,216077
Üretilen Aktif Güç (pu)		6,960255	8,494570	9,064962	9,702444	9,454346	7,812930
Toplam $P_{kayıp}$ (pu)		1,489510					
TYM (R)		164762,279867					
Süre (s)		415,006642					

Çizelge 5.24, 5.27 ve 5.30'dan %0,003308 ile %0,029022 arasındaki son su değerleri hatasıyla örnek sistemin optimal çözümlerinin elde edildiği görülmektedir. Önceki bölümde anlatıldığı gibi bu %hata değerleri sıfırlanmıştır. Bu işlemler yapıldığında IGSA-1, 2 ve 3 için elde edilen değerler Çizelge 5.32'de verilmiştir. Çizelgede yeniden hesaplanan değerler koyu renkte verilmiştir.

Çizelge 5.32. Hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarındaki son su değerlerinin sıfır hata ile sağlanması durumunda IGSA-1, 2 ve 3 için 6. alt zaman dilimindeki aktif güç ve *TYM* değerleri.

Üretim Birimi Baraları	Üretilen Güçler (pu)	j=6		
		IGSA-1	IGSA-2	IGSA-3
1	$P_{GT,1}$	2,027738	2,404104	2,308434
4	$P_{GT,4}$	0,461942	0,450000	0,455362
5	$P_{GT,5}$	0,400156	0,409867	0,423153
8	$P_{GT,8}$	1,481058	1,761179	1,480108
10	$P_{GH,10}$	0,102679	0,897658	0,017523
12	$P_{GH,12}$	1,382073	0,085904	0,021312
14	$P_{GH,14}$	0,015406	0,036472	1,449122
15	$P_{GT,15}$	0,597122	0,450000	0,450000
16	$P_{GH,16}$	1,347003	1,328146	1,208802
Üretilen Aktif Güç (pu)		7,815177	7,82333	7,810018
Düzeltilmiş <i>TYM</i> (R)		166515,164016	165271,547953	164764,700758

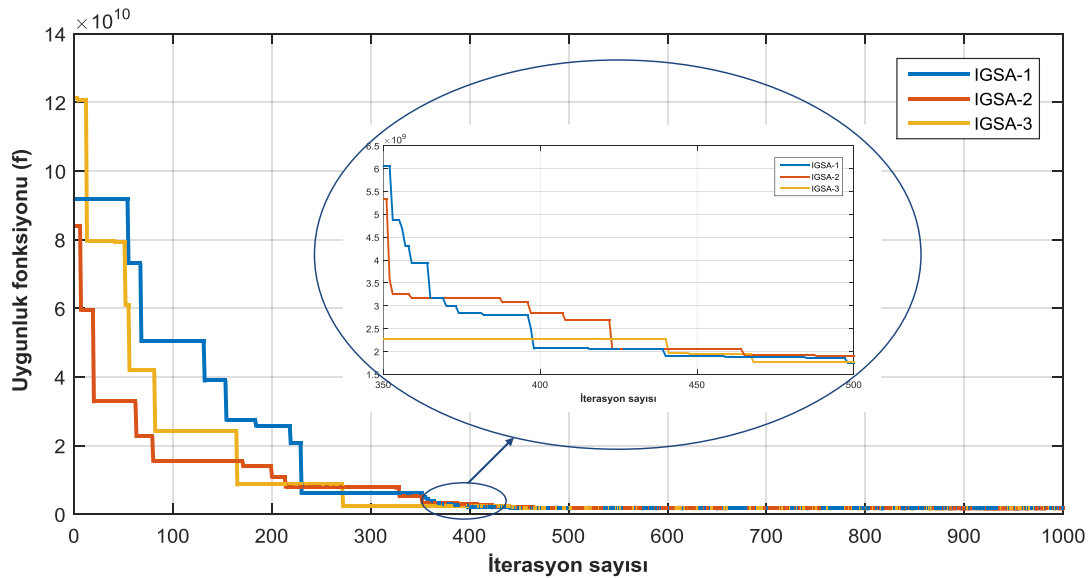
Örnek sistem IGSA-1, 2 ve 3 ile 30'ar kez çözülmüştür. Her bir algoritmayla yapılan 30'ar çözümün tamamında elde edilen en iyi, en kötü, ortalama değer, standart sapma, toplam süre ve ortalama süre Çizelge 5.33'de verilmiştir. Ortalama süre, 30 çalışmanın tamamlandığı toplam sürenin otuzda biri olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.33. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen değerler.

Bara No	IGSA-1	IGSA-2	IGSA-3
En kötü	177984,436320 (Run: 1)	178254,126221 (Run: 22)	180636,799895 (Run: 29)
Ortalama	171735,413861	173626,414026	173179,290880
En İyi	166516,440648 (Run: 23)	165259,461040 (Run: 16)	164762,279867 (Run: 10)
Standart Sapma	2746,184800	3399,757964	4108,580145
Toplam Süre (s)	12683,381965	11986,375052	12448,465212
Ort. Süre (s)	422,779399	399,545835	414,948840

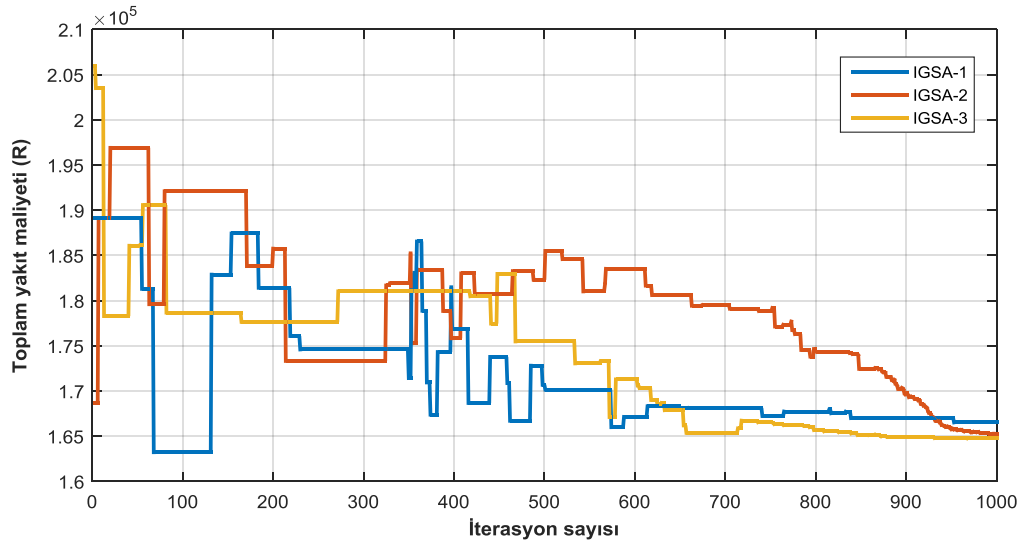
IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümü yapılan örnek sistemde hidrolik birimler tarafından her alt zaman diliminde deşarj edilen su miktarları, bu su miktarları akıtılarak elde edilen aktif güç değerleri ve kayıplar incelendiğinde, üretilen aktif güç değerlerinin Çizelge 5.3 ve 5.4'te verilen sınır değerler arasında kaldığı görülmektedir. *TYM* değerlerine bakıldığında ise IGSA-1 için 23. çalışmada 166516,440648 R, IGSA-2 için 16. çalışmada 165259,461040 R ve IGSA-3 için 10. çalışmada 164762,279867 R değerleri bulunmuştur. *TYM* açısından en iyi değer IGSA-3 ile yakalanmıştır. Bu en iyi değerler IGSA-1, 2 ve 3 için sırasıyla 394,544094 s, 394,836070 s ve 415,006642 s sürelerde bulunmuştur. En düşük yakıt maliyeti Çizelge 5.31'de IGSA-3 ile bulunan 164762,279867 R olan miktar, Çizelge 5.32'de sıfır su hatasıyla 164764,700758 R'ya çıkmış ve 2,4209 R daha artmıştır. Aynı sistemin F-MSG ile yapılan çözümünde $TYM=161079,23$ R olarak bulunmuştur. Dolayısıyla bulunan değerler F-MSG'ye göre pahalıdır.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümü yapılırken uygunluk fonksiyonunun iterasyon sayısına göre değişimi Şekil 5.14'te gösterilmiştir.

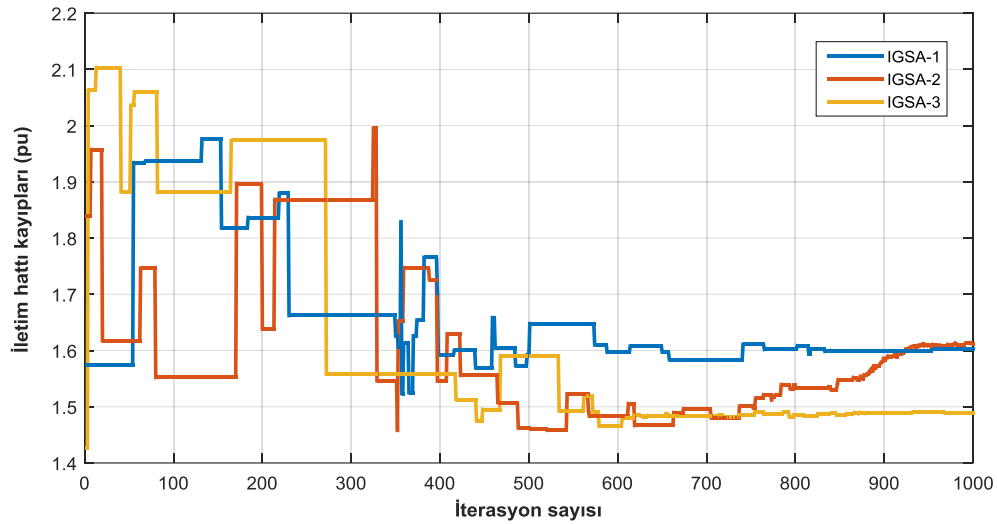


Şekil 5.14. Uygunluk fonksiyonunun iterasyonlara göre değişimi.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümü yapılırken elde edilen toplam yakıt maliyeti ve iletim hattı kayıplarının iterasyon sayısına göre değişimi sırasıyla Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



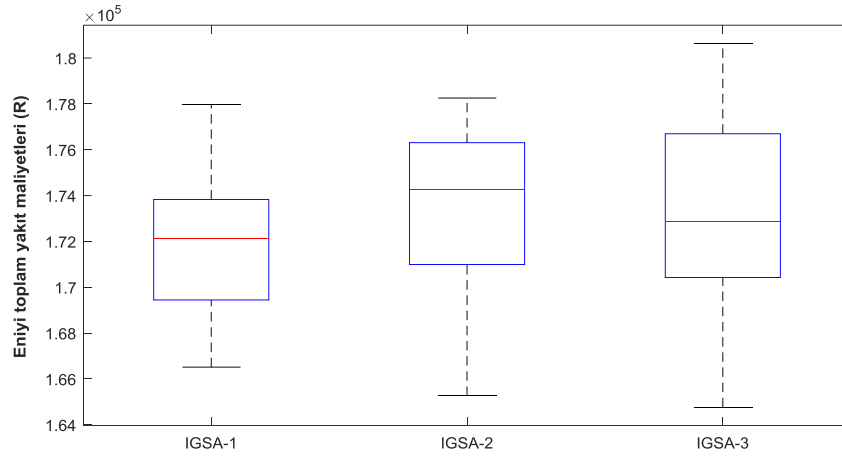
Şekil 5.15. Toplam yakıt maliyeti değerlerinin iterasyonlara göre değişimi.



Şekil 5.16. İletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi.

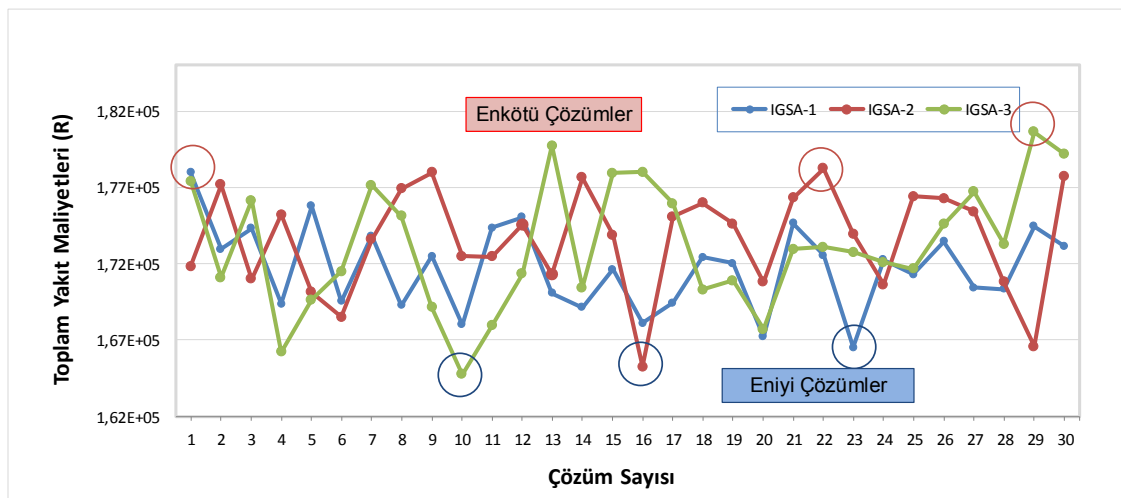
Örnek sistemin çözümünde durma kriteri olarak 1000 iterasyon sayısı belirlendiği halde, IGSA-1, 2 ve 3'e ait en iyi çözümlerin uygunluk fonksiyonlarının yakınsamasının yaklaşık 450. iterasyondan sonra tamamlandığı görülmektedir. Buna karşılık uygunluk fonksiyonundaki bazı ceza fonksiyonlarına karşılık gelen kısıtların tam sağlanamamasından dolayı, Şekil 5.15'teki toplam yakıt maliyeti değerlerinde ve Şekil 5.16'daki iletim hattı kayıplarında değişimler görülmektedir. Bu grafiklerde dikkat çeken diğer bir husus IGSA-3 yaklaşımının daha yüksek iletim hattı kaybına rağmen daha düşük toplam yakıt maliyeti değeri yakalamasıdır.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile 30 kez çözümünden elde edilen kutu grafikleri Şekil 5.17’de ve bu 30 çözümün tamamından elde edilen en iyi toplam yakıt maliyetlerini gösteren grafik ise Şekil 5.18’de verilmiştir.



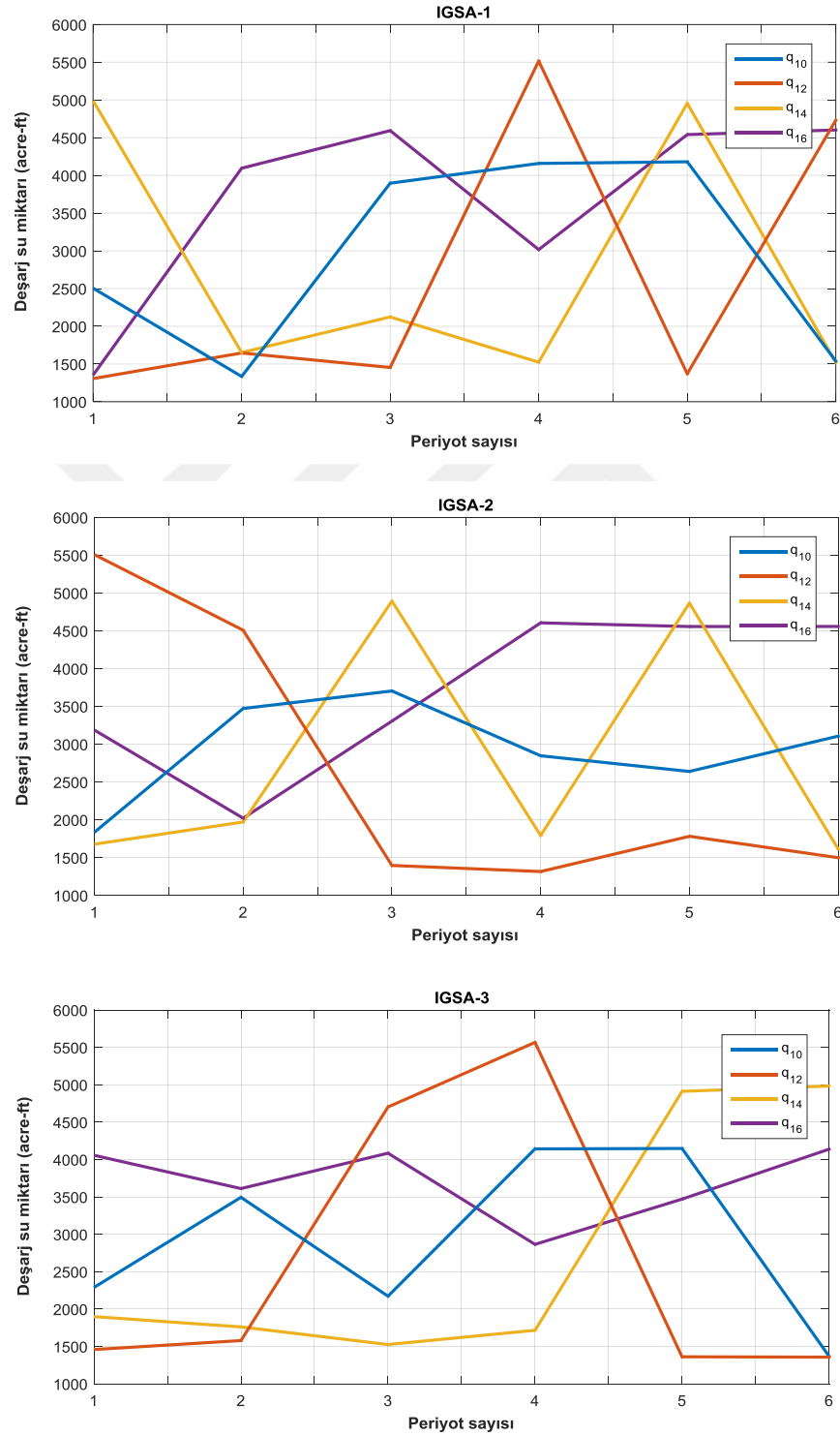
Şekil 5.17. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30’ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerlerinin kutu grafikleri.

Şekil 5.17’deki 30 çalışmaya ait kutu grafikleri incelendiğinde ise, IGSA-1’in daha dar bir alanda arama yapmasına rağmen IGSA-3, 1 ve 2’ye göre daha düşük toplam yakıt maliyeti değerini yakalamıştır. Konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonlarına sahip örnek sistemin çözümünde her üç yaklaşımda da sapan değer bulunmamaktadır.



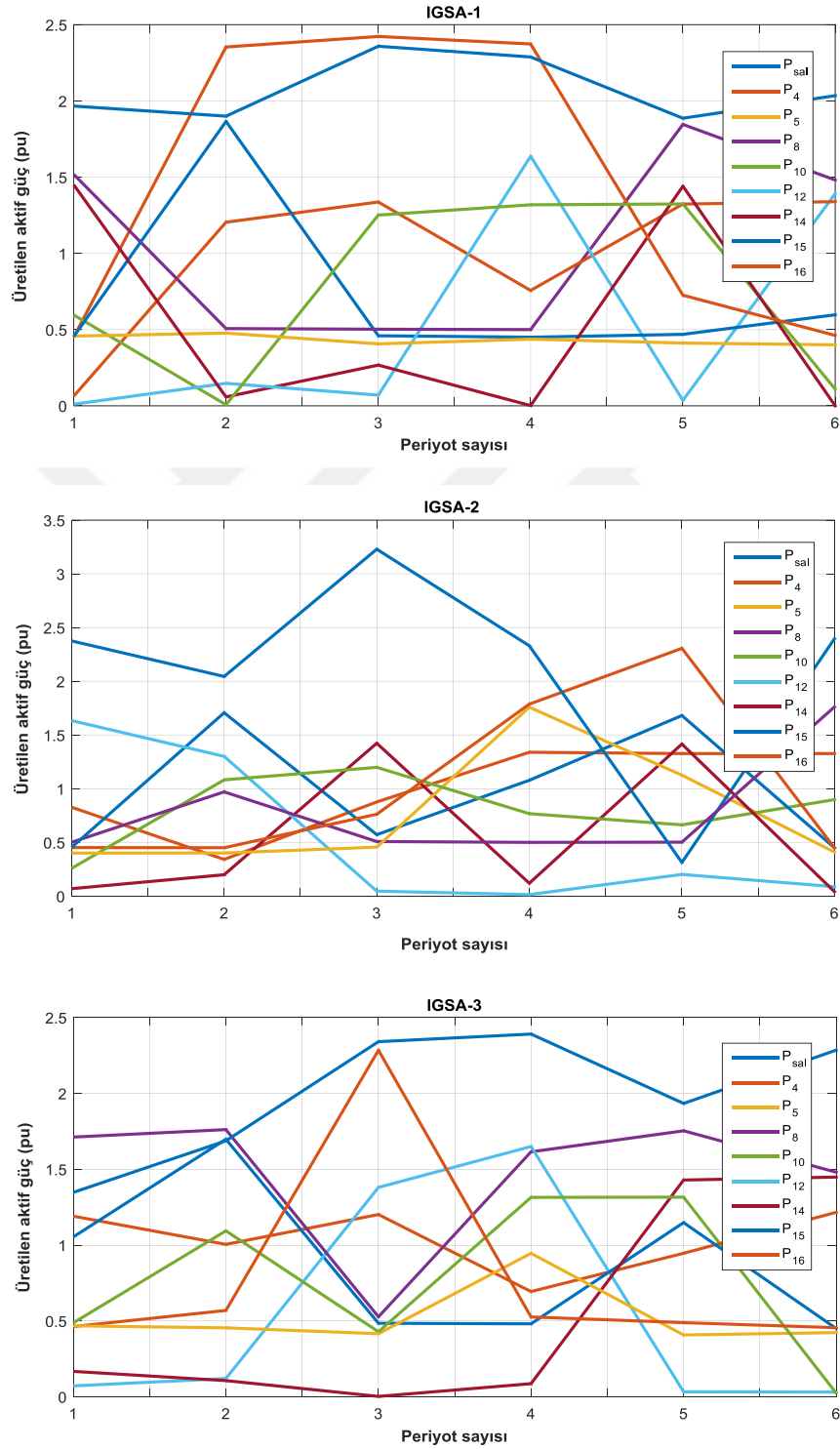
Şekil 5.18. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30’ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerleri.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerinden elde edilen en iyi çözümlere ait, hidrolik birimler tarafından harcanan su miktarlarının alt zaman dilimlerine göre değişimleri Şekil 5.19’da verilmiştir.



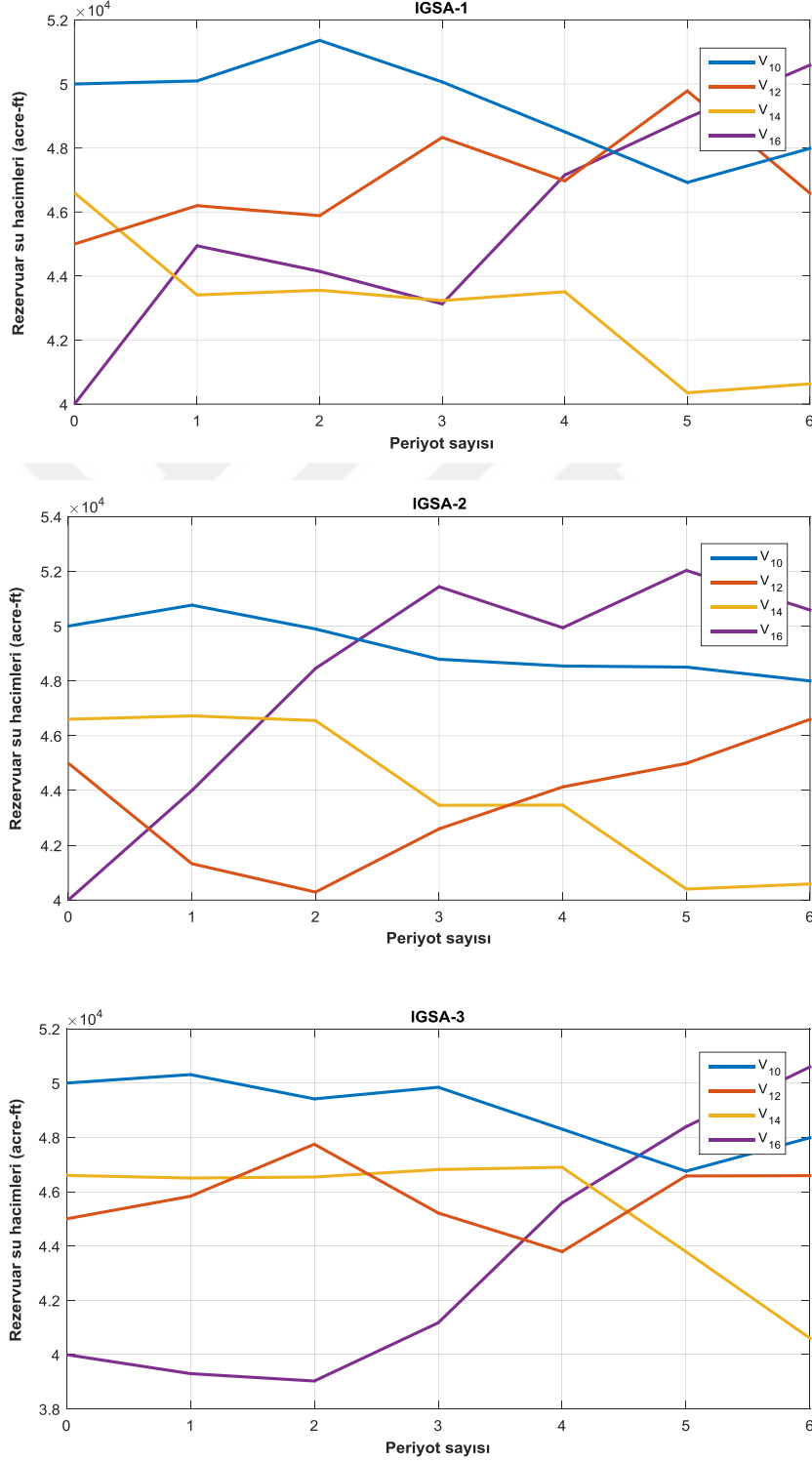
Şekil 5.19. Hidrolik birimlerin her alt zaman dilimindeki deşarj su miktarları.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerinden elde edilen en iyi çözümlere ait, üretim birimleri tarafından üretilen aktif güç miktarlarının alt zaman dilimlerine göre değişimleri Şekil 5.20’de verilmiştir.



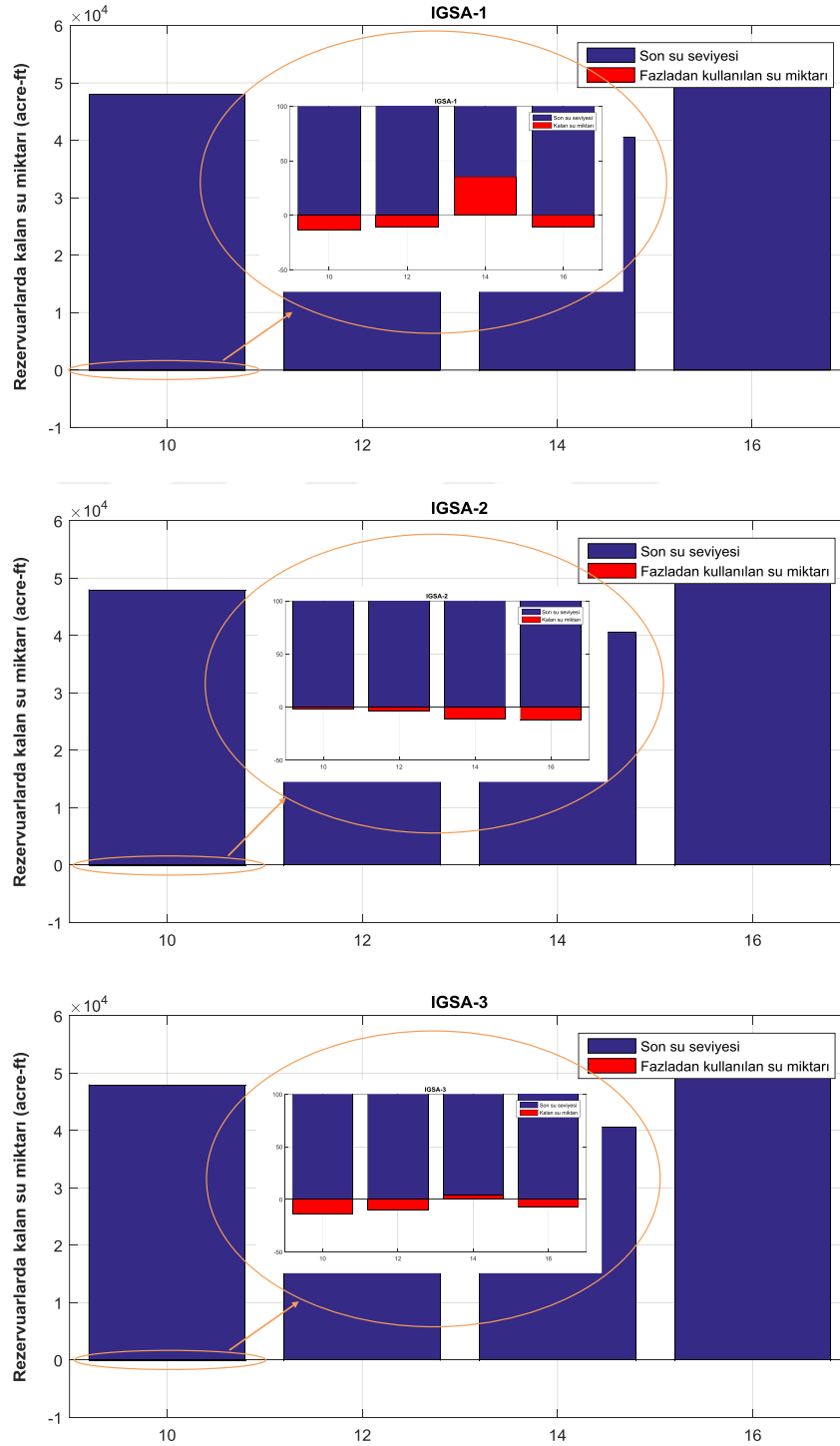
Şekil 5.20. Her alt zaman diliminde üretilen aktif güç değerleri.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerinden elde edilen en iyi çözümlere ait, hidrolik birimlerin rezervuarlarındaki su hacimlerinin alt zaman dilimlerine göre değişimleri Şekil 5.21’de verilmiştir.



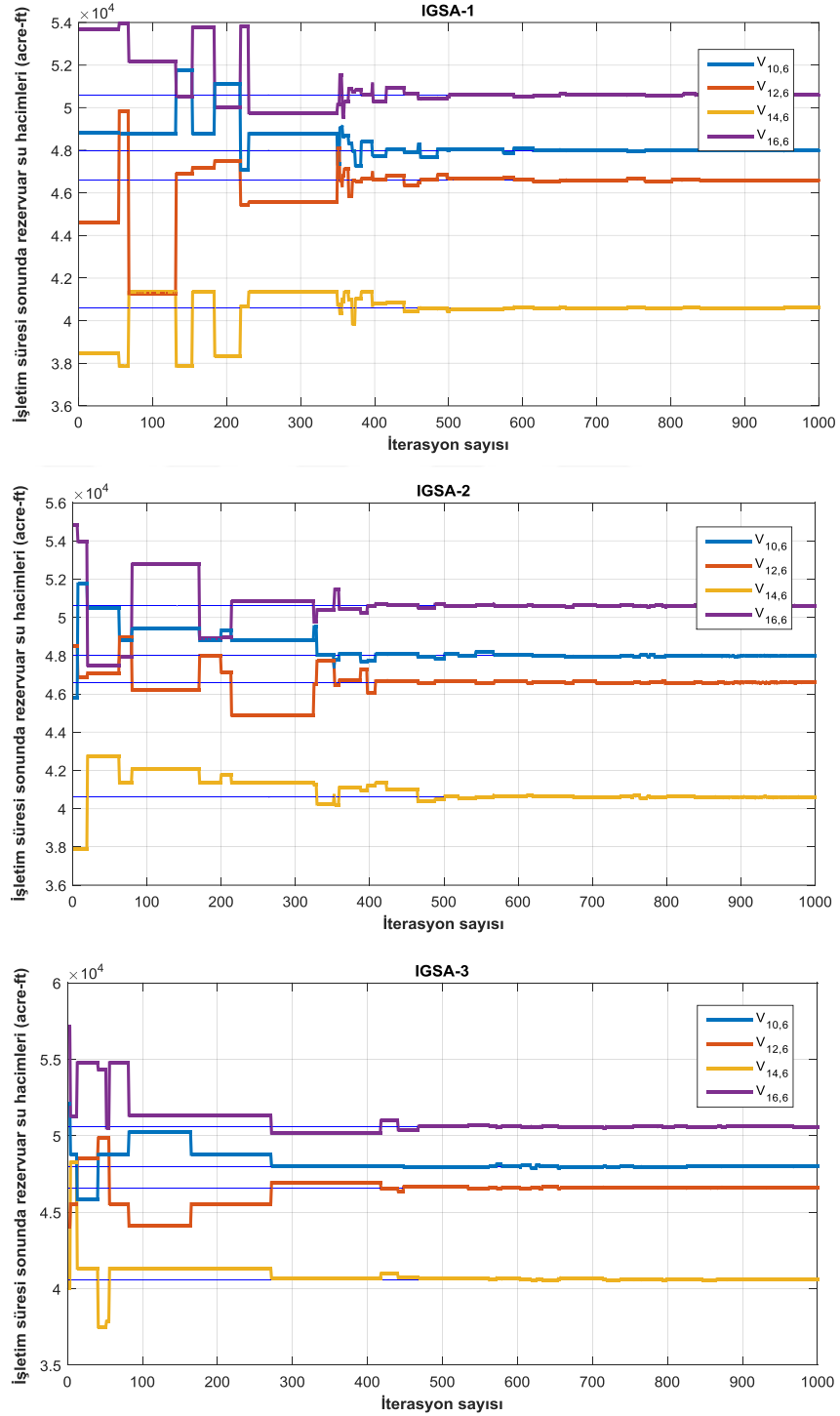
Şekil 5.21. Hidrolik birimlerin rezervuar su hacimlerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerinden elde edilen en iyi çözüme ait, hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarında işletim süresi sonunda kalan su miktarlarını gösteren grafikler Şekil 5.22’de verilmiştir.



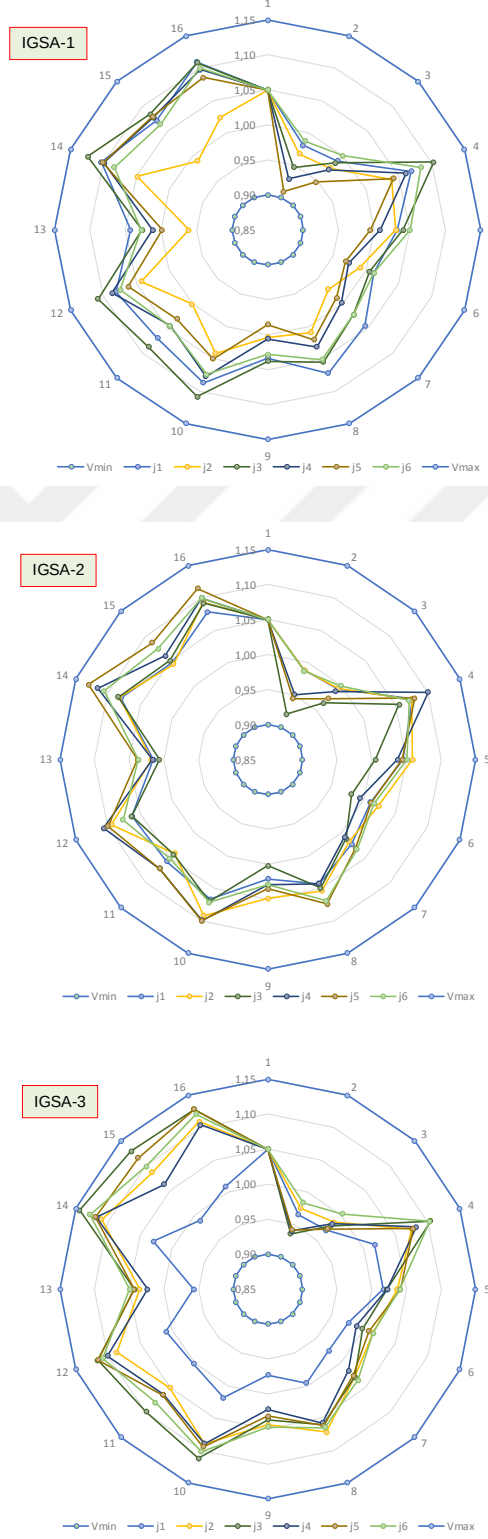
Şekil 5.22. İşletim süresi sonunda hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan su miktarları.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerinden elde edilen en iyi çözüme ait, hidrolik birimlerin rezervuarlarında işletim süresi sonundaki su seviyelerinin iterasyonlara göre değişimleri Şekil 5.23’de verilmiştir.



Şekil 5.23. Hidrolik birimlerin işletim süresi sonu rezervuar su hacimlerinin iterasyonlara göre değişimi.

Sistemdeki baraların gerilim genliklerinin, alt zaman dilimlerine göre değişimlerini gösteren gerilim grafikleri Şekil 5.24’de verilmiştir.

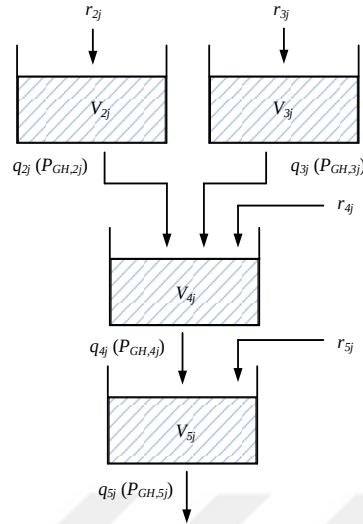


Şekil 5.24. En iyi çözümlere ait bara gerilim genliklerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.

Şekil 5.18 incelendiğinde, IGSA-1, 2 ve 3 ile 30 kez yapılan çözümlerde, problem için belirlenen kısıtları sağlayan, yaklaşık minimum 150000 ve maksimum 176000 R arasında, 26000 R 'lık bir bölgede toplam yakıt maliyeti değerleri elde edildiği görülmüştür. Şekil 5.19'da verilen deşarj edilen su miktarları grafiklerinde IGSA-1, 2 ve 3 için her alt zaman diliminde farklı miktarlarda su deşarj edilerek üretim yapıldığı görülmektedir. Şekillerde değişik miktarlarda deşarj edilen su miktarlarına rağmen Şekil 5.20'de üretilen aktif güç değerlerinin Çizelge 5.3 ve 5.4'te verilen sınır değerler arasında kaldığı görülmüştür. Şekil 5.21'de verilen her alt zaman dilimindeki rezervuar seviyeleri, IGSA-1, 2 ve 3 içinde Çizelge 5.6'daki rezervuar limitleri arasında kalmıştır. Şekil 5.22'de görülen grafikde ise her üç yaklaşımında harcanması gereken suyu belirlenen tolerans değerleri arasında harcadığı görülmektedir. Şekil 5.23'te verilen en iyi çözümlerin elde edildiği çalışmalara ait rezervuar son su seviyeleri ise IGSA-1, 2 ve 3 için yaklaşık 700. iterasyonda belirlenen tolerans değerleri içinde Çizelge 5.6'daki değerleri sağladığı görülmektedir. Bu iterasyondan sonra çok küçük bazı değişiklikler olmasının nedeni, amaç fonksiyonunun farklı cezalandırma fonksiyonu değerlerini sağlamaya çalışmasıdır. Şekil 5.24'te en iyi çözümlere ait bara gerilim profillerinin bütün alt zaman dilimlerinde IGSA-1, 2 ve 3 için 0,90 pu ile 1,15 pu arasında olduğu görülmüştür.

5.3. Örnek Sistem-3: İletim hattı kayıpları ihmal edilen konveks yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren değişken düşülü KDHTKP

Bu bölümde termik üretim birimleriyle birlikte, rezervuarlarındaki su hacimlerinin güç üretimi üzerinde etkisi olan (değişken düşülü) hidrolik üretim birimlerinin birlikte kullanıldığı bir güç sisteminin çözümü, iletim hattı kayıpları ihmal edilerek yapılmıştır. İletim hattı kayıpları ihmal edilen konveks yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren değişken düşülü KDHTKP'ne örnek olarak, daha önce literatürde birçok sezgisel algoritma ile çözümü yapılan, 6 baralı, 1 adet termik üretim birimi, 4 adet hidrolik üretim birimi ve 1 adet yük barasından oluşan güç sistemi seçilmiştir (Orero ve Irving, 1998). Örnek sistemdeki bütün değerler ilgili kaynaktan alınmış yalnızca hidrolik birimler yeniden numaralandırılmıştır. Sistemin baz değerleri $S_{baz}=100$ MVA olarak alınmıştır. Sistemde birer saatlik yirmidört eşit alt zaman diliminden ($t_j=1h$, $j=1,...,24$) oluşan bir günlük işletim süresi göz önüne alınmıştır. Sistemde 1 nolu baraya termik üretim birimi, 2, 3, 4 ve 5 nolu baralara ise değişken düşülü hidrolik üretim birimleri bağlanmıştır. Sistemdeki 6 nolu bara ise yük barasıdır. Problemin çözümünde iletim hatlarında meydana gelen kayıplar dikkate alınmamıştır. Örnek sistemdeki 2, 3, 4 ve 5 nolu baralara bağlı hidrolik üretim birimlerinin aralarındaki hidrolik ilişkiler Şekil 5.25'de gösterilmiştir.



Şekil 5.25. Örnek güç sistemindeki hidrolik üretim birimleri arasındaki hidrolik ilişkiler.

Problemde hidrolik olarak seri bağlı birimlerin rezervuarları arasında (üst kısımda yer alan birimden) deşarj olunan su (alt kısımda yer alan birimin rezervuarına) gecikmeli olarak ulaşmaktadır. Bu nedenle 2, 3, 4, ve 5. baralara bağlı hidrolik birimlerin her bir zaman dilimi sonunda rezervuarlarında depolanmış su hacmi değerleri gecikme özelliği dikkate alınarak sırasıyla denklem (5.5)-(5.8) kullanılarak hesaplanmaktadır. Örnek güç sistemindeki termik üretim birimine ait yakıt maliyet eğrisi katsayıları ve bu birimlerin aktif güç üretim sınırları Çizelge 5.34’te verilmiştir.

$$V_{2j} = V_{2j-1} + [r_{2j} - q_2(P_{GH,2j})].t_j, \quad j = 1, \dots, 24 \quad (5.5)$$

$$V_{3j} = V_{3j-1} + [r_{3j} - q_3(P_{GH,3j})].t_j, \quad j = 1, \dots, 24 \quad (5.6)$$

$$V_{4j} = V_{4j-1} + [r_{4j} + q_2(P_{GH,2(j-\tau_2)}) + q_3(P_{GH,3(j-\tau_3)}) - q_4(P_{GH,4j})].t_j, \quad j = 1, \dots, 24 \quad (5.7)$$

$$V_{5j} = V_{5j-1} + [r_{5j} + q_4(P_{GH,4(j-\tau_4)}) - q_5(P_{GH,5j})].t_j, \quad j = 1, \dots, 24 \quad (5.8)$$

Çizelge 5.34. Örnek sistemdeki termik üretim birimine ait saat başına maliyet fonksiyonu katsayıları ve aktif güç üretim limitleri.

Bara No (n)	a_n	b_n	c_n	$P_{GT,n}^{\min}$ (MW)	$P_{GT,n}^{\max}$ (MW)
1	5000,0	19,2	0,002	500,0	2500,0

Termik ve hidrolik birimlerden oluşan kayıpsız sistemde denklem (4.18) ve (4.19)'daki güç denge kısıtlarında $P_{kayıp,j} = 0$, $j = 1, \dots, j_{\max}$ ve $Q_{kayıp,j} = 0$, $j = 1, \dots, j_{\max}$ alınmıştır. Örnek sistemde her alt zaman diliminde değişmeyen aktif yük değerleri Çizelge 5.35'de verilmiştir. Değişken düşülü hidrolik üretim birimlerinin saat başına deşarj ettiği su miktarı eğrilerine ait katsayılar Çizelge 5.36'da verilmiştir. Hidrolik olarak seri bağlı birimlerin rezervuarları arasındaki suyun ulaşımı esnasında geçen süre (su gecikmesi - τ_m) ve bu birimlerin aktif güç üretim sınırları ise Çizelge 5.36'da verilmiştir.

Çizelge 5.35. Örnek sistemde her alt zaman dilimindeki aktif pu yük değerleri.

Alt zaman dilimi (j)	$P_{yük} (pu)$	Alt zaman dilimi (j)	$P_{yük} (pu)$
1	13,70	13	22,30
2	13,90	14	22,00
3	13,60	15	21,30
4	12,90	16	20,70
5	12,90	17	21,30
6	14,10	18	21,40
7	16,50	19	22,40
8	20,00	20	22,80
9	22,40	21	22,40
10	23,20	22	21,20
11	22,30	23	18,50
12	23,10	24	15,90
Toplam Yük (pu)		460,80	

Çizelge 5.36. Örnek sistemde değişken düşülü hidrolik üretim birimlerine ait saat başına deşarj edilen su miktarı eğrilerine ait katsayılar, su gecikmesi ve aktif güç üretim sınır değerleri.

Katsayılar	Bara No (m)			
	2	3	4	5
$C_{1,m}$	-0,0040	-0,0042	-0,0016	-0,0030
$C_{2,m}$	-0,30	-0,42	-0,30	-0,31
$C_{3,m}$	0,015	0,030	0,014	0,027
$C_{4,m}$	1,14	0,90	0,55	1,44
$C_{5,m}$	9,5	10,0	5,5	14,0
$C_{6,m}$	-70	-50	-40	-90
$\tau_m (h)$	2	3	4	0
$P_{GH,m}^{\min} (MW)$	0,0	0,0	0,0	0,0
$P_{GH,m}^{\max} (MW)$	500,0	500,0	500,0	500,0

Örnek sistemdeki hidrolik birimlerin her alt zaman diliminde rezervuarlarına giren su miktarları Çizelge 5.37’de, hidrolik birimlerin rezervuar depolama limitleri, başlangıç-bitiş su hacimleri ve deşarj edilen su miktarlarının minimum ve maksimum değerleri Çizelge 5.38’de verilmiştir. KDHTKP ve IGSA’ya ait parametreler Çizelge 5.39’da verildiği gibi alınmıştır.

Çizelge 5.37. Hidrolik birimlerin rezervuarlarına giren su miktarları (r_{mj}) ($\times 10^4 \text{ m}^3$).

Alt zaman dilimi (j)	Hidrolik Birimler (m)				Alt zaman dilimi (j)	Hidrolik Birimler (m)			
	2	3	4	5		2	3	4	5
1	8	10	8,1	2,8	13	8	11	4	0
2	8	9	8,2	2,4	14	9	12	3	0
3	9	8	4	1,6	15	9	11	3	0
4	9	7	2	0	16	8	10	2	0
5	8	6	3	0	17	7	9	2	0
6	7	7	4	0	18	6	8	2	0
7	6	8	3	0	19	7	7	1	0
8	7	9	2	0	20	8	6	1	0
9	8	10	1	0	21	9	7	2	0
10	9	11	1	0	22	9	8	2	0
11	9	12	1	0	23	8	9	1	0
12	8	10	2	0	24	8	10	0	0

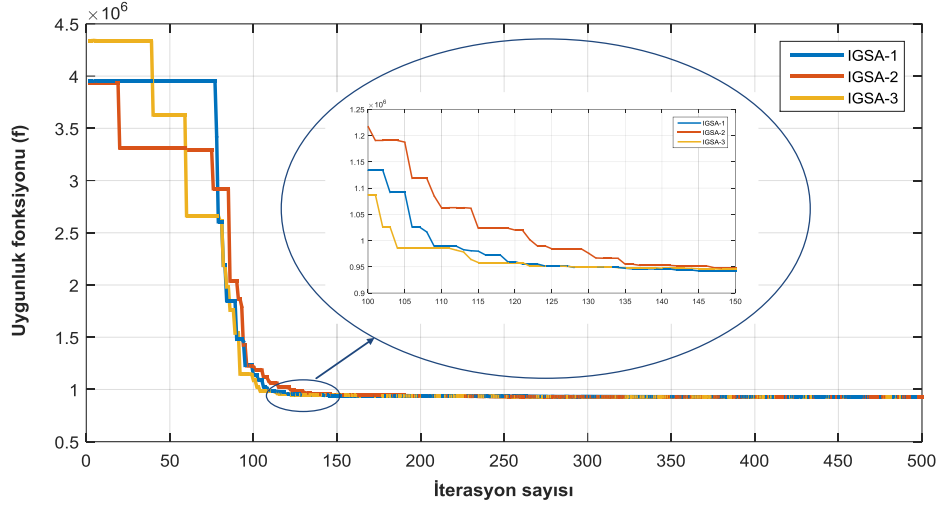
Çizelge 5.38. Örnek sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin rezervuar depolama sınırları, rezervuarların başlangıç ve bitiş su hacimleri ve deşarj su limitleri ($\times 10^4 \text{ m}^3$).

Bara No (m)	$V_m^{\min}$	$V_m^{\max}$	$V_m^{\text{baş}}$	V_m^{son}	$q_m^{\min}$	$q_m^{\max}$
2	60	120	80	70	6	15
3	80	150	100	120	5	15
4	100	240	170	170	10	30
5	70	160	120	140	13	25

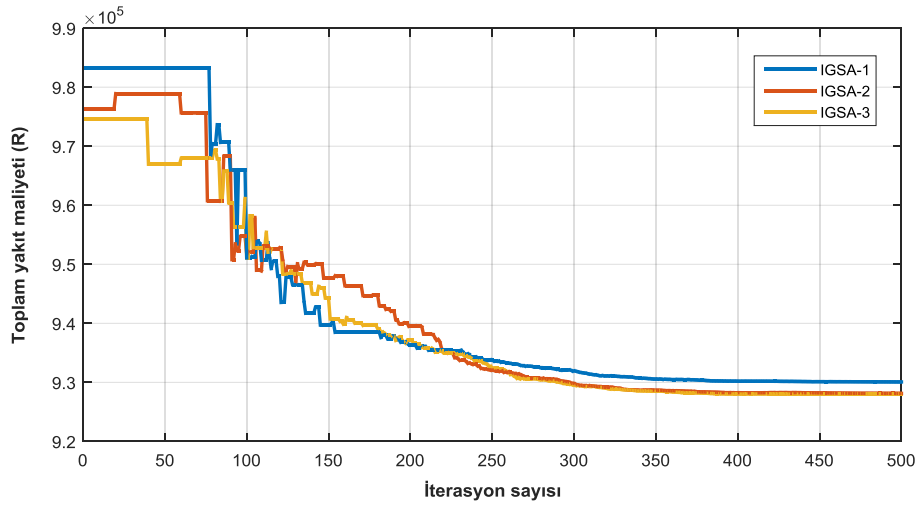
Çizelge 5.39. Örnek problemin IGSA ve KDHTKP’e ait parametre değerleri.

IGSA					KDHTKP	
IteN	N	$N_{\min}$	$N_{\max}$	SS	KCF_{sal}	1
500	100	30	55	20	KCF_{V_m}	130
f_{Call}	Run	G_0	α	ε	$Tol_{V_{\text{son}}}(\%)$	1
50000	30	331	11	10^{-6}	$KCF_{V_{\text{son}}}$	300
					$KCF_{p_{GH}}$	700

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile Şekil 3.6’da verilen akış diyagramına göre çözümünde, uygunluk fonksiyonunun iterasyonlara göre değişimi Şekil 5.26’da ve benzer şekilde *TYM*’nin değişimi ise Şekil 5.27’de verilmiştir.



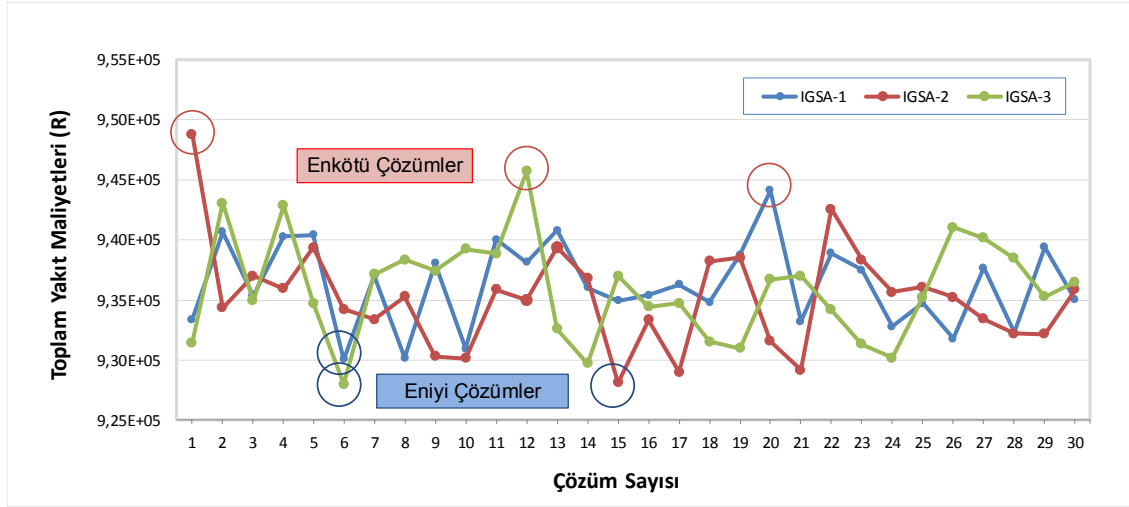
Şekil 5.26. Uygunluk fonksiyonunun iterasyonlara göre değişimi.



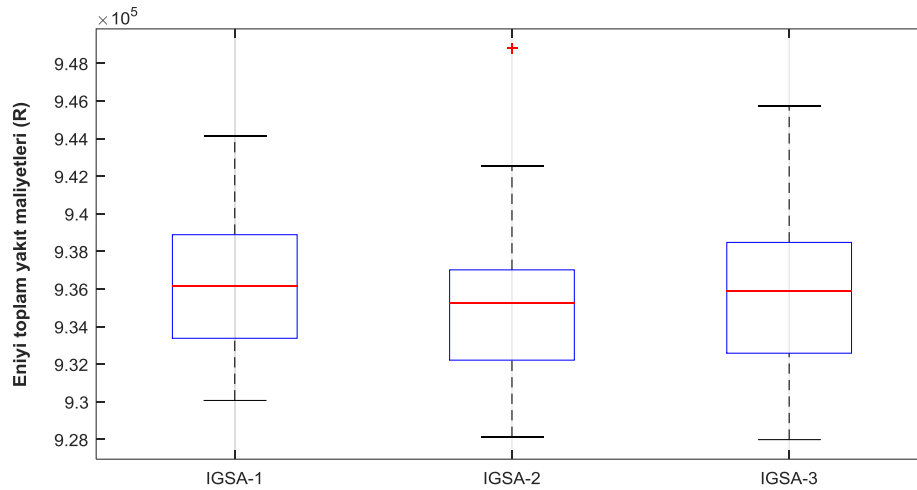
Şekil 5.27. Toplam yakıt maliyeti değerlerinin iterasyonlara göre değişimi.

Şekil 5.26 incelendiğinde üç algoritmanın da uygunluk fonksiyonunun optimal değerini yaklaşık 135. iterasyonda yakaladıkları görülmektedir. Şekil 5.27’deki *TYM* açısından değişimler incelendiğinde ise üç algoritmanın yakınsama farklılıkları göze çarpmaktadır. Bu şekilde problemin optimal çözümü açısından en hızlı ve en iyi yakınsamayı IGSA-2 ve 3’ün yaklaşık 300. iterasyonda yakaladıkları ve sonra değişmedikleri görülmektedir. Buna karşın IGSA-2’nin yaklaşık 350. iterasyonda en iyi değeri yakaladığı görülmektedir.

Örnek sistemin 30 kez çözümünden elde edilen toplam yakıt maliyeti değerleri Şekil 5.28’de, kutu grafikleri Şekil 5.29’da gösterilmiştir.



Şekil 5.28. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30’ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerleri.



Şekil 5.29. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30’ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerlerinin kutu grafikleri.

Bu bölümde gözönüne alınan KDHTKP’nin IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30 çözüm içinde en iyi toplam yakıt maliyetine sahip çözümlere ait bazı değerler aşağıda verilmiştir. Hidrolik üretim birimlerinin deşarj ettikleri su miktarları, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su hacim değerleri ve her alt zaman dilimindeki pu aktif güç üretim değerleri, toplam yakıt maliyeti değerleri ve çözüm süreleri sırasıyla IGSA-1 için Çizelge 5.40, 5.41, 5.42’de, IGSA-2 için Çizelge 5.43, 5.44, 5.45’de ve IGSA-3 için ise Çizelge 5.46, 5.47 ve 5.48’de verilmiştir.

Çizelge 5.40. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=6).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı ($\times 10^4 \text{ m}^3$)			
	$q_{2j} (P_{GH,2j})$	$q_{3j} (P_{GH,3j})$	$q_{4j} (P_{GH,4j})$	$q_{5j} (P_{GH,5j})$
1	6,000000	11,240224	25,233509	13,000004
2	6,174781	6,916349	23,747913	13,000000
3	8,430750	9,241668	21,974711	13,000873
4	8,492733	7,617840	18,805196	13,000000
5	7,182467	10,201185	21,619318	13,000000
6	8,021006	6,654965	18,829338	13,000002
7	6,844735	5,794198	20,313950	13,000000
8	6,923537	8,234169	20,791604	13,000000
9	6,439999	7,609727	19,346198	13,040874
10	8,885610	8,631838	14,185498	13,386539
11	6,154351	5,480954	19,613275	13,129617
12	10,659958	8,565571	19,750358	13,000000
13	10,852622	7,730666	18,345679	14,016540
14	8,044931	15,000000	17,484897	14,012206
15	8,634516	6,643362	18,692244	18,709085
16	6,000000	5,708850	17,433816	13,055729
17	11,856739	6,911209	14,372421	19,130230
18	7,001004	9,580032	16,151048	17,958973
19	9,844670	7,354654	12,530884	16,294433
20	11,101511	8,665568	18,441013	16,068048
21	14,350180	8,504767	10,240938	20,050378
22	7,101280	5,735397	10,307586	17,624676
23	9,724594	9,491304	10,109927	21,390486
24	7,415699	8,109571	10,000029	19,572602
$q_{harcanan}$	202,137674	195,624069	418,321349	364,441296

Çizelge 5.41. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=6).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı ($\times 10^4 \text{ m}^3$)			
	V_{2j}	V_{3j}	V_{4j}	V_{5j}
$V^{baş}$	80	100	170	120
1	82,000000	98,759776	152,866491	109,799996
2	83,825219	100,843427	137,318578	99,199996
3	84,394469	99,601760	130,584091	87,799123
4	84,901737	98,983919	126,695243	74,799123
5	85,719270	94,782734	123,492374	87,032631
6	84,698263	95,127769	124,711626	97,780542
7	83,853528	97,333571	126,091594	106,755253
8	83,929991	98,099402	121,137422	112,560449
9	85,489993	100,489674	116,606428	121,138893
10	85,604383	102,857836	118,499834	126,581692
11	88,450032	109,376882	114,419823	133,766025
12	85,790074	110,811311	111,741303	141,557629
13	82,937451	114,080646	111,762187	146,887287
14	83,892520	111,080646	111,997212	147,060579
15	84,258004	115,437284	114,695592	147,964769
16	86,258004	119,728434	125,114398	154,659398
17	81,401264	121,817225	127,430271	153,874847
18	80,400260	120,237193	127,622589	153,400771
19	77,555590	119,882539	129,002915	155,798582
20	74,454079	117,216971	132,998673	157,164350
21	69,103899	115,712204	139,113394	151,486393
22	71,002619	117,976807	149,316045	150,012765
23	69,278025	117,485502	159,812397	141,153163
24	69,862326	119,375931	169,897945	140,021573
V^{son}	70	120	170	140
Fazla Harcanan Su	0,137674	0,624069	0,102055	-0,021573
%hata	0,196677	0,520057	0,060032	0,015409

Çizelge 5.42. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, aktif güç üretim değerleri (Run=6).

Alt zaman dilimi (j)	Aktif güç üretimi (pu)					Toplam Aktif Güç Üretimi (pu)
	$P_{GT,1}$	$P_{GH,2}$	$P_{GH,3}$	$P_{GH,4}$	$P_{GH,5}$	
1	10,207265	0,501640	0,905599	0,084558	2,000937	13,70
2	10,693266	0,524402	0,680441	0,124339	1,877553	13,90
3	10,162580	0,671615	0,821352	0,207059	1,737394	13,60
4	9,583418	0,678135	0,723612	0,346930	1,567905	12,90
5	9,524477	0,603210	0,848844	0,195855	1,727614	12,90
6	10,606695	0,649499	0,645486	0,337801	1,860519	14,10
7	13,100627	0,570466	0,585707	0,277014	1,966186	16,50
8	16,401481	0,576126	0,759688	0,230743	2,031962	20,00
9	18,710300	0,552207	0,727453	0,280822	2,129218	22,40
10	19,040765	0,704133	0,797975	0,438928	2,218198	23,20
11	18,642129	0,548082	0,583704	0,258708	2,267378	22,30
12	18,922638	0,792579	0,814734	0,239809	2,330240	23,10
13	17,971946	0,783016	0,766758	0,301209	2,477070	22,30
14	17,505205	0,646199	1,036355	0,333951	2,478290	22,00
15	16,773530	0,682308	0,688293	0,300366	2,855502	21,30
16	16,715917	0,525356	0,614547	0,390088	2,454092	20,70
17	16,359234	0,812344	0,716179	0,468242	2,944001	21,30
18	16,649564	0,560481	0,893044	0,435636	2,861275	21,40
19	17,702752	0,702556	0,748118	0,487690	2,758883	22,40
20	18,091255	0,735936	0,833776	0,385885	2,753147	22,80
21	17,310620	0,791003	0,820977	0,503555	2,973845	22,40
22	16,746071	0,506743	0,615588	0,528164	2,803433	21,20
23	13,505776	0,638980	0,882951	0,545939	2,926354	18,50
24	11,199412	0,518426	0,801027	0,560451	2,820683	15,90
Toplam Üretilen Aktif Güç (pu)				460,80		
TYM (R)				930070,875362		
Süre (s)				167,151882		

Çizelge 5.43. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=15).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı ($\times 10^4 \text{ m}^3$)			
	$q_{2j} (P_{GH,2j})$	$q_{3j} (P_{GH,3j})$	$q_{4j} (P_{GH,4j})$	$q_{5j} (P_{GH,5j})$
1	7,218530	10,950014	23,400231	13,000594
2	6,899852	9,041724	24,569613	13,000001
3	6,461340	5,000000	24,865805	13,000000
4	6,000000	8,291594	22,538323	13,000000
5	6,075873	8,835962	20,210329	13,001201
6	6,554446	7,558772	21,947561	13,031225
7	6,207673	8,299558	19,525327	13,016829
8	8,053746	9,470490	15,871238	13,070335
9	6,147898	5,251000	21,061814	13,070725
10	9,930420	8,094031	17,786380	13,099914
11	7,309223	12,492614	17,075871	13,100460
12	11,677053	8,298202	15,601315	13,000000
13	11,229547	10,621630	19,287219	14,647027
14	8,623847	10,347219	15,909243	13,161484
15	8,083909	7,168530	19,474437	15,115301
16	8,632808	8,230752	15,769116	15,691113
17	8,586079	6,386945	16,880047	17,304303
18	8,787368	8,739607	18,481279	14,938376
19	7,809371	9,336764	10,477220	19,203654
20	10,828116	7,934768	16,165914	18,193901
21	11,849336	5,618275	10,000000	16,914338
22	8,428735	9,444311	10,173090	19,053886
23	8,554218	5,175062	12,151285	20,824931
24	12,268778	5,000000	11,624099	22,334987
$q_{harcanan}$	202,218168	195,587822	420,846757	363,774587

Çizelge 5.44. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=15).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı ($\times 10^4 \text{ m}^3$)			
	V_{2j}	V_{3j}	V_{4j}	V_{5j}
$V^{baş}$	80	100	170	120
1	80,781470	99,049986	154,699769	109,799406
2	81,881618	99,008263	138,330156	99,199404
3	84,420277	102,008263	128,414364	87,799404
4	87,420277	100,716668	124,136295	74,799404
5	89,344404	97,880706	118,825818	85,198434
6	89,789958	97,321934	115,631191	96,736822
7	89,582286	97,022376	113,941827	108,585798
8	88,528539	96,551886	113,705234	118,053786
9	90,380642	101,300886	108,497423	125,193390
10	89,450221	104,206855	107,389206	134,041038
11	91,140998	103,714241	104,618080	140,465905
12	87,463945	105,416039	105,258694	143,337143
13	84,234398	105,794409	112,394509	149,751930
14	84,610550	107,447191	115,092692	154,376826
15	85,526641	111,278661	120,916938	156,337397
16	84,893833	113,047909	128,724588	156,247599
17	83,307754	115,660964	129,636918	158,230514
18	80,520386	114,921357	129,470300	159,201381
19	79,711015	112,584593	135,012834	159,472165
20	76,882899	110,649825	137,172606	157,047379
21	74,033563	112,031551	147,296737	157,013088
22	74,604828	110,587240	154,867787	156,440481
23	74,050610	114,412178	160,162893	146,092770
24	69,781832	119,412178	169,832441	139,923697
V^{son}	70	120	170	140
Fazla Harcanan Su	0,218168	0,587822	0,167559	0,076303
%hata	0,311669	0,489852	0,098564	0,054502

Çizelge 5.45. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, aktif güç üretim değerleri (Run=15).

Alt zaman dilimi (j)	Aktif güç üretimi (pu)					Toplam Aktif Güç Üretimi (pu)
	$P_{GT,1}$	$P_{GH,2}$	$P_{GH,3}$	$P_{GH,4}$	$P_{GH,5}$	
1	10,007007	0,576790	0,896181	0,219038	2,000983	13,70
2	10,580240	0,562674	0,808736	0,070804	1,877546	13,90
3	10,783739	0,547721	0,529048	0,002167	1,737325	13,60
4	9,885600	0,531577	0,771346	0,143568	1,567909	12,90
5	9,604824	0,547115	0,793685	0,250036	1,704340	12,90
6	10,812173	0,583185	0,714692	0,139367	1,850583	14,10
7	12,932924	0,557777	0,760063	0,260599	1,988638	16,50
8	16,017558	0,673199	0,822100	0,388396	2,098747	20,00
9	18,962219	0,557601	0,549582	0,155910	2,174688	22,40
10	19,080465	0,780471	0,769064	0,302716	2,267285	23,20
11	18,050628	0,640768	0,964134	0,314799	2,329670	22,30
12	18,764069	0,844549	0,785054	0,359426	2,346902	23,10
13	17,759906	0,806841	0,907502	0,264345	2,561406	22,30
14	17,560097	0,683806	0,900722	0,393110	2,462265	22,00
15	16,962157	0,658043	0,721760	0,294112	2,663928	21,30
16	16,054273	0,685983	0,798364	0,448353	2,713026	20,70
17	16,672918	0,673909	0,668075	0,424065	2,861033	21,30
18	16,853527	0,667872	0,834073	0,370672	2,673856	21,40
19	17,427855	0,606857	0,863793	0,495884	3,005612	22,40
20	17,901126	0,741827	0,774063	0,468956	2,914028	22,80
21	17,701208	0,760798	0,599221	0,519206	2,819567	22,40
22	16,222357	0,609783	0,864783	0,537641	2,965437	21,20
23	13,800184	0,612981	0,562575	0,568287	2,955973	18,50
24	11,072204	0,743119	0,549939	0,582937	2,951802	15,90
Toplam Üretilen Aktif Güç (pu)				460,80		
TYM (R)				928132,764956		
Süre (s)				169,694404		

Çizelge 5.46. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=6).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı ($\times 10^4 \text{ m}^3$)			
	$q_{2j} (P_{GH,2j})$	$q_{3j} (P_{GH,3j})$	$q_{4j} (P_{GH,4j})$	$q_{5j} (P_{GH,5j})$
1	7,473393	7,183482	26,194343	13,000444
2	7,156715	8,031872	24,850132	13,000974
3	8,511570	7,874054	23,165159	13,001630
4	7,017854	9,096656	23,468745	13,035665
5	7,518965	7,380968	21,473737	13,002801
6	7,802356	10,452737	21,249044	13,002931
7	8,020668	10,122661	21,003270	13,034712
8	6,558923	8,255047	18,004074	13,000360
9	7,997314	9,877218	18,780921	13,481976
10	8,549373	8,687879	15,755223	13,000565
11	9,207322	8,543013	17,564398	13,595579
12	6,660034	8,057169	17,528273	14,167574
13	8,052388	8,641476	15,251891	14,030676
14	9,293833	9,656521	13,865702	15,632825
15	6,804622	9,878895	17,245789	13,534540
16	6,366705	7,566810	14,350923	14,987831
17	6,717117	8,388922	16,735119	15,829273
18	8,838339	7,769478	13,004298	14,464371
19	10,079470	7,487863	13,652369	16,212877
20	11,364161	6,231399	14,966748	17,103194
21	13,981867	8,408072	13,998552	15,877033
22	10,002268	5,777771	11,903297	19,511174
23	11,075717	5,243637	12,818481	18,830299
24	7,454406	7,291900	13,118967	20,649862
$q_{harcanan}$	202,505383	195,905500	419,949453	354,989167

Çizelge 5.47. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=6).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı ($\times 10^4 \text{ m}^3$)			
	V_{2j}	V_{3j}	V_{4j}	V_{5j}
$V^{baş}$	80	100	170	120
1	80,526607	102,816518	151,905657	109,799556
2	81,369892	103,784647	135,255525	99,198582
3	81,858322	103,910592	123,273848	87,796952
4	83,840468	101,813937	117,310367	74,761287
5	84,321503	100,432969	113,867400	87,952829
6	83,519147	96,980232	114,226582	99,800030
7	81,498479	94,857570	110,622134	109,930477
8	81,939555	95,602523	112,589762	120,398861
9	81,942242	95,725305	112,733859	128,390622
10	82,392869	98,037426	114,254351	136,639101
11	82,185547	101,494413	114,126094	144,046792
12	83,525513	103,437244	115,283013	147,883292
13	83,473125	105,795768	121,123508	152,633537
14	83,179292	108,139247	127,522296	152,755935
15	85,374669	109,260352	128,578017	156,785794
16	87,007964	111,693542	133,936004	159,326236
17	87,290847	112,304620	138,373614	158,748854
18	84,452508	112,535142	141,740748	158,150185
19	81,373037	112,047279	143,844007	159,183096
20	78,008876	111,815880	144,363854	156,430825
21	73,027009	110,407808	148,691504	157,288910
22	72,024741	112,630037	155,099077	150,782034
23	68,949024	116,386400	163,052829	145,604105
24	69,494617	119,094500	169,693501	139,920990
V^{son}	70	120	170	140
Fazla Harcanan Su	0,505383	0,905500	0,306499	0,079010
%hata	0,721975	0,754584	0,180294	0,056435

Çizelge 5.48. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, aktif güç üretim değerleri (Run=6).

Alt zaman dilimi (j)	Aktif güç üretimi (pu)					Toplam Aktif Güç Üretimi (pu)
	$P_{GT,1}$	$P_{GH,2}$	$P_{GH,3}$	$P_{GH,4}$	$P_{GH,5}$	
1	10,397566	0,591311	0,704549	0,005604	2,000971	13,70
2	10,646110	0,576358	0,763986	0,035927	1,877620	13,90
3	10,348616	0,660924	0,754166	0,098865	1,737430	13,60
4	9,878142	0,581815	0,820919	0,048892	1,570232	12,90
5	9,673086	0,616659	0,711926	0,158832	1,739497	12,90
6	10,543865	0,629441	0,868301	0,173423	1,884970	14,10
7	12,848635	0,630424	0,845767	0,169673	2,005502	16,50
8	16,271600	0,540202	0,752603	0,317995	2,117600	20,00
9	18,396420	0,631732	0,838290	0,287890	2,245669	22,40
10	19,071074	0,666312	0,785957	0,393405	2,283253	23,20
11	18,059302	0,700614	0,788696	0,340453	2,410935	22,30
12	18,932141	0,556208	0,764651	0,346647	2,500353	23,10
13	17,886661	0,644161	0,806848	0,431069	2,531261	22,30
14	17,269391	0,711238	0,869385	0,474568	2,675417	22,00
15	16,910300	0,576390	0,883767	0,409369	2,520174	21,30
16	16,223971	0,555401	0,751025	0,490175	2,679428	20,70
17	16,705069	0,581047	0,806980	0,459136	2,747769	21,30
18	16,793462	0,694726	0,766639	0,524082	2,621091	21,40
19	17,604726	0,738582	0,746131	0,526737	2,783824	22,40
20	18,035968	0,771024	0,650309	0,514199	2,828499	22,80
21	17,505905	0,814148	0,804076	0,537504	2,738368	22,40
22	16,423405	0,671720	0,613673	0,556236	2,934965	21,20
23	13,820787	0,694588	0,570522	0,576100	2,838003	18,50
24	11,173023	0,518229	0,742540	0,589470	2,876739	15,90
Toplam Üretilen Aktif Güç (pu)				460,80		
TYM (R)				927986,731610		
Süre (s)				169,640196		

Şekil 5.28 incelendiğinde, IGSA-1, 2 ve 3 ile 30 kez yapılan çözümlerde, problem için belirlenen kısıtları sağlayan, yaklaşık minimum 925000 ve maksimum 950000 R arasında, 25000 R'lık bir bölgede toplam yakıt maliyeti değerleri elde edildiği görülmüştür.

TYM değerlerine bakıldığında IGSA-1 için 6. çalışmada elde edilen 930070,875362 R, IGSA-2 için 15. çalışmada elde edilen 928132,764956 R ve IGSA-3 için 6. çalışmada elde edilen 927986,731610 R optimal değerleri bulunmuştur. Değerlerden görüldüğü gibi bu örnek için TYM açısından en iyi değer IGSA-3 ile yakalanmıştır. Bu en iyi TYM değerleri IGSA-1 için 167,151882 s, IGSA-2 için 169,694404 s ve IGSA-3 için 169,640196 s sürelerde bulunmuştur. Süre açısından

bu örnek için IGSA-1'in daha iyi olduğu söylenebilir. Eniyi *TYM* değerleri elde edilirken IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30 çözümdeki rezervuarların son su hataları Çizelge 5.41, 5.44 ve 5.47'den IGSA-1 için %0,015409 - 0,520057 aralığında, IGSA-2 için %0,054502 - 0,489852 aralığında ve IGSA-3 için %0,056435 - 0,754584 aralığındadır. Çizelge Bütün son su hataları, tolerans değeri olan %1'in altındadır.

Örnek sistem IGSA-1, 2 ve 3 ile 30'ar kez çözülmüştür. Çözümlerin tamamında elde edilen en iyi, en kötü, ortalama değer, standart sapma, toplam süre ve ortalama süre saniye olarak değerler Çizelge 5.49'da verilmiştir.

Çizelge 5.49. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen değerler.

	IGSA-1	IGSA-2	IGSA-3
En kötü	944140,235268 (Run: 20)	948790,502264 (Run: 1)	945737,728029 (Run: 12)
Ortalama	936299,474263	935177,809023	935964,810443
En İyi	930070,875362 (Run: 6)	928132,764956 (Run: 15)	927986,731610 (Run: 6)
Standart Sapma	3530,542815	4274,247752	4229,286731
Toplam Süre (s)	5047,660398	5092,576954	5083,497230
Ort. Süre (s)	168,255347	169,752565	169,449908

Çizelge 5.41, 5.44 ve 5.47'den %0,015409 ile %0,754584 arasındaki su son değerleri hatasıyla örnek sistemin *TYM* açısından optimal çözümlerin elde edildiği görülmektedir. Önceki bölümde anlatıldığı gibi Çizelge 5.41, 5.44 ve 5.47'deki %hata değerleri sıfırlanmıştır. Bu işlemler yapıldığında IGSA-1, 2 ve 3 için elde edilen değerler Çizelge 5.50'de verilmiştir. Çizelgede yeniden hesaplanan değerler koyu renkte verilmiştir.

Çizelge 5.50. Hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarındaki son su değerlerinin sıfır hata ile sağlanması durumunda IGSA-1, 2 ve 3 için 24. alt zaman dilimindeki aktif güç ve *TYM* değerleri.

Üretim Birimi Baraları	Üretilen Güçler (pu)	j=24		
		IGSA-1	IGSA-2	IGSA-3
1	$P_{GT,1}$	11,398035	11,367946	11,281909
2	$P_{GH,2}$	0,510922	0,737687	0,490255
3	$P_{GH,3}$	0,757890	0,493493	0,672448
4	$P_{GH,4}$	0,411494	0,351170	0,581684
5	$P_{GH,5}$	2,821656	2,949702	2,873701
Üretilen Aktif Güç (pu)		15,90	15,90	15,90
Düzeltilmiş <i>TYM</i> (R)		930541,996608	928833,319493	928244,695651

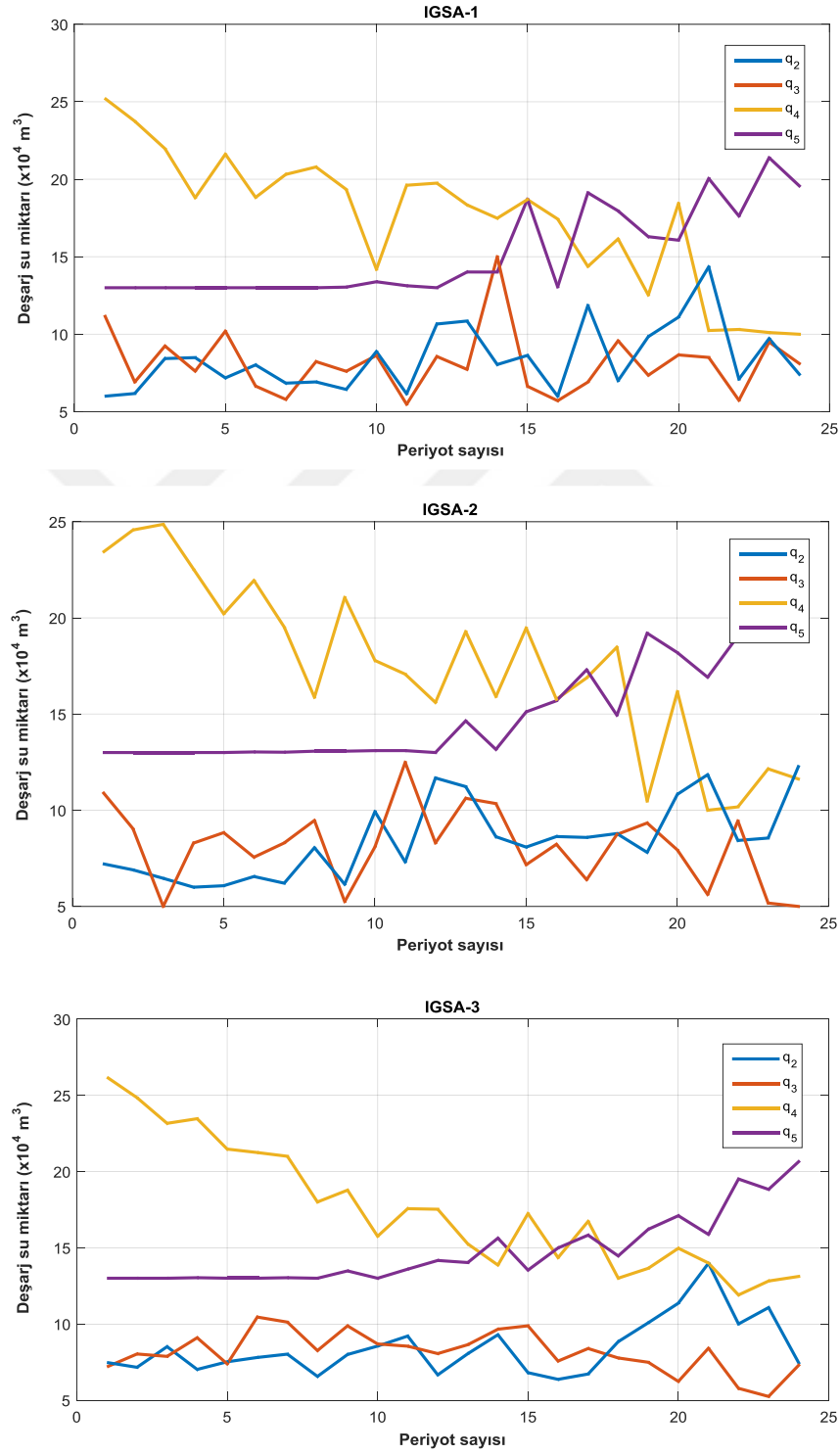
Çalışmada IGSA-1, 2 ve 3'le elde edilen tüm sonuçların literatürde farklı sezgisel algoritmalarla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması Çizelge 5.51'de verilmiştir.

Çizelge 5.51. Literatür karşılaştırması.

<i>Metotlar</i>	<i>Toplam Yakıt Maliyeti (R)</i>			<i>Zaman(s)</i>
	<i>Minimum</i>	<i>Ortalama</i>	<i>Maksimum</i>	
GA (Orero ve Irving, 1998)	926707,00	-	951087,00	-
CEP (Sinha vd., 2003)	930166,25	930373,23	930927,01	2292,10
FEP (Sinha vd., 2003)	930267,92	930897,44	931396,81	1911,20
IFEP (Sinha vd., 2003)	930129,82	930290,13	930881,92	1033,20
IDE (Basu, 2014)	917237,7	917250,1	917277,8	366,0781
MDE (Lakshminarasimman, 2008)	922555,44	-	-	45,00
DE (Wang vd., 2012)	923234,56	925157,28	928395,84	8,69
QEA (Wang vd., 2012)	926538,29	928426,95	930484,13	6,32
RQEA (Wang vd., 2012)	923634,53	924992,46	926957,39	7,43
DRQEA (Wang vd., 2012)	922526,73	923419,37	925871,51	7,98
IPSO (Hota vd., 2009)	922553,49	-	-	38,46
RCGA (Fang vd., 2014)	923966,28	924108,73	924232,07	17,00
RCGA-AFSA (Fang vd., 2014)	922339,62	922346,32	922362,53	11,00
GCPSO (Yu vd., 2007)	927288,40	936717,10	972658,30	182,40
GWPSO (Yu vd., 2007)	930622,50	940036,30	951253,20	129,10
LCPSO (Yu vd., 2007)	925618,50	926651,40	928216,80	103,50
LWPSO (Yu vd., 2007)	925383,80	926352,80	927240,10	82,90
IGSA-1	930070,875362 (930541,996608 - %0)	936299,474263	944140,235268	167,151882
IGSA-2	928132,764956 (928833,319493 - %0)	935177,809023	948790,502264	169,694404
IGSA-3	927986,731610 (928244,695651 - %0)	935964,810443	945737,728029	169,640196

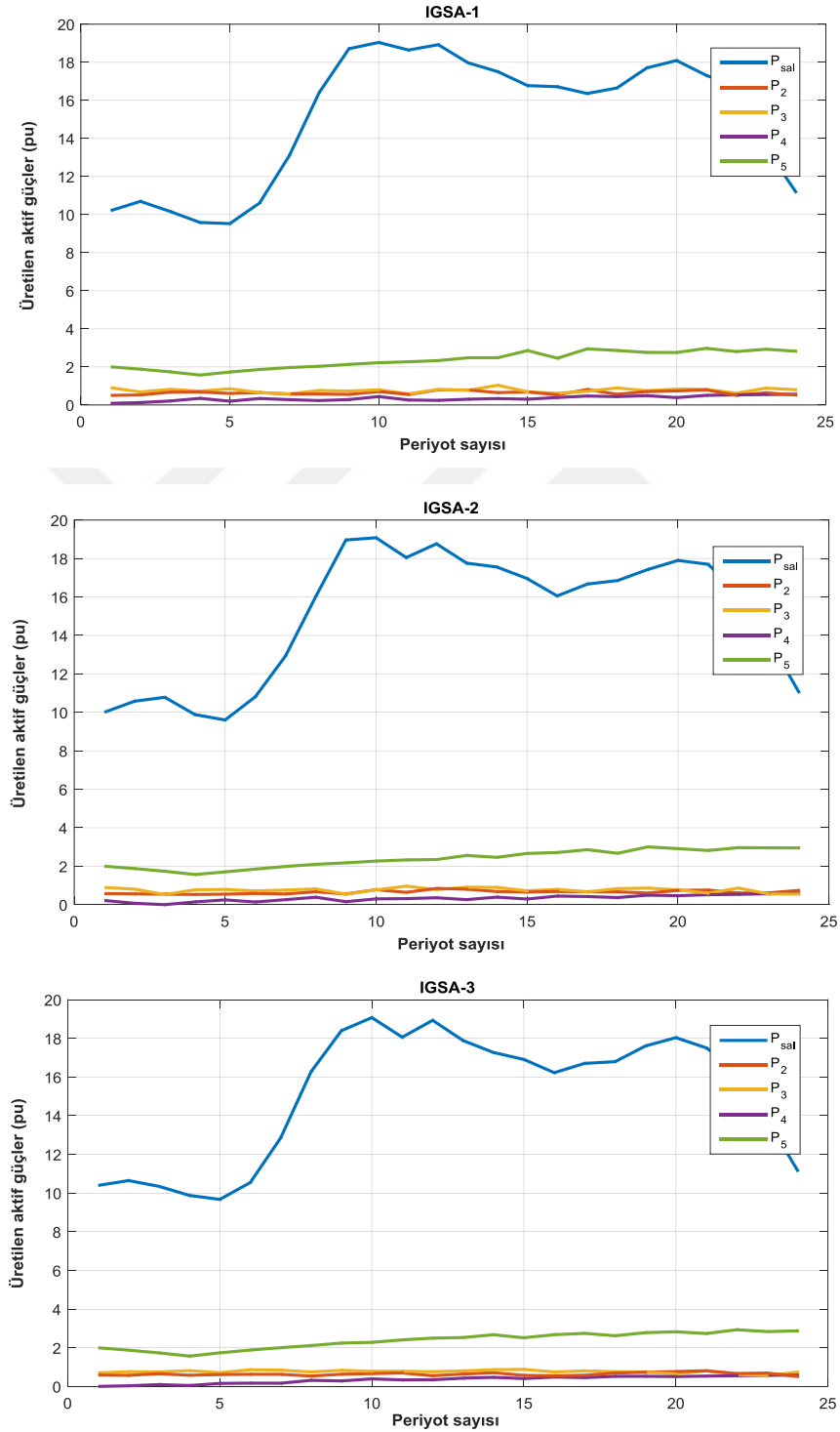
Çizelge 5.51'de verilen literatürdeki sonuçlar ile IGSA-1, 2 ve 3'ün sonuçları minimum TYM açısından kıyaslandığında, IGSA-1, 2 ve 3'ün CEP, FEP, IFEP ve GWPSO'dan daha iyi, diğer geri kalan, son yıllarda yapılmış çalışmalarında kapsayan, toplam onüç yöntemden daha kötü TYM değerleri yakaladığı görülmektedir. IGSA-1, 2 ve 3 ile elde edilen sonuçların kendi aralarında minimum TYM açısından kıyaslama yapıldığında ise, IGSA-3'ün en iyi değeri yakaladığı görülmektedir.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerinden elde edilen en iyi çözümlere ait, hidrolik birimler tarafından harcanan su miktarlarının alt zaman dilimlerine göre değişimleri Şekil 5.30'da verilmiştir.



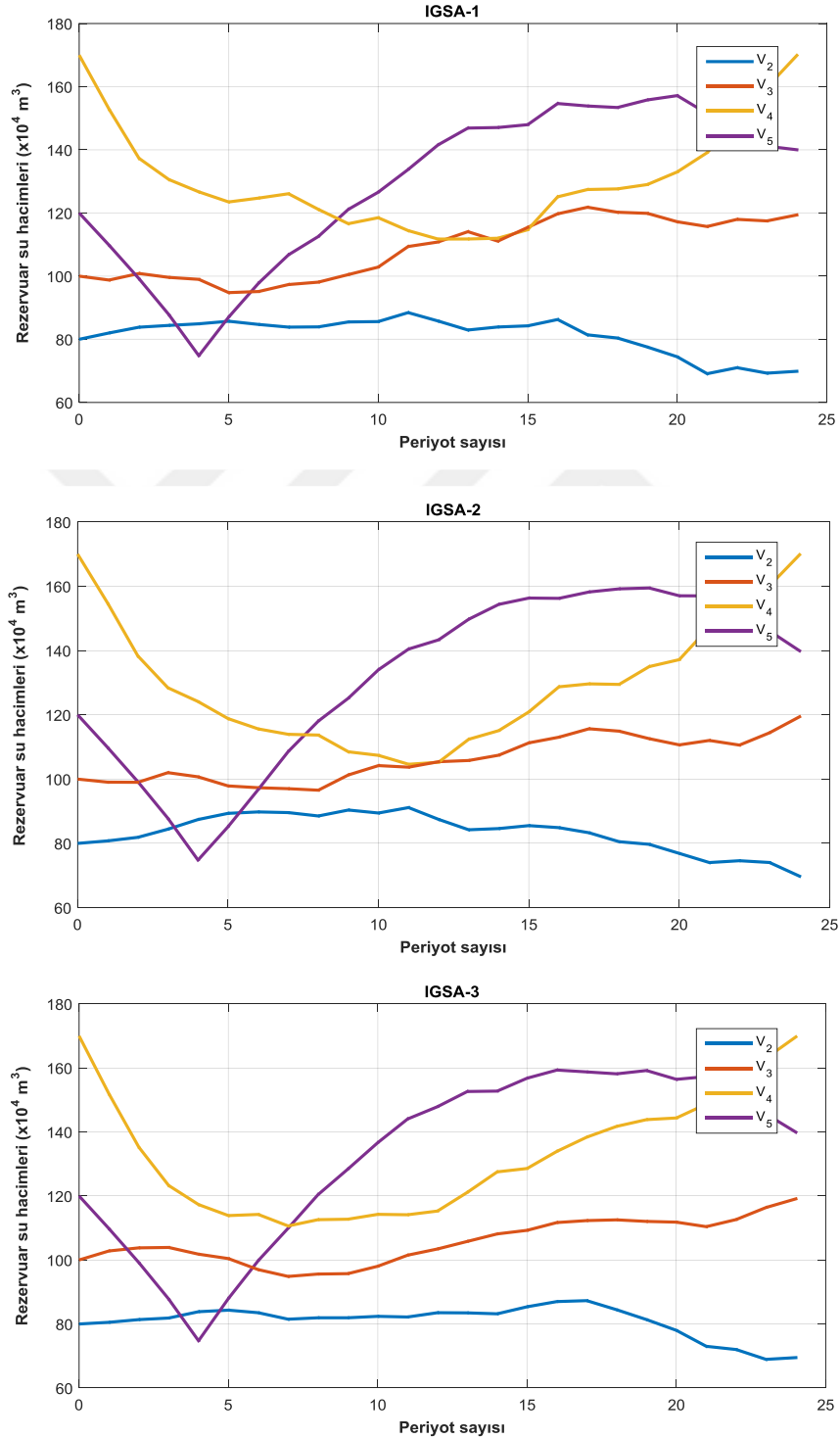
Şekil 5.30. Hidrolik birimlerin her alt zaman dilimindeki deşarj su miktarları.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözümlere ait, tüm üretim birimleri tarafından üretilen aktif güç miktarlarının alt zaman dilimlerine göre değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.31’de verilmiştir.



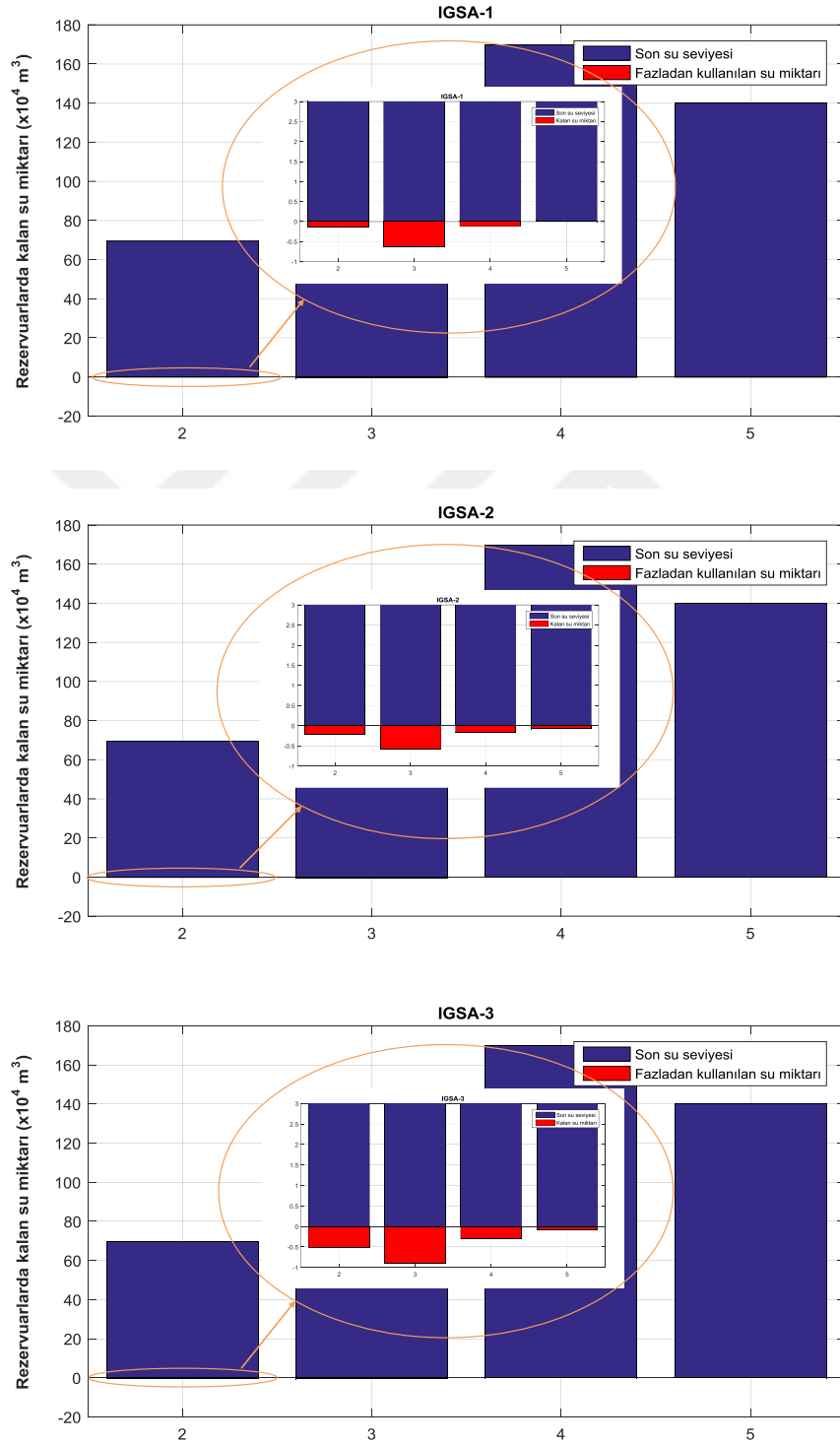
Şekil 5.31. Her alt zaman diliminde üretilen aktif güç değerleri.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözümlere ait, hidrolik birimlerin rezervuarlarındaki su seviyelerinin alt zaman dilimlerine göre değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.32’de verilmiştir.



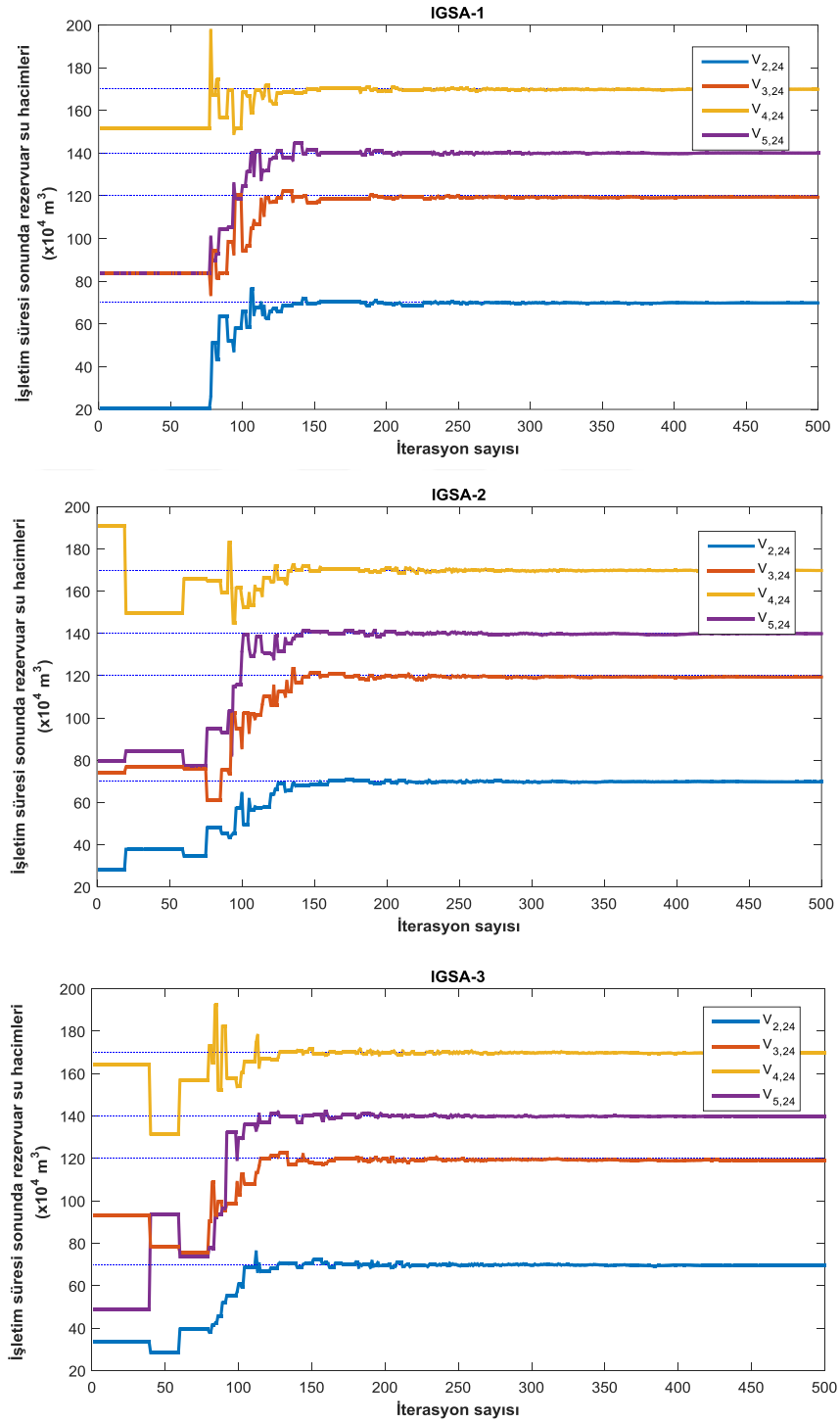
Şekil 5.32. Hidrolik birimlerin rezervuar su hacimlerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözüme ait hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarında işletim süresi sonunda kalan su miktarlarını gösteren grafikler Şekil 5.33’de verilmiştir.



Şekil 5.33. İşletim süresi sonunda hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan su miktarları.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözüme ait, hidrolik birimlerin rezervuarlarında son alt zaman dilimi sonundaki su seviyelerinin iterasyonlara göre değişimlerini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 5.34’de verilmiştir.



Şekil 5.34. Hidrolik birimlerin işletim süresi sonu rezervuar su hacimlerinin iterasyonlara göre değişimi.

Şekil 5.30’da hidrolik birimlerden deşarj edilen su miktarlarının alt zaman dilimlerine göre değişimlerinin ve Şekil 5.32’deki rezervuarlardaki su hacmi değerlerinin sınırlar içinde kaldığı görülmektedir. Şekil 5.29’daki 30 çalışmaya ait kutu grafikleri incelendiğinde, IGSA-3’ün IGSA-1 ve IGSA-2’ye göre daha düşük yakıt maliyeti değerini yakalamasına rağmen, IGSA-2 daha küçük bir aralıkta arama yapmıştır. IGSA-1 ve IGSA-3’te sapan değer olmamasına rağmen, IGSA-2’de bir adet sapan değer vardır. Şekil 5.30’da verilen deşarj edilen su miktarları grafiklerinde her üç algoritma içinde her alt zaman diliminde farklı miktarda su deşarj edilerek güç üretimi yapıldığı görülmektedir. Değişik miktarlarda deşarj edilen su miktarlarına rağmen Şekil 5.31’deki üretilen aktif güç değerlerinin Çizelge 5.34 ve 5.36’da verilen sınır değerler arasında kaldığı görülmüştür. Şekil 5.32’de verilen her alt zaman dilimindeki rezervuar seviyeleri Çizelge 5.38’deki rezervuar limitleri arasındadır. Şekil 5.33’de görülen grafikte ise her üç yaklaşımında harcanması gereken suyu belirlenen tolerans değerleri arasında harcadığı görülmüştür. Şekil 5.34’te verilen, en iyi çözümlerin elde edildiği çalışmalara ait rezervuar son su seviyeleri ise, her üç algoritma tarafından Çizelge 5.38’deki su son değerlerini belirlenen tolerans aralığında yakalamıştır.

5.4. Örnek Sistem-4: İletim hattı kayıplı konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren değişken düşülü KDHTKP

Bu bölümde termik üretim birimleriyle, değişken düşülü hidrolik birimlerin birlikte kullanıldığı bir güç sisteminin çözümü, iletim hattı kayıplarında dahil edilerek iki farklı örnek sistem üzerinde yapılmıştır. Bu değişken düşülü KDHTKP’ne örnek olarak Şekil 5.1’de tek hat diyagramı verilen 16 baralı, 5 adet termik üretim birimi, 4 adet değişken düşülü hidrolik üretim biriminden oluşan güç sistemi seçilmiştir. Seçilen sistem Durum-1 ve Durum-2 olmak üzere farklı parametre değerleriyle iki kez çözülmüştür. Sistemin baz değerleri $S_{baz}=100 \text{ MVA}$, $U_{baz}=230 \text{ kV}$ olarak alınmıştır. Sistemde 1 nolu bara salınım barası olup gerilimi $1,05\angle 0^\circ \text{ pu}$ ’dur. Sistemin çözümünde dörder saatlik altı eşit alt zaman diliminden ($t_j=4h, j=1,...,6$) oluşan bir günlük işletim süresi göz önüne alınmıştır. Sistemde 1, 4, 5, 8 ve 15 nolu baralara konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik üretim birimleri, 10, 12, 14 ve 16 nolu baralara bağlı ise değişken düşülü hidrolik üretim birimleri bağlanmıştır. Konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik üretim birimlerinin giriş-çıkış eğrisi denklem (4.11)’deki gibi alınmıştır.

5.4.1. Durum-1:

Değişken düşülü KDHTKP için ele alınan ilk örnek, daha önce (Urazel, 2017)'de iletim hatlarının aktif güç taşıma kapasite kısıtları ve bara gerilim genlikleri kısıtları da dahil edilerek ve reaktif güç optimizasyonu da yapılarak deterministik bir metot olan F-MSG ile çözülmüştür. F-MSG yönteminde bara gerilimlerinin genlik ve açıları karar değişkenleri olarak seçildiğinden, aktif ve reaktif güç optimizasyonu birlikte yapılmakta, sistemdeki olası tüm kısıtlar kolaylıkla probleme dahil edilebilmektedir. Şekil 5.1'de tek hat diyagramı verilen örnek sistemde, her alt zaman dilimindeki aktif ve reaktif yük değerleri, iletim hatları pu nominal π parametreleri örnek-1'deki gibi alınmıştır. Konveks olmayan termik birim, saat başına maliyet eğrileri örnek-2'deki gibi alınmıştır. Örnek sistemdeki değişken düşülü hidrolik üretim birimlerinin saat başına deşarj su miktarı eğrilerine ait katsayılar ve aktif güç üretim sınır değerleri ise Çizelge 5.52'de birimlerin rezervuarlarına her alt zaman diliminde gelen su miktarları Çizelge 5.53'de verilmiştir.

Çizelge 5.52. Örnek sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin denklem (4.16) ile verilen giriş-çıkış eğrilerine ait katsayılar ve aktif güç üretim sınır değerleri.

<i>Katsayılar</i>	<i>Bara No (m)</i>			
	<i>10</i>	<i>12</i>	<i>14</i>	<i>16</i>
$C_{1,m}$	-0,0042	-0,0040	-0,0016	-0,0030
$C_{2,m}$	-0,42	-0,30	-0,30	-0,31
$C_{3,m}$	0,0675	0,0337	0,0315	0,0607
$C_{4,m}$	1,350	1,710	1,275	2,160
$C_{5,m}$	15,00	14,25	11,25	15,00
$C_{6,m}$	-0,50	-0,70	-0,40	-0,70
$P_{GH,m}^{\min}$ (MW)	0,0	0,0	0,0	0,0
$P_{GH,m}^{\max}$ (MW)	300,0	300,0	300,0	300,0

Çizelge 5.53. Hidrolik birimlerin rezervuarlarına her alt zaman diliminde giren su miktarları (r_{mj}) ($\times 10^3$ acre-ft).

<i>Alt zaman dilimi (j)</i>	<i>Hidrolik Birim (m)</i>			
	<i>10</i>	<i>12</i>	<i>14</i>	<i>16</i>
1	0,65	0	0,45	0
2	0,65	0	0,45	0
3	0,65	0	0,45	0
4	0,65	0	0,45	0
5	0,65	0	0,45	0
6	0,65	0	0,45	0

Her alt zaman dilimindeki sabit pu reaktif güç üretim değerleri Çizelge 5.54’de verilmiştir. Çalışmada reaktif güç optimizasyonu yapılmadığından bu değerler (Urazel, 2017)’de optimal çözüm noktasında verilen reaktif güç üretim değerlerinin aynısı olarak alınmıştır.

Çizelge 5.54. Örnek sistemdeki üretim birimlerine ait sabit pu reaktif güç üretim değerleri.

Üretim Biriminin bağlı olduğu Bara no	Alt zaman dilimi (j)					
	1	2	3	4	5	6
4	0,241394	0,667846	0,506029	1,504998	1,927735	0,77683
5	0,527169	0,484014	0,892595	0,672478	0,866954	0,508959
8	0,634374	0,90714	0,931716	1,084724	1,074775	0,870858
10	0,438094	0,355463	0,641274	0,496541	0,212917	0,510706
12	0,132848	0,194157	0,173016	0,152787	0,228743	0,194425
14	0,647164	0,375209	0,706256	0,103628	-0,276391	0,241914
15	0,378318	1,025844	0,249951	0,863456	1,221333	0,360535
16	0,200408	0,343654	0,787803	0,693693	0,060382	0,577658

Örnek sistemdeki hidrolik birimlerin rezervuar depolama limitleri, başlangıç-bitiş su hacimleri ve deşarj su miktarlarının minimum ve maksimum değerleri Çizelge 5.55’te gösterilmiştir. Sistemdeki dört adet kademeli (seri-paralel) olarak bağlı hidrolik birimler arasındaki hidrolik ilişkiler Şekil 5.2’de gösterilmiştir. 10, 12, 14, ve 16. baralara bağlı değişken düşülü hidrolik birimlerin her bir alt zaman dilimi sonunda rezervuarlarında depolanmış su hacmi değerleri ise denklem (5.1)-(5.4) kullanılarak hesaplanmaktadır.

Çizelge 5.55. Örnek sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin rezervuar depolama sınırları, rezervuarların başlangıç-bitiş su hacimleri ve deşarj su limitleri ($\times 10^3$ acre-ft).

Bara No (m)	10	12	14	16
V_m^{min}	7,5	7,5	7,5	7,5
V_m^{max}	40	40	40	40
$V_m^{baş}$	20	15	16,6	10
V_m^{son}	18	16,6	10,6	20,6
q_m^{min}	0,1	0,1	0,1	0,1
q_m^{max}	8	8	8	8
q_{toplam}	17,6	16	16,8	22,2

Gözönüne alınan KDHTKP'nin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünde kullanılan algoritmaya ve probleme ait parametreler Çizelge 5.56'da verilmiştir.

Çizelge 5.56. Örnek problemin IGSA ve KDHTKP'e ait parametre değerleri.

<i>IGSA</i>					<i>KDHTKP</i>	
<i>IteN</i>	<i>N</i>	<i>N_{min}</i>	<i>N_{max}</i>	<i>SS</i>	<i>KCF_{sal}</i>	10^3
1000	50	30	59	20	<i>KCF_{V_m}</i>	10^2
<i>f_{Call}</i>	<i>Run</i>	<i>G₀</i>	<i>α</i>	<i>ε</i>	<i>Tol_{V_{son}} (%)</i>	1
50000	30	343	9	10^{-6}	<i>KCF_{V_{son}}</i>	10^3
					<i>KCF_{P_{GH}}</i>	5.10^3

Sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile 30'ar kez çözümlerinden elde edilen minimum, maksimum, ortalama TYM değerleri, standart sapma, saniye olarak toplam ve ortalama süreler Çizelge 5.57'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.57. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen değerler.

	<i>IGSA-1</i>	<i>IGSA-2</i>	<i>IGSA-3</i>
En kötü	168136,195564 (Run: 3)	168105,824595 (Run: 23)	167756,832076 (Run: 30)
Ortalama	163898,264938	164193,967854	163259,420455
<i>En İyi</i>	<i>159832,949426 (Run: 30)</i>	<i>159708,450432 (Run: 30)</i>	<i>157750,982813 (Run: 25)</i>
Standart Sapma	2168,397555	2475,769934	2136,619624
Toplam Süre (s)	13845,685554	13424,181752	13330,597369
Ort. Süre (s)	461,522852	447,472725	444,353246

Değişken düşülü KDHTKP'nin, IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen, deşarj edilen su miktarları, hidrolik üretim birimlerinin alt zaman dilimi sonundaki rezervuar su miktarları ve sistem için en iyi toplam yakıt maliyetinin elde edildiği aktif güç üretim değerleri IGSA-1 için Çizelge 5.58, 5.59, 5.60'da, IGSA-2 için Çizelge 5.61, 5.62, 5.63'de ve IGSA-3 için ise Çizelge 5.64, 5.65 ve 5.66'da verilmiştir.

Çizelge 5.58. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=30).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı ($\times 10^3$ acre-ft/h)			
	$q_{10j} (P_{GH,10j})$	$q_{12j} (P_{GH,12j})$	$q_{14j} (P_{GH,14j})$	$q_{16j} (P_{GH,16j})$
1	4,600203	3,072000	7,802429	0,300332
2	2,433433	2,219524	1,655543	3,741769
3	2,915723	3,163790	2,039871	5,430516
4	2,501527	2,387318	1,663795	3,910400
5	2,355747	2,230899	1,782672	3,969779
6	2,951702	3,200278	1,926977	5,256535
$q_{harcanan}$	17,758338	16,273813	16,871290	22,609334
q_{toplam}	17,6	16	16,8	22,2

Çizelge 5.59. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=30).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı ($\times 10^3$ acre-ft/h)			
	V_{10j}	V_{12j}	V_{14j}	V_{16j}
$V_{baş}$	20	15	16,6	10
1	17,999796	16,528203	10,597570	20,574097
2	18,166363	16,742111	10,742027	20,707395
3	17,850639	16,494044	10,502155	20,480541
4	17,949112	16,608253	10,638360	20,621255
5	18,193364	16,733101	10,655687	20,665047
6	17,841661	16,484525	10,528709	20,535768
V_{son}	18	16,6	10,6	20,6
Fazladan harcanan su	0,158338	0,115474	0,071290	0,064231
%hata	0,879657	0,695632	0,672549	0,311803

Çizelge 5.60. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=30).

Üretim Birimi Baraları	Üretilen Güçler (pu)	Alt zaman dilimi (j)					
		1	2	3	4	5	6
1	$P_{GT,1}$	0,301776	2,331694	3,070900	2,509247	2,311924	3,093847
	$Q_{GT,1}$	0,900459	0,828459	1,117387	1,002608	0,949618	0,805674
4	$P_{GT,4}$	2,479580	0,450186	0,453232	0,484243	0,450000	0,457815
5	$P_{GT,5}$	0,402425	0,401819	0,400000	1,974646	1,961220	0,412731
8	$P_{GT,8}$	0,500000	1,757018	1,758334	1,755973	0,500000	0,504181
10	$P_{GH,10}$	0,881432	0,596369	0,659385	0,603036	0,585692	0,664203
12	$P_{GH,12}$	0,691265	0,582104	0,702563	0,602425	0,583489	0,707109
14	$P_{GH,14}$	0,850508	0,314743	0,351888	0,314276	0,327044	0,340504
15	$P_{GT,15}$	0,450000	1,073418	0,450000	0,450000	1,702387	0,450000
16	$P_{GH,16}$	0,473223	0,992310	1,213464	1,013766	1,022963	1,192269
Üretilen Aktif Güç (pu)		7,030208	8,499661	9,059766	9,707612	9,444719	7,822658
Toplam $P_{kayıp}$ (pu)		1,564626					
TYM (R)		159832,949426					
Süre (s)		437,299363					

Çizelge 5.61. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=30).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı ($\times 10^3$ acre-ft/h)			
	$q_{10j} (P_{GH,10j})$	$q_{12j} (P_{GH,12j})$	$q_{14j} (P_{GH,14j})$	$q_{16j} (P_{GH,16j})$
1	4,493759	2,862446	7,834328	0,107981
2	2,792990	2,848215	1,707058	4,526375
3	2,633931	2,688722	2,010966	4,792700
4	2,332002	2,128812	1,419333	3,327214
5	2,835787	3,047780	2,18380	5,478545
6	2,502544	2,381541	1,614400	3,864202
$q_{harcanan}$	17,591016	15,957520	16,769893	22,097020
q_{toplam}	17,6	16	16,8	22,2

Çizelge 5.62. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=30).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı ($\times 10^3$ acre-ft/h)			
	V_{10j}	V_{12j}	V_{14j}	V_{16j}
$V_{baş}$	20	15	16,6	10
1	18,106240	16,631312	10,565671	20,588793
2	17,913249	16,576087	10,658612	20,617693
3	17,879318	16,521296	10,447645	20,524682
4	18,147315	16,724486	10,828312	20,745613
5	17,911528	16,512492	10,444506	20,498654
6	18,008983	16,633495	10,630106	20,630394
V_{son}	18	16,6	10,6	20,6
Az harcanan su	0,008983	0,033495	0,030106	0,030394
%hata	0,049909	0,201779	0,284020	0,147544

Çizelge 5.63. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=30).

Üretim Birimi Baraları	Üretilen Güçler (pu)	Alt zaman dilimi (j)					
		1	2	3	4	5	6
1	$P_{GT,1}$	2,326722	2,422975	2,476109	2,331217	2,244255	2,393972
	$Q_{GT,1}$	0,777529	0,993934	1,097321	1,098394	1,075877	0,656427
4	$P_{GT,4}$	0,450000	0,451647	2,494859	2,094391	0,451067	0,451765
5	$P_{GT,5}$	0,400000	1,985047	0,400000	1,970334	0,400000	1,471134
8	$P_{GT,8}$	0,500000	0,500000	0,503173	0,500190	1,755140	0,500000
10	$P_{GH,10}$	0,869836	0,643308	0,620684	0,581683	0,649210	0,603999
12	$P_{GH,12}$	0,665693	0,662905	0,641021	0,569559	0,687859	0,602070
14	$P_{GH,14}$	0,852232	0,319113	0,348181	0,290658	0,365978	0,308933
15	$P_{GT,15}$	0,450000	0,450287	0,451191	0,450000	1,707198	0,450000
16	$P_{GH,16}$	0,442512	1,097680	1,131103	0,934856	1,220070	1,007579
Üretilen Aktif Güç (pu)		6,956994	8,532962	9,066322	9,722889	9,480777	7,789453
Toplam $P_{kayıp}$ (pu)		1,549399					
TYM (R)		159708,450432					
Süre (s)		441,095064					

Çizelge 5.64. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=25).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı ($\times 10^3$ acre-ft/h)			
	$q_{10j} (P_{GH,10j})$	$q_{12j} (P_{GH,12j})$	$q_{14j} (P_{GH,14j})$	$q_{16j} (P_{GH,16j})$
1	4,653540	3,105016	7,700918	0,183964
2	2,387126	2,262160	1,925664	4,189999
3	2,816616	2,915480	1,691395	4,576211
4	2,703389	2,846218	2,066860	5,103244
5	2,242007	1,915188	1,392698	3,011894
6	2,896892	3,121916	2,132258	5,461619
$q_{harcanan}$	17,699573	16,16598	16,909796	22,526934
q_{toplam}	17,6	16	16,8	22,2

Çizelge 5.65. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=25).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı ($\times 10^3$ acre-ft)			
	V_{10j}	V_{12j}	V_{14j}	V_{16j}
$V_{baş}$	20	15	16,6	10
1	17,946459	16,548524	10,699081	20,621970
2	18,159332	16,673490	10,573417	20,619796
3	17,942715	16,574626	10,682021	20,650461
4	17,839325	16,431797	10,415161	20,460294
5	18,197318	16,758616	10,822462	20,756287
6	17,900426	16,533592	10,490203	20,548843
V_{son}	18	16,6	10,6	20,6
Fazladan harcanan su	0,099573	0,066407	0,109796	0,051156
%hata	0,553189	0,400047	1,035812	0,248333

Çizelge 5.66. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=25).

Üretim Birimi Baraları	Üretilen Güçler (pu)	Alt zaman dilimi (j)					
		1	2	3	4	5	6
1	$P_{GT,1}$	2,272135	2,421187	2,592944	2,280854	2,265740	2,418176
	$Q_{GT,1}$	0,767561	0,997904	0,957296	0,930609	1,118136	0,628034
4	$P_{GT,4}$	0,450000	0,617460	0,455574	0,450000	0,450000	0,458402
5	$P_{GT,5}$	0,400000	1,971570	0,405164	1,949001	0,400000	0,401573
8	$P_{GT,8}$	0,500000	0,501690	1,757870	1,751186	1,756020	0,501442
10	$P_{GH,10}$	0,887201	0,589697	0,646991	0,629831	0,569484	0,657488
12	$P_{GH,12}$	0,695883	0,586713	0,671678	0,660228	0,541065	0,697819
14	$P_{GH,14}$	0,844976	0,340949	0,317761	0,353545	0,287720	0,361275
15	$P_{GT,15}$	0,450000	0,450000	1,077906	0,450000	2,332557	1,077304
16	$P_{GH,16}$	0,455469	1,052151	1,105131	1,170516	0,890021	1,219083
Üretilen Aktif Güç (pu)		6,955665	8,531418	9,031019	9,695160	9,492608	7,792561
Toplam $P_{kayıp}$ (pu)		1,498432					
TYM (R)		157750,982813					
Süre (s)		448,126584					

Bu örnek içinde önceki bölümde anlatıldığı gibi %hata değerleri sıfırlanmıştır. Bu işlemler yapıldığında IGSA-1, 2 ve 3 için elde edilen değerler Çizelge 5.67’de verilmiştir. Çizelgede yeniden hesaplanan değerler koyu renkte verilmiştir.

Çizelge 5.67. Hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarındaki son su değerlerinin sıfır hata ile sağlanması durumunda IGSA-1, 2 ve 3 için 6. alt zaman dilimindeki aktif güç ve *TYM* değerleri.

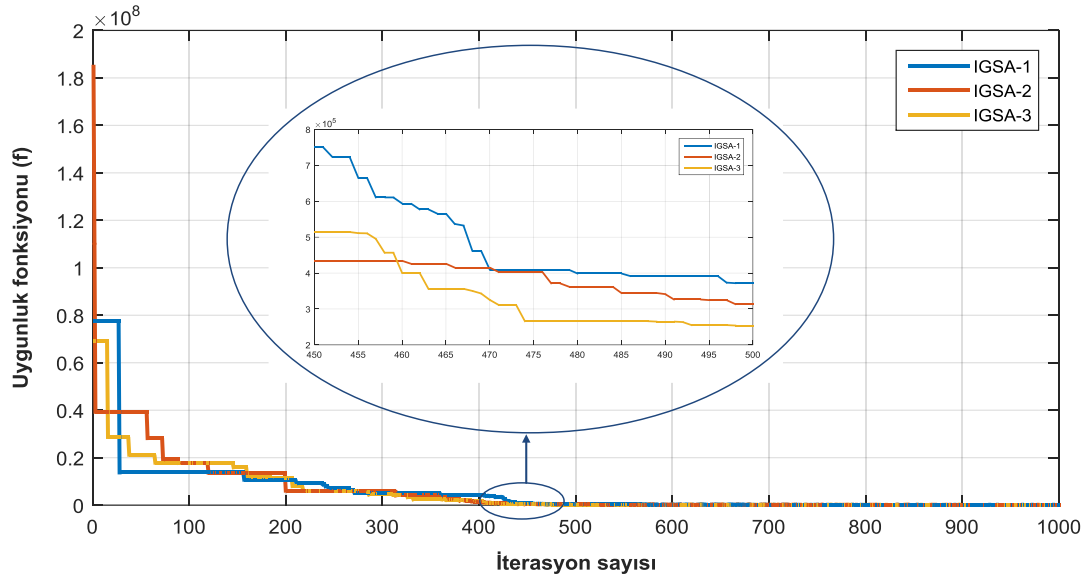
Üretim Birimi Baraları	Üretilen Güçler (pu)	j=6		
		IGSA-1	IGSA-2	IGSA-3
1	$P_{GT,1}$	3,211835	2,370344	2,503132
4	$P_{GT,4}$	0,457815	0,451765	0,458402
5	$P_{GT,5}$	0,412731	1,471134	0,401573
8	$P_{GT,8}$	0,504181	0,500000	0,501442
10	$P_{GH,10}$	0,644563	0,605514	0,645112
12	$P_{GH,12}$	0,673537	0,607193	0,677381
14	$P_{GH,14}$	0,333982	0,311736	0,351361
15	$P_{GT,15}$	0,450000	0,450000	1,077304
16	$P_{GH,16}$	1,140084	1,021123	1,177905
Üretilen Aktif Güç (pu)		7,828728	7,788809	7,793612
Düzeltilmiş <i>TYM</i> (R)		159967,935722	159706,102152	157881,605696

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen *TYM*’lerin literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılması Çizelge 5.68’de verilmiştir. Çizelgede ilk satırdaki *TYM* değerleri, çözüm yöntemleri tarafından tolerans değeri içinde kalınarak belirlenmiş su hatasıyla ve ikinci satırdaki değerler ise sıfır su hatasıyla bulunan değerlerdir. Çizelgede F-MSG metodu için verilen *TYM* değeri (Urazel, 2017)’den alınmıştır ve burada verilen eniyi çözümünden 4882,3125 R daha düşük *TYM* değeri vermektedir.

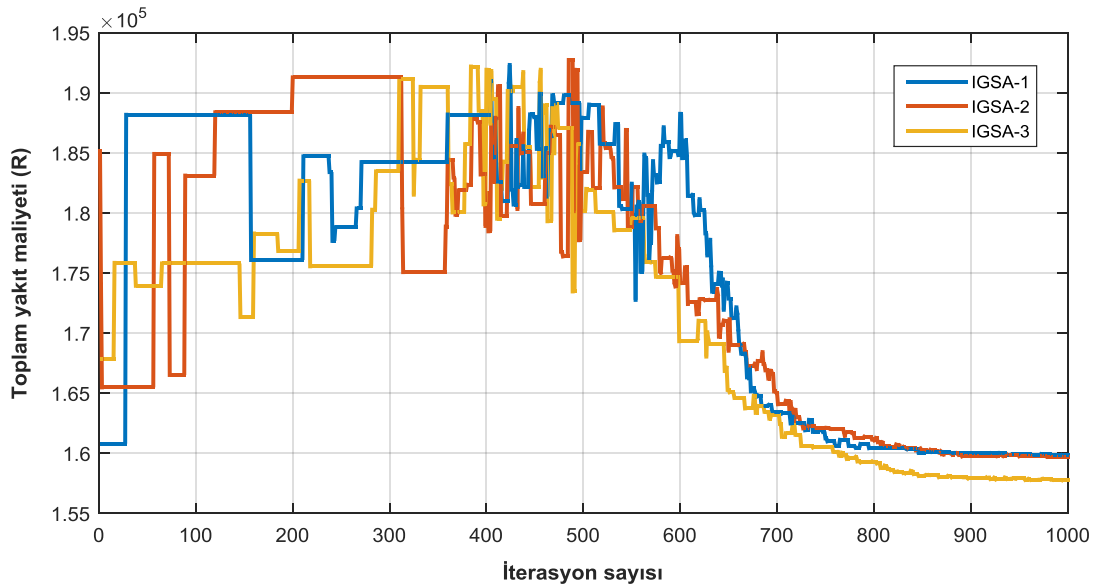
Çizelge 5.68. Literatür karşılaştırması.

	F-MSG	IGSA-1	IGSA-2	IGSA-3
<i>TYM</i> (R) (%hata≠0)	-	159832,949426	159708,450432	157750,982813
<i>TYM</i> (R) (%hata=0)	152999,293100	159967,935722	159706,102152	157881,605696

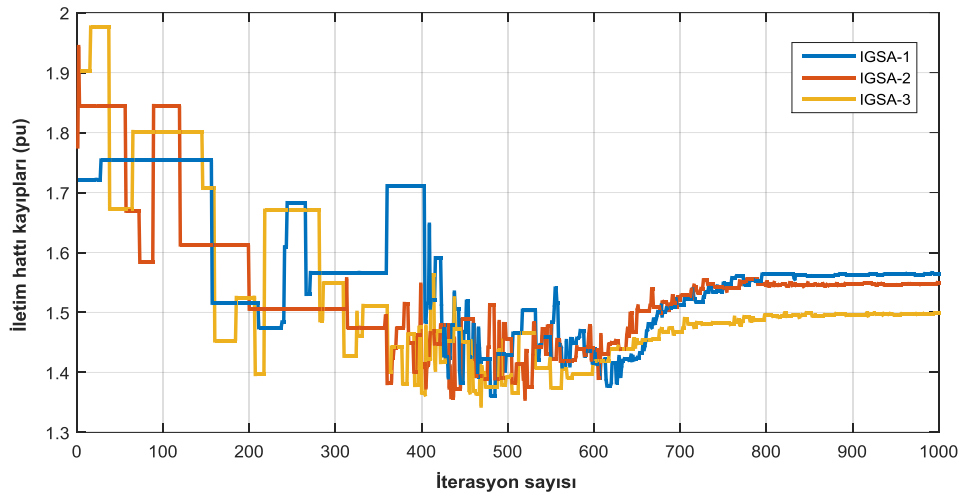
Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen uygunluk fonksiyonunun, toplam yakıt maliyeti değerlerinin ve iletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 5.35, 5.36 ve 5.37’de gösterilmiştir.



Şekil 5.35. Uygunluk fonksiyonunun iterasyonlara göre değişimi.



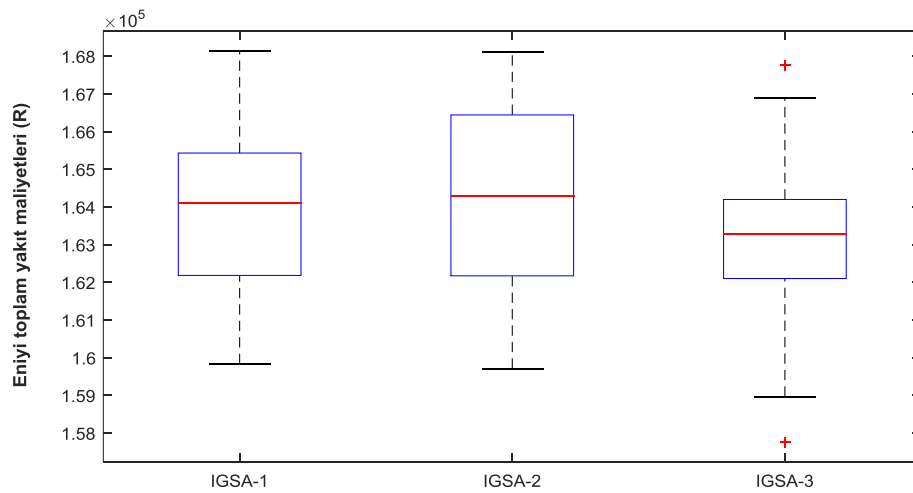
Şekil 5.36. Toplam yakıt maliyeti değerlerinin iterasyonlara göre değişimi.



Şekil 5.37. İletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi.

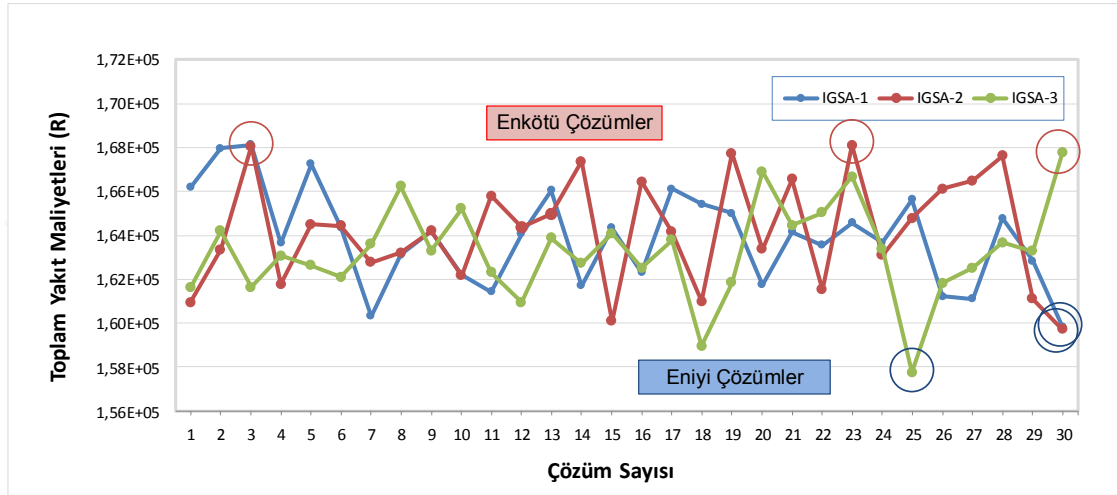
Çözüm 1000 iterasyon sürmesine rağmen en iyi çözüme bakıldığında, Şekil 5.35'teki uygunluk fonksiyonu değeri yaklaşık 500. iterasyondan sonra fazla değişmediği görülmektedir. Şekil 5.36'daki toplam yakıt maliyetleri ve Şekil 5.36'daki iletim hattı kayıpları değerlerinde fazlaca değişiklikler görülmektedir. Şekil 5.36 ve 5.37'den görüldüğü gibi IGSA-3'ün, iletim hattı kayıpları IGSA-1 ve 2'den daha yüksek olmasına rağmen, toplam yakıt maliyeti değeri daha düşüktür.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile 30 kez çözümlerinden elde edilen kutu grafikleri Şekil 5.38'de verilmiştir.



Şekil 5.38. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerlerinin kutu grafikleri.

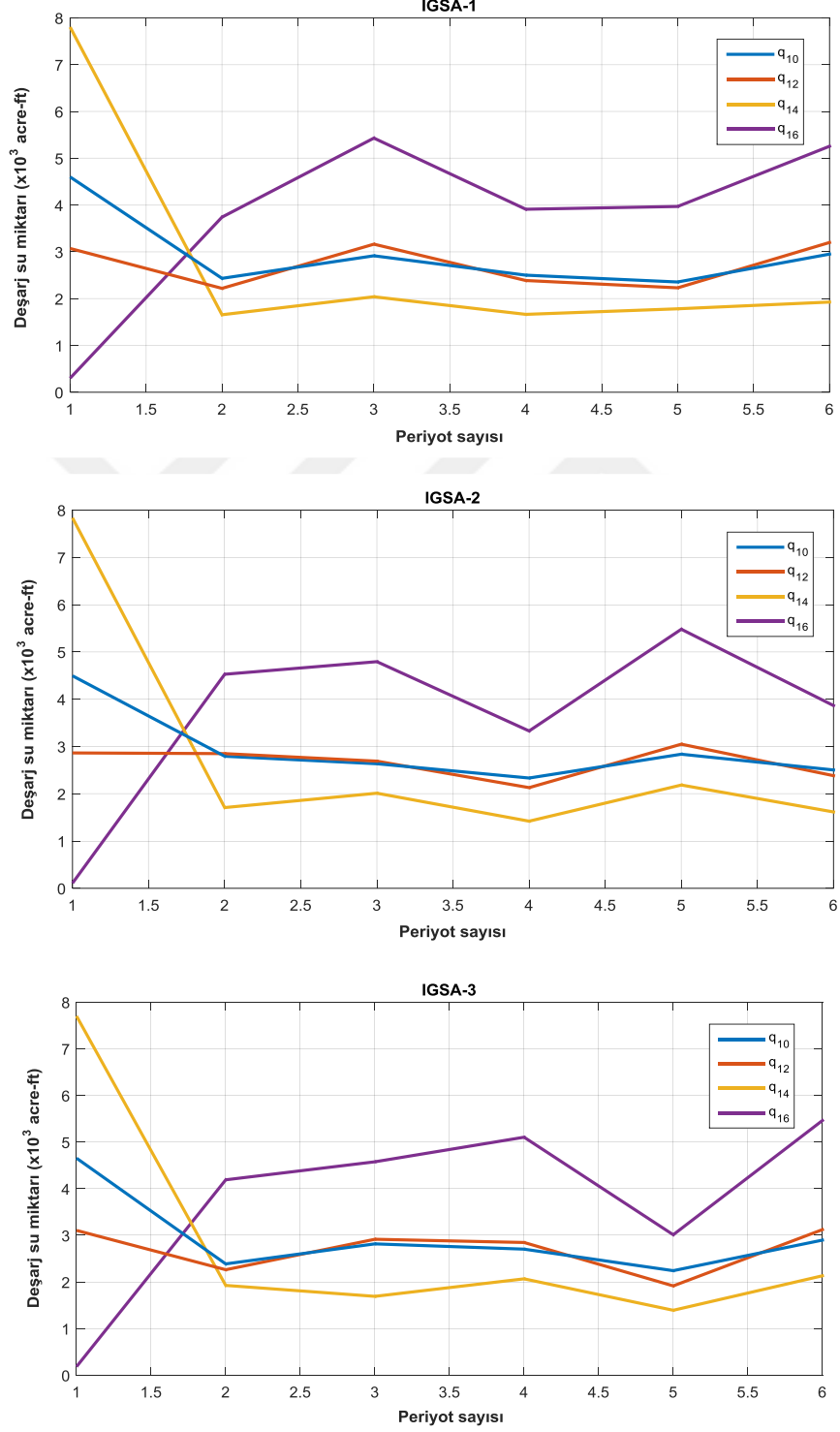
Şekil 5.38'deki 30 çalışmaya ait kutu grafikleri incelendiğinde, IGSA-3'ün 1 ve 2'ye göre daha düşük yakıt maliyeti değerini yakalamasına rağmen iki adet sapan değeri mevcuttur. Örnek sistemin 30 kez çözümünde elde edilen tüm toplam yakıt maliyeti değerleri Şekil 5.39'da verilmiştir.



Şekil 5.39. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerleri.

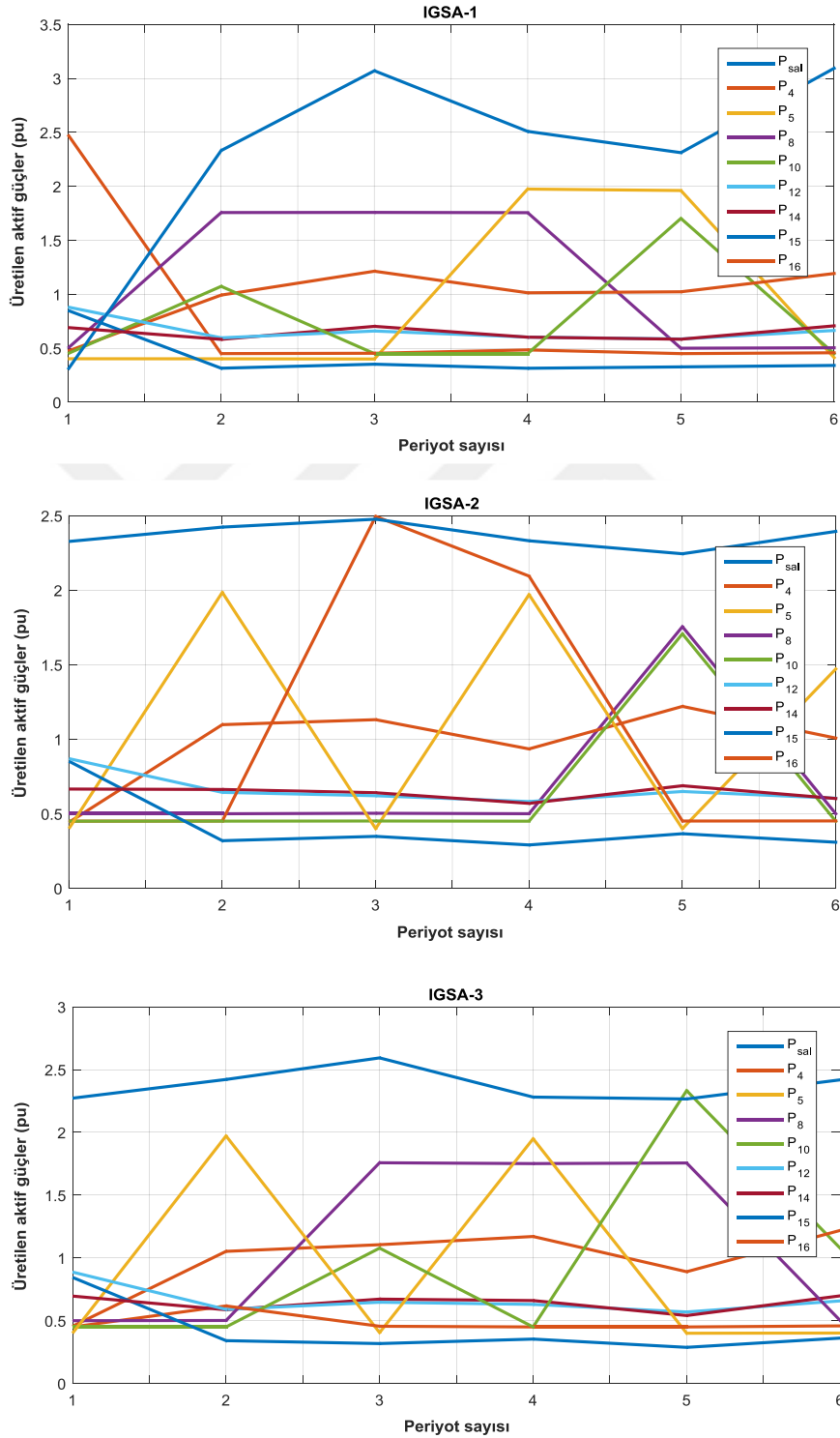
Şekil 5.39 incelendiğinde, IGSA-1, 2 ve 3 ile 30 kez yapılan çözümde, problem için belirlenen kısıtları sağlayan, yaklaşık minimum 157000 ve maksimum 169000 R arasında, 12000 R'lık bir bölgede toplam yakıt maliyeti değerleri elde edildiği görülmüştür. Çözülen örnek için TYM değerlerine bakıldığında IGSA-1 için 30. çalışmada elde edilen 159832,949426 R, IGSA-2 için yine 30. çalışmada elde edilen 159708,450432 R ve IGSA-3 için 25. çalışmada elde edilen 157750,982813 R optimal değerleri bulunmuştur. Değerlerden görüldüğü gibi bu örnek için TYM açısından en iyi değer IGSA-3 ile yakalanmıştır. Bu en iyi TYM değerleri IGSA-1 için 437,299363 s, IGSA-2 için 441,095064 s ve IGSA-3 için 448,126584 s sürelerde bulunmuştur. Sistemde meydana gelen iletim hattı kayıpları ise IGSA-1 için 1,564626 pu, IGSA-2 için 1,549399 pu ve IGSA-3 için 1,498432 pu'dur. IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümü yapılan örnek sistem için verilen hidrolik birimler tarafından her alt zaman diliminde deşarj edilen su miktarları ve bu su miktarları ile elde edilen her alt zaman dilimindeki aktif güç üretim değerleri ve kayıp değerleri incelendiğinde, her alt zaman diliminde üretilen aktif güç üretim değerlerinin Çizelge 5.3 ve 5.4'de verilen sınır değerler arasında kaldığı görülmektedir.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözümlere ait, hidrolik birimler tarafından harcanan su miktarlarının alt zaman dilimlerine göre değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.40'da verilmiştir.



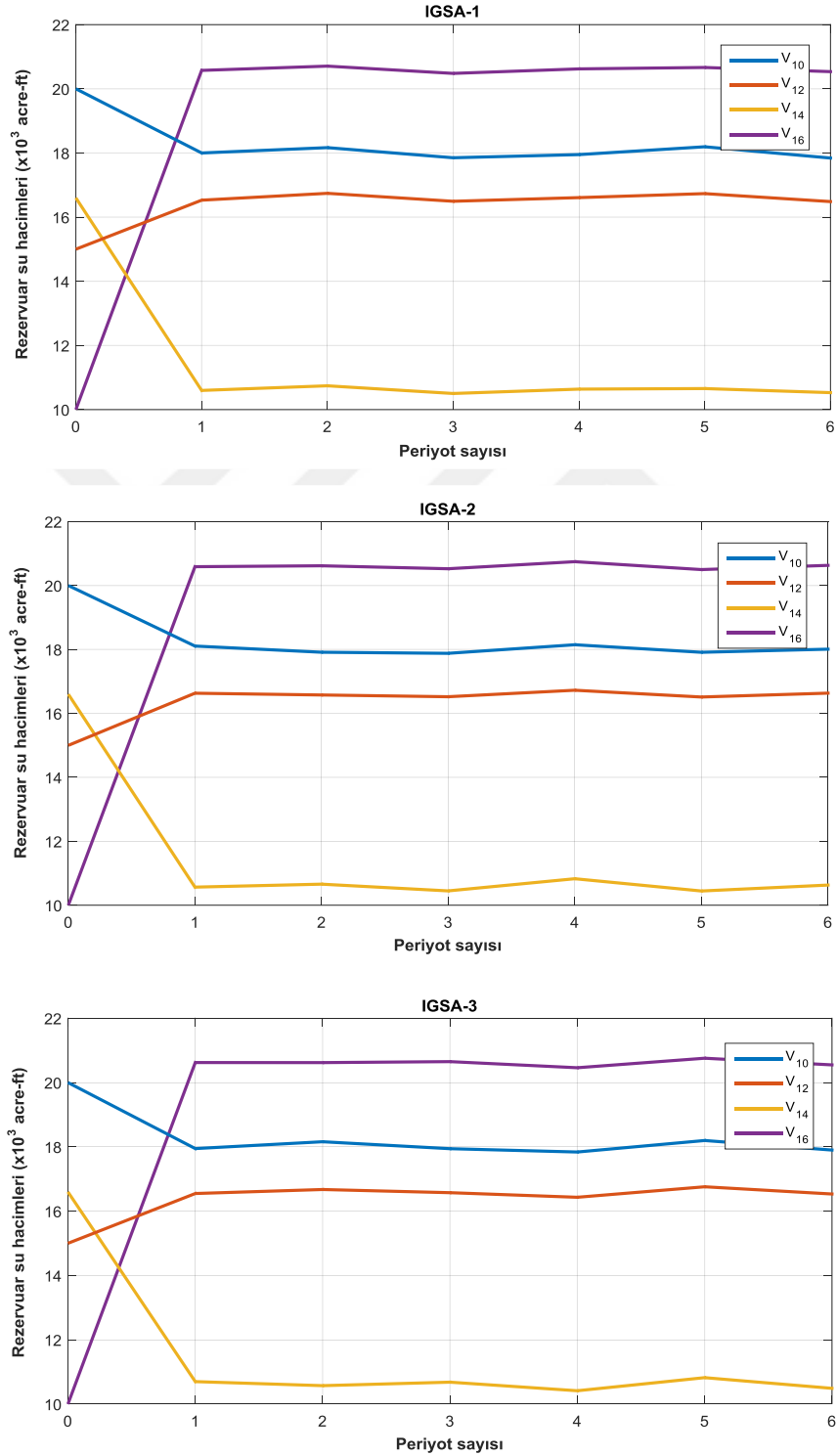
Şekil 5.40. Hidrolik birimlerin her alt zaman dilimindeki deşarj su miktarları.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözümlere ait, üretim birimleri tarafından üretilen aktif güç miktarlarının alt zaman dilimlerine göre değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.41’de verilmiştir.



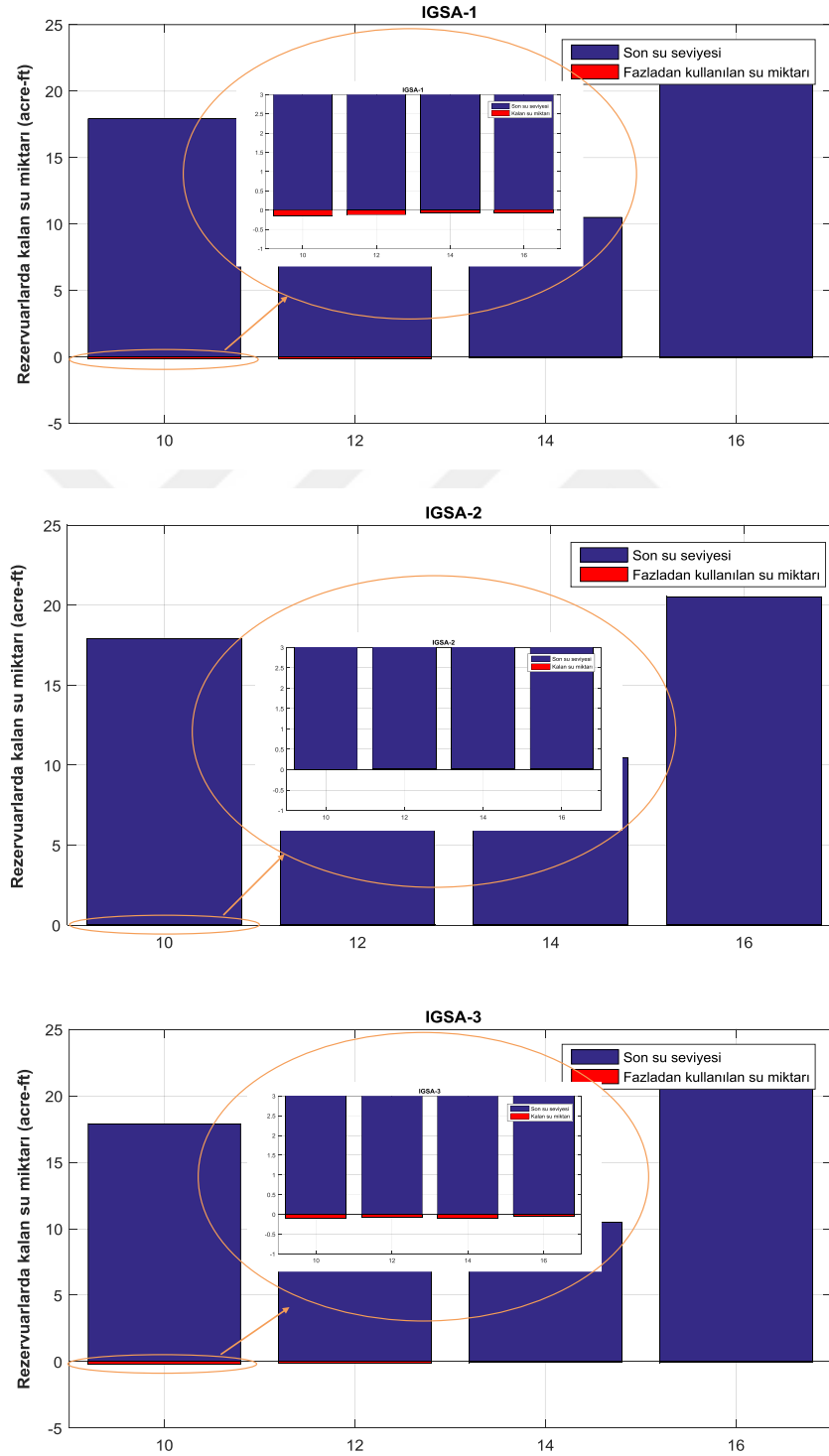
Şekil 5.41. Her alt zaman diliminde üretilen aktif güç değerleri.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözümlere ait, hidrolik birimlerin rezervuarlarındaki su seviyelerinin alt zaman dilimlerine göre değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.42’de verilmiştir.



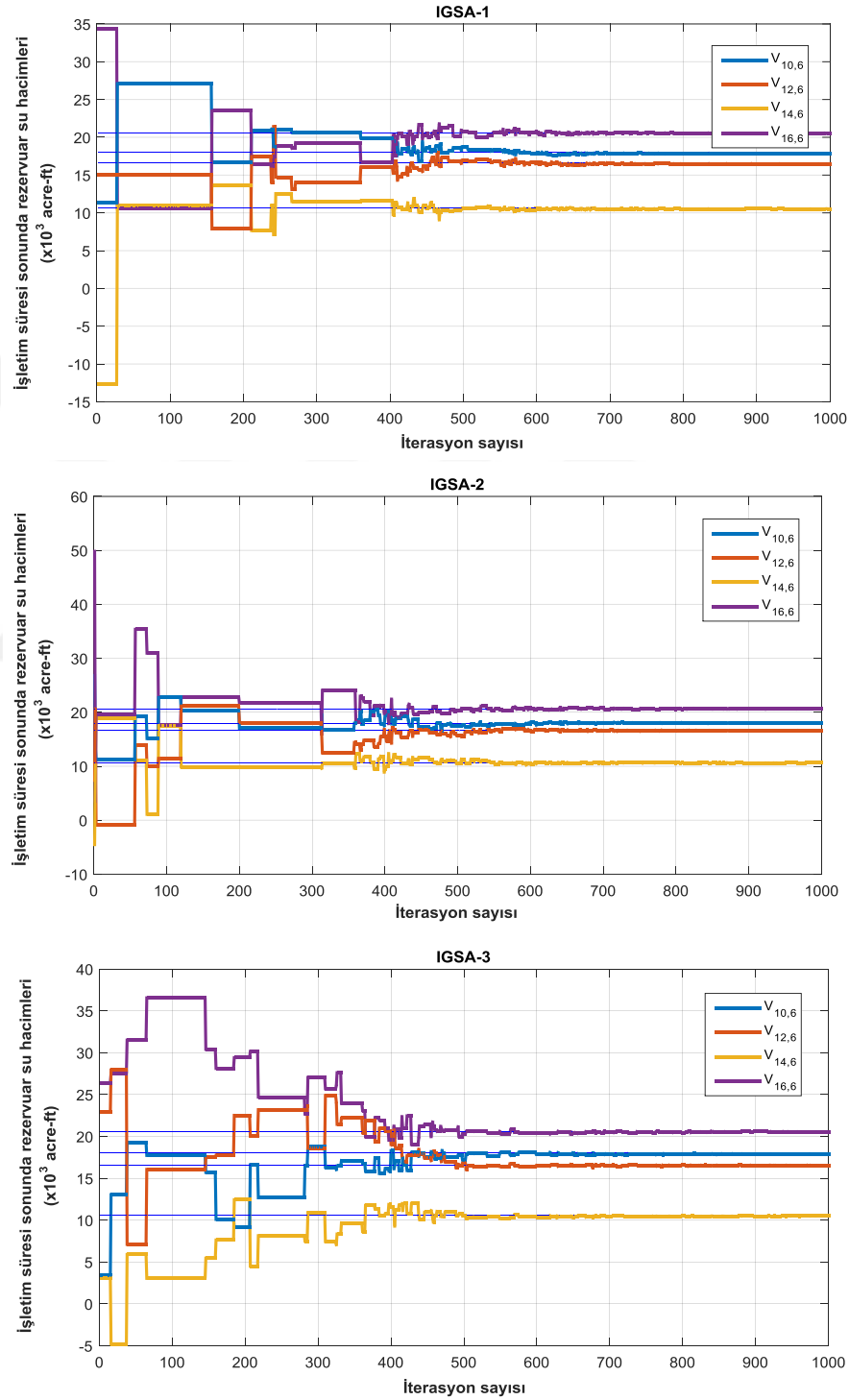
Şekil 5.42. Hidrolik birimlerin rezervuar su hacimlerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözümlere ait, hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarında son alt zaman dilimi sonundaki kalan su miktarlarını gösteren grafikler ise Şekil 5.43'te verilmiştir.



Şekil 5.43. İşletim süresi sonunda hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan su miktarları.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözüme ait, hidrolik birimlerin rezervuarlarında son alt zaman dilimi sonundaki su seviyelerinin iterasyonlara göre değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.44'te verilmiştir.



Şekil 5.44. Hidrolik birimlerin işletim süresi sonu rezervuar su hacimlerinin iterasyonlara göre değişimi.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözümlere ait, sistemdeki bütün baraların gerilim genliklerinin, alt zaman dilimlerine göre değişimlerini gösteren gerilim profili grafikleri ise Şekil 5.45'te verilmiştir.



Şekil 5.45. En iyi çözümlere ait bara gerilim genliklerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.

5.4.2. Durum-2:

Bu bölümde çözümü yapılan ikinci örnek, durum-1'deki örneğin bir benzeridir. Şekil 5.1'de verilen örnek sistemdeki her zaman diliminde değişmeyen aktif ve reaktif yük değerleri Çizelge 5.1 ve 5.2'de, termik üretim birimlerine ait saat başına maliyet eğrisi katsayıları (a_n , b_n , c_n) ve aktif güç üretim sınırları Çizelge 5.3'de, valf nokta etkisini gösteren e_n ve f_n katsayıları ise Çizelge 5.18'de, iletim hatlarına ait nominal π eşdeğer devresinin pu R , X , B değerleri Çizelge 5.5'de verilmiştir. Örnek sistemdeki değişken düşülü hidrolik üretim birimlerinin giriş-çıkış eğrilerine ait katsayılar ve aktif güç üretim sınır değerleri ise Çizelge 5.69'da, her alt zaman diliminde rezervuarlarına saat başı giren su miktarları Çizelge 5.70'de verilmiştir.

Çizelge 5.69. Örnek sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin denklem (4.16) ile verilen giriş-çıkış eğrilerine ait katsayılar ve aktif güç üretim sınır değerleri.

<i>Katsayılar</i>	<i>Bara No (m)</i>			
	<i>10</i>	<i>12</i>	<i>14</i>	<i>16</i>
$C_{1,m}$	-0,0042	-0,0040	-0,0016	-0,0030
$C_{2,m}$	-0,42	-0,30	-0,30	-0,31
$C_{3,m}$	0,030	0,015	0,014	0,027
$C_{4,m}$	0,90	1,14	0,55	1,44
$C_{5,m}$	10,0	9,5	5,5	14,0
$C_{6,m}$	-50	-70	-40	-90
$P_{GH,m}^{\min}$ (MW)	0,0	0,0	0,0	0,0
$P_{GH,m}^{\max}$ (MW)	250,0	250,0	250,0	250,0

Çizelge 5.70. Hidrolik birimlerin rezervuarlarına saat başı giren su miktarları (r_{mj}) ($\times 10^4 m^3$).

<i>Alt zaman dilimi (j)</i>	<i>Hidrolik Birim (m)</i>			
	<i>10</i>	<i>12</i>	<i>14</i>	<i>16</i>
1	6,5	0	4,5	0
2	6,5	0	4,5	0
3	6,5	0	4,5	0
4	6,5	0	4,5	0
5	6,5	0	4,5	0
6	6,5	0	4,5	0

Örnek sistemdeki hidrolik birimlerin rezervuar depolama limitleri, başlangıç-bitiş su hacimleri ve deşarj edilen su miktarlarının minimum ve maksimum değerleri Çizelge 5.71’de gösterilmiştir. Sistemdeki dört adet kademeli (seri-paralel) olarak bağlı hidrolik birimler arasındaki hidrolik ilişkiler Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Çalışmada değişken düşülü, konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonlarına sahip KDHTKP’nin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünde kullanılan algoritmaya ve probleme ait parametreler Çizelge 5.72’de verilmiştir.

Çizelge 5.71. Örnek sistemdeki hidrolik üretim birimlerinin rezervuar depolama sınırları, rezervuarların başlangıç-bitiş su hacimleri ve deşarj su limitleri ($\times 10^4 \text{ m}^3$).

Bara No (m)	10	12	14	16
$V_m^{\min}$	80	60	100	70
$V_m^{\max}$	150	120	240	160
$V_m^{\text{baş}}$	100	80	170	120
V_m^{son}	120	70	170	140
$q_m^{\min}$	1	1	1	1
$q_m^{\max}$	30	30	30	30
q_{toplam}	136	145	108	233

Çizelge 5.72. Örnek problemin IGSA ve KDHTKP’e ait parametre değerleri.

IGSA					KDHTKP	
IteN	N	N_{min}	N_{max}	SS	KCF_{sal}	10^3
1000	50	30	59	20	KCF_{V_m}	2.10^3
f_{Call}	Run	G₀	a	ε	Tol_{V_{son}} (%)	1
50000	30	343	9	10^{-6}	KCF_{V_{son}}	10^3
					KCF_{P_{GH}}	10^3

Örnek sistemin, IGSA-1, 2 ve 3 ile çözülürken bağımlı değişken olarak alınan hidrolik birimler tarafından her alt zaman diliminde deşarj edilen su miktarları, hidrolik üretim birimlerinin alt zaman dilimi sonundaki rezervuar su miktarları ve sistem için en iyi toplam yakıt maliyetinin elde edildiği aktif güç üretim değerleri IGSA-1 için Çizelge 5.73, 5.74, 5.75’de, IGSA-2 için Çizelge 5.76, 5.77, 5.78’de ve IGSA-3 için ise Çizelge 5.79, 5.80 ve 5.81’de verilmiştir.

Çizelge 5.73. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=30).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı ($\times 10^4 \text{ m}^3$)			
	$q_{10j} (P_{GH,10j})$	$q_{12j} (P_{GH,12j})$	$q_{14j} (P_{GH,14j})$	$q_{16j} (P_{GH,16j})$
1	6,547081	16,884643	17,787656	14,892692
2	25,773484	25,813762	19,020803	44,994154
3	24,943394	23,968158	16,074554	39,090655
4	26,200392	26,557531	19,552309	46,687566
5	27,453919	28,327948	17,913281	46,462407
6	24,680111	23,705983	17,329299	40,716237
q_{harcanan}	135,598381	145,258025	107,677902	232,843711
q_{toplam}	136	145	108	233

Çizelge 5.74. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=30).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı ($\times 10^4 \text{ m}^3$)			
	V_{10j}	V_{12j}	V_{14j}	V_{16j}
V_{baş}	100	80	170	120
1	119,452918	69,662437	170,212343	139,779606
2	119,679434	69,622159	169,191540	139,620018
3	120,736040	70,597395	171,116986	140,572075
4	120,535647	70,240256	169,564676	139,994349
5	119,081728	69,366227	169,651394	139,773172
6	120,401616	70,340355	170,322094	140,092219
V_{son}	120	70	170	140
Az harcanan su	0,401616	0,340355	0,322094	0,092219
%hata	0,334680	0,486222	0,189468	0,065871

Çizelge 5.75. IGSA-1 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=30).

Üretim Birimi Bara	Üretilen Güçler (pu)	Alt zaman dilimi (j)					
		1	2	3	4	5	6
1	$P_{GT,1}$	2,535812	1,234076	2,272850	2,995784	2,608665	0,342958
	$Q_{GT,1}$	0,832416	0,932979	1,125657	1,615840	1,595029	0,605329
4	$P_{GT,4}$	0,476028	0,450000	0,450000	0,450000	0,562199	0,451940
5	$P_{GT,5}$	0,400000	0,400000	1,974555	0,420829	0,401701	1,982331
8	$P_{GT,8}$	0,500000	1,759321	0,501067	1,757194	1,762612	0,501974
10	$P_{GH,10}$	0,186859	0,676849	0,660514	0,686279	0,709848	0,654736
12	$P_{GH,12}$	0,291702	0,455334	0,430434	0,471841	0,494321	0,424147
14	$P_{GH,14}$	0,363836	0,378877	0,341496	0,385774	0,365084	0,357893
15	$P_{GT,15}$	1,071598	1,077870	0,450331	0,450016	0,450046	1,078538
16	$P_{GH,16}$	1,145463	2,132310	1,974446	2,180888	2,172921	2,017442
Üretilen Aktif Güç (pu)		6,971298	8,564637	9,055693	9,798605	9,527397	7,811959
Toplam P_{kayp} (pu)		1,729590					
TYM (R)		149001,924411					
Süre (s)		509,156733					

Çizelge 5.76. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=26).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı ($\times 10^4 \text{ m}^3$)			
	$q_{10j} (P_{GH,10j})$	$q_{12j} (P_{GH,12j})$	$q_{14j} (P_{GH,14j})$	$q_{16j} (P_{GH,16j})$
1	6,991838	17,563127	18,521103	16,398894
2	24,394439	23,260465	16,776885	39,217031
3	25,966060	26,145602	18,766548	45,395646
4	27,240289	28,136645	18,028608	46,484780
5	25,523618	25,212873	18,457663	43,517522
6	25,586262	24,979481	16,954508	41,492922
q_{harcanan}	135,702506	145,298193	107,505315	232,506795
q_{toplam}	136	145	108	233

Çizelge 5.77. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=26).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı ($\times 10^4 \text{ m}^3$)			
	V_{10j}	V_{12j}	V_{14j}	V_{16j}
$V_{\text{baş}}$	100	80	170	120
1	119,008161	69,428711	169,478896	139,685336
2	120,613722	70,562685	170,702010	140,505656
3	120,647661	70,383143	169,935462	140,022161
4	119,407371	69,486787	169,906853	139,702634
5	119,883752	69,797532	169,449189	139,855648
6	120,297490	70,404313	170,494681	140,296716
V_{son}	120	70	170	140
Az harcanan su	0,297490	0,404313	0,494681	0,296716
%hata	0,247909	0,577591	0,290989	0,211941

Çizelge 5.78. IGSA-2 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=26).

Üretim Birimi Bara	Üretilen Güçler (pu)	Alt zaman dilimi (j)					
		1	2	3	4	5	6
1	$P_{GT,1}$	2,439512	0,307947	2,370420	0,310178	0,395209	2,452770
	$Q_{GT,1}$	0,820078	0,932109	1,270193	1,332142	1,248641	0,843913
4	$P_{GT,4}$	0,469655	2,267275	0,450000	2,500000	1,304550	0,511515
5	$P_{GT,5}$	0,401728	0,401218	0,400000	0,400000	1,977604	0,404502
8	$P_{GT,8}$	0,501099	1,753704	1,755901	1,757290	1,760305	0,500000
10	$P_{GH,10}$	0,200600	0,648844	0,681603	0,706001	0,671899	0,673531
12	$P_{GH,12}$	0,303688	0,417790	0,466009	0,492137	0,446430	0,446556
14	$P_{GH,14}$	0,372774	0,350777	0,376220	0,366756	0,371944	0,353025
15	$P_{GT,15}$	1,078133	0,450000	0,450456	1,079020	0,450000	0,453324
16	$P_{GH,16}$	1,202588	1,977579	2,146764	2,172867	2,094144	2,041397
Üretilen Aktif Güç (pu)		6,969777	8,575134	9,097373	9,784249	9,472085	7,83662
Toplam P_{kayp} (pu)		1,735238					
TYM (R)		148434,345241					
Süre (s)		472,566752					

Çizelge 5.79. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri boyunca deşarj edilen su miktarları (Run=13).

Alt zaman dilimi (j)	Deşarj edilen su miktarı ($\times 10^4 \text{ m}^3$)			
	$q_{10j} (P_{GH,10j})$	$q_{12j} (P_{GH,12j})$	$q_{14j} (P_{GH,14j})$	$q_{16j} (P_{GH,16j})$
1	7,131543	18,017755	18,453693	16,879078
2	24,264450	22,920526	17,703566	40,170296
3	26,538575	26,738054	17,090241	43,496751
4	26,144352	26,686191	19,052811	46,401245
5	26,230634	26,172494	18,167490	44,261556
6	25,346303	24,915734	17,107701	41,550264
q_{harcanan}	135,655857	145,450754	107,5755022	232,75919
q_{toplam}	136	145	108	233

Çizelge 5.80. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, alt zaman dilimleri sonundaki rezervuar su miktarı değerleri (Run=13).

Alt zaman dilimi (j)	Rezervuar su miktarı ($\times 10^4 \text{ m}^3$)			
	V_{10j}	V_{12j}	V_{14j}	V_{16j}
V_{baş}	100	80	170	120
1	118,868456	69,113787	169,546306	139,592370
2	120,604005	70,457712	169,842739	140,046166
3	120,065430	70,258234	170,752498	140,377710
4	119,921077	69,716394	169,699687	139,715467
5	119,690443	69,774534	169,532197	139,793895
6	120,344140	70,205103	170,424496	140,267065
V_{son}	120	70	170	140
Az harcanan su	0,344140	0,205103	0,424496	0,267065
%hata	0,286783	0,293005	0,249704	0,190761

Çizelge 5.81. IGSA-3 ile elde edilen, en iyi çözüme ait, güç üretim değerleri (Run=13).

Üretim Birimi Bara	Üretilen Güçler (pu)	Alt zaman dilimi (j)					
		1	2	3	4	5	6
1	$P_{GT,1}$	2,429389	2,682562	2,416574	2,276995	0,442484	0,706186
	$Q_{GT,1}$	0,821027	1,015737	1,261068	1,462873	1,374019	0,970656
4	$P_{GT,4}$	0,453704	0,450000	0,453153	2,436451	2,499868	0,455864
5	$P_{GT,5}$	0,405631	0,423372	0,400000	0,400000	1,972043	0,403581
8	$P_{GT,8}$	0,500000	0,501999	1,753812	0,500000	0,500000	0,500000
10	$P_{GH,10}$	0,204885	0,646072	0,692693	0,684612	0,686151	0,668613
12	$P_{GH,12}$	0,310578	0,411065	0,474922	0,470388	0,462331	0,444133
14	$P_{GH,14}$	0,371963	0,362487	0,355000	0,379656	0,368285	0,355022
15	$P_{GT,15}$	1,073810	1,079954	0,450000	0,450000	0,451197	2,334877
16	$P_{GH,16}$	1,220160	2,001327	2,098233	2,170776	2,114000	2,042764
Üretilen Aktif Güç (pu)		6,970120	8,558838	9,094387	9,768878	9,496359	7,91104
Toplam P_{kayp} (pu)		1,799626					
TYM (R)		147767,749826					
Süre (s)		423,147760					

TYM değerlerine bakıldığında, IGSA-1 için 30. çalışmada elde edilen 149001,924411 R, IGSA-2 için 26. çalışmada elde edilen 148434,345241 R ve IGSA-3 için 13. çalışmada elde edilen 147767,749826 R optimal değerleri bulunmuştur. Değerlerden görüldüğü gibi bu örnek için *TYM* açısından en iyi değer IGSA-3 ile yakalanmıştır. Bu en iyi *TYM* değerleri, IGSA-1 için 509.156733 s, IGSA-2 için 472.566752 s ve IGSA-3 için 423.147760 s sürelerde bulunmuştur. Sistemde meydana gelen iletim hattı kayıpları ise IGSA-1 için 1,729590 pu, IGSA-2 için 1,735238 pu ve IGSA-3 için 1,799626 pu'dur. IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümü yapılan örnek sistem için verilen hidrolik birimler tarafından her alt zaman diliminde deşarj edilen su miktarları ve bu su miktarları ile elde edilen her alt zaman dilimindeki aktif güç değerleri ve kayıp değerleri incelendiğinde, her alt zaman diliminde üretilen aktif güç değerlerinin Çizelge 5.3 ve 5.4'de verilen sınır değerler arasında kaldığı görülmektedir. Çizelge 5.74, 5.77 ve 5.80 incelendiğinde, optimal *TYM* değerlerinin %0,065 ile %0,577 arasındaki kalan rezervuar son su hacmi hatasıyla elde edildiği görülmektedir.

Bu örnek içinde önceki bölümde anlatıldığı gibi Çizelge 5.74, 5.77 ve 5.80'deki %hata değerleri sıfırlanmıştır. Bu işlemler yapıldığında IGSA-1, 2 ve 3 için elde edilen değerler Çizelge 5.82'de verilmiştir. Çizelgede yeniden hesaplanan değerler koyu renkte verilmiştir.

Çizelge 5.82. Hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarındaki son su değerlerinin sıfır hata ile sağlanması durumunda IGSA-1, 2 ve 3 için 6. alt zaman dilimindeki aktif güç ve *TYM* değerleri.

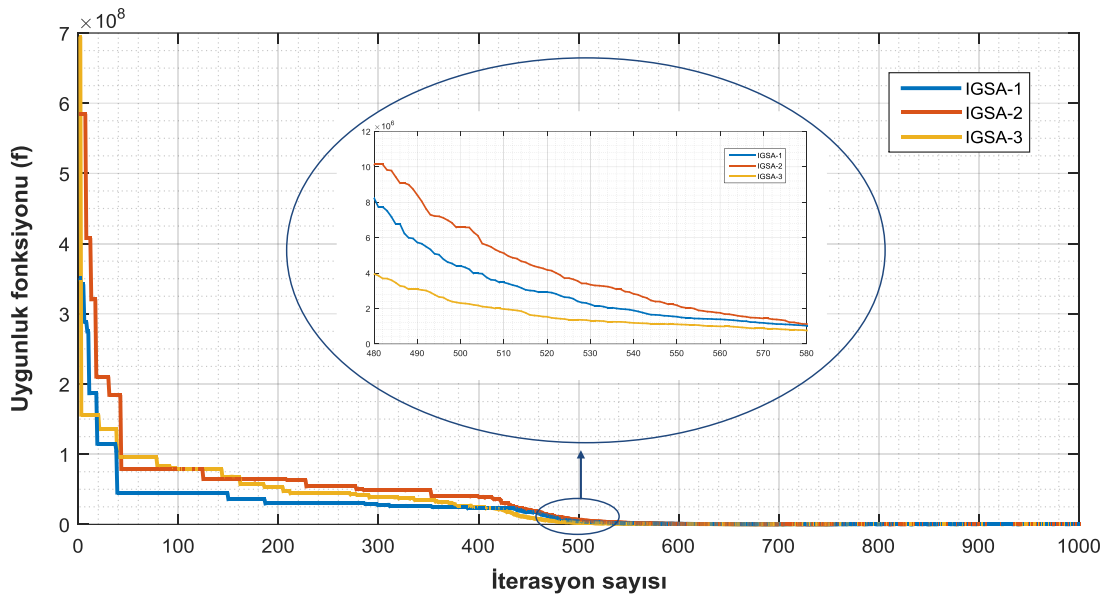
Üretim Birimi Baraları	Üretilen Güçler (pu)	j=6		
		IGSA-1	IGSA-2	IGSA-3
1	$P_{GT,1}$	0,323387	2,392889	0,659327
4	$P_{GT,4}$	0,451940	0,511515	0,455864
5	$P_{GT,5}$	1,982331	0,404502	0,403581
8	$P_{GT,8}$	0,501974	0,500000	0,500000
10	$P_{GH,10}$	0,662841	0,679380	0,675425
12	$P_{GH,12}$	0,434745	0,455682	0,452051
14	$P_{GH,14}$	0,361912	0,359260	0,360350
15	$P_{GT,15}$	1,950000	0,453324	2,334877
16	$P_{GH,16}$	2,049530	2,080720	2,075292
Üretilen Aktif Güç (pu)		8,71866	7,837272	7,916767
Düzeltilmiş <i>TYM</i> (R)		148955,168104	148344,324472	147703,419588

Sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile 30'ar kez çözümlerinden elde edilen minimum, maksimum, ortalama *TYM* değerleri, standart sapma, saniye olarak toplam ve ortalama çözüm süreleri Çizelge 5.83'de gösterilmiştir.

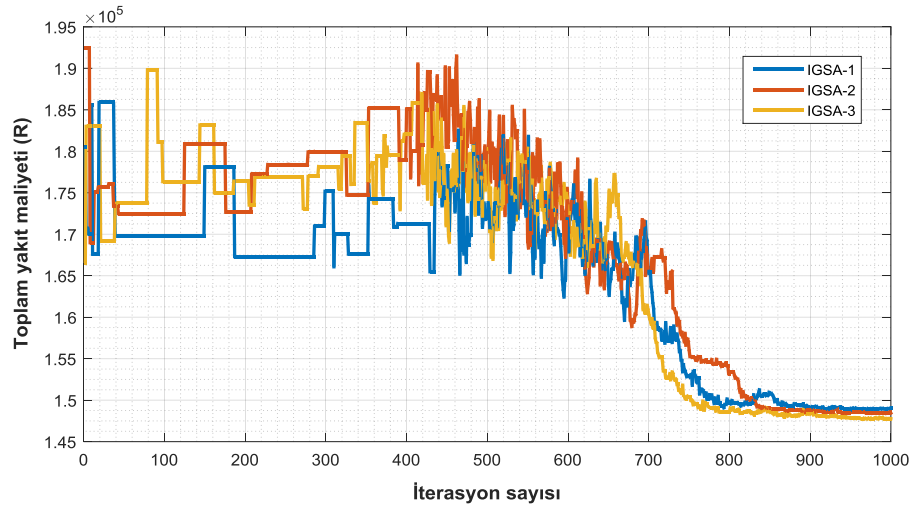
Çizelge 5.83. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30'ar çözümde elde edilen değerler.

	<i>IGSA-1</i>	<i>IGSA-2</i>	<i>IGSA-3</i>
En kötü	172818,994569 (Run: 16)	148434,345241 (Run: 26)	174322,908623 (Run: 18)
Ortalama	156725,017354	153799,326671	155089,718336
En İyi	149001,924411 (Run: 30)	148434,345241 (Run: 26)	147767,749826 (Run: 13)
Standart Sapma	6897,169375	5122,318301	6877,269205
Toplam Süre (s)	17060,224414	16906,522945	16865,700765
Ort. Süre (s)	568,674147	563,550765	562,190025

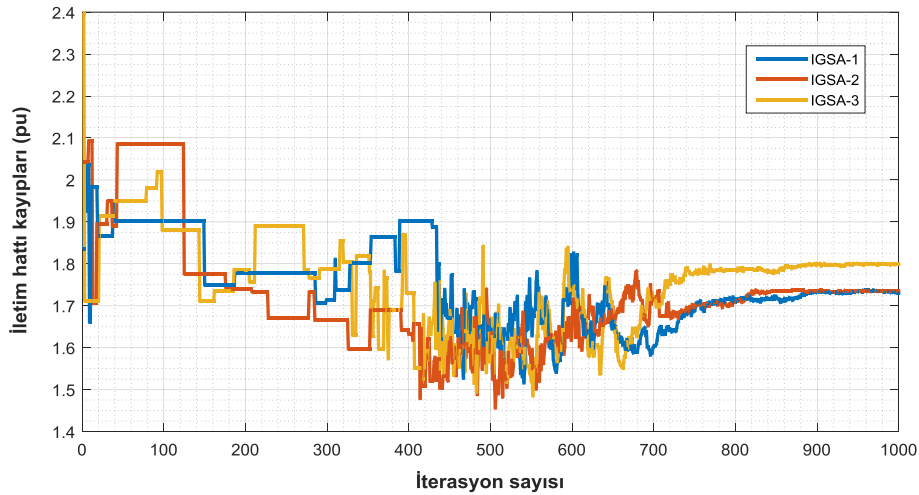
Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen uygunluk fonksiyonunun, toplam yakıt maliyeti değerlerinin ve iletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 5.46, 5.47 ve 5.48'de gösterilmiştir.



Şekil 5.46. Uygunluk fonksiyonunun iterasyonlara göre değişimi.



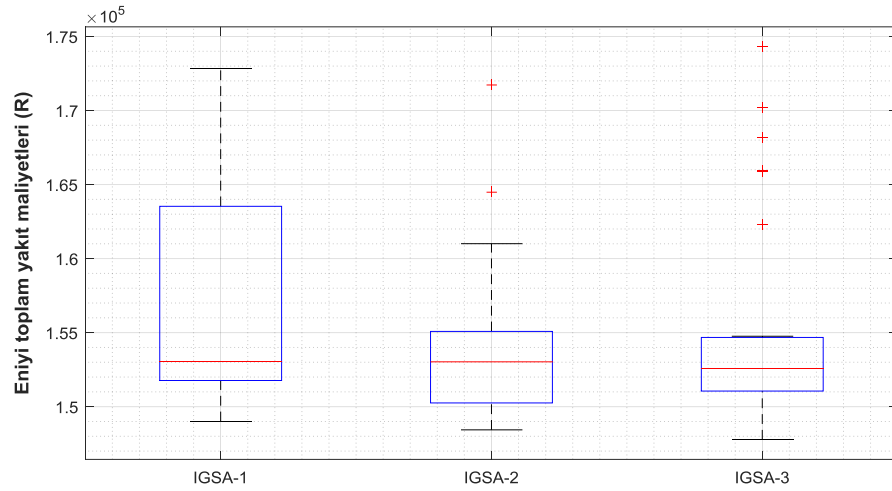
Şekil 5.47. Toplam yakıt maliyeti değerlerinin iterasyonlara göre değişimi.



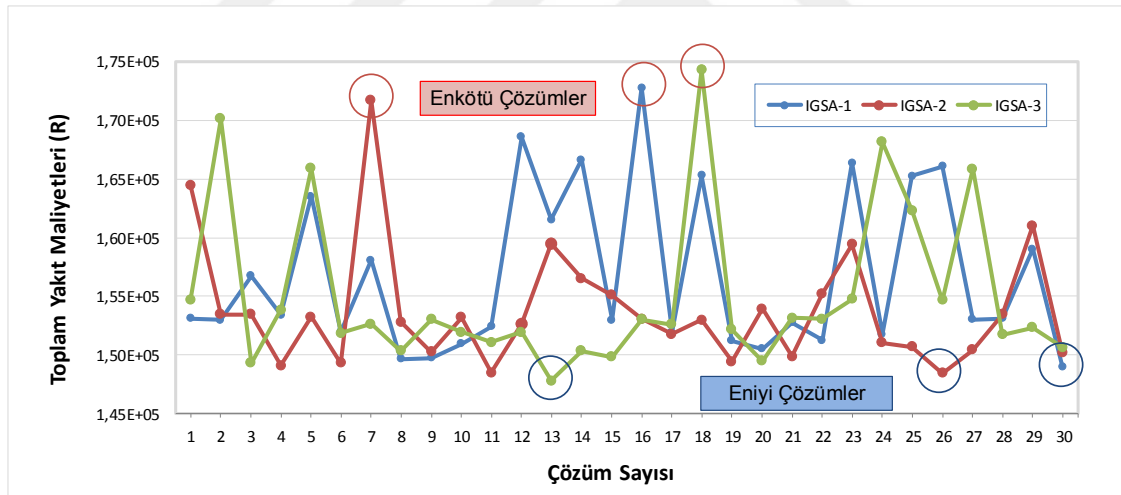
Şekil 5.48. İletim hattı kayıplarının iterasyonlara göre değişimi.

Çözüm 1000 iterasyon sürmesine rağmen en iyi çözüme bakıldığında, Şekil 5.46'daki uygunluk fonksiyonu değeri yaklaşık 580. iterasyondan sonra fazla değişmediği görülmektedir. Şekil 5.47'deki toplam yakıt maliyetleri ve Şekil 5.48'deki iletim hattı kayıpları değerlerinde fazlaca değişiklikler görülmektedir. Şekil 5.47 ve 5.48'den görüldüğü gibi IGSA-3'ün, iletim hattı kayıpları IGSA-1 ve 2'den daha yüksek olmasına rağmen, toplam yakıt maliyeti değeri daha düşüktür.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile 30 kez çözümlerinden elde edilen kutu grafikleri Şekil 5.49'da, bu çözümlerden elde edilen toplam yakıt maliyeti değerleri ise Şekil 5.50'de verilmiştir.



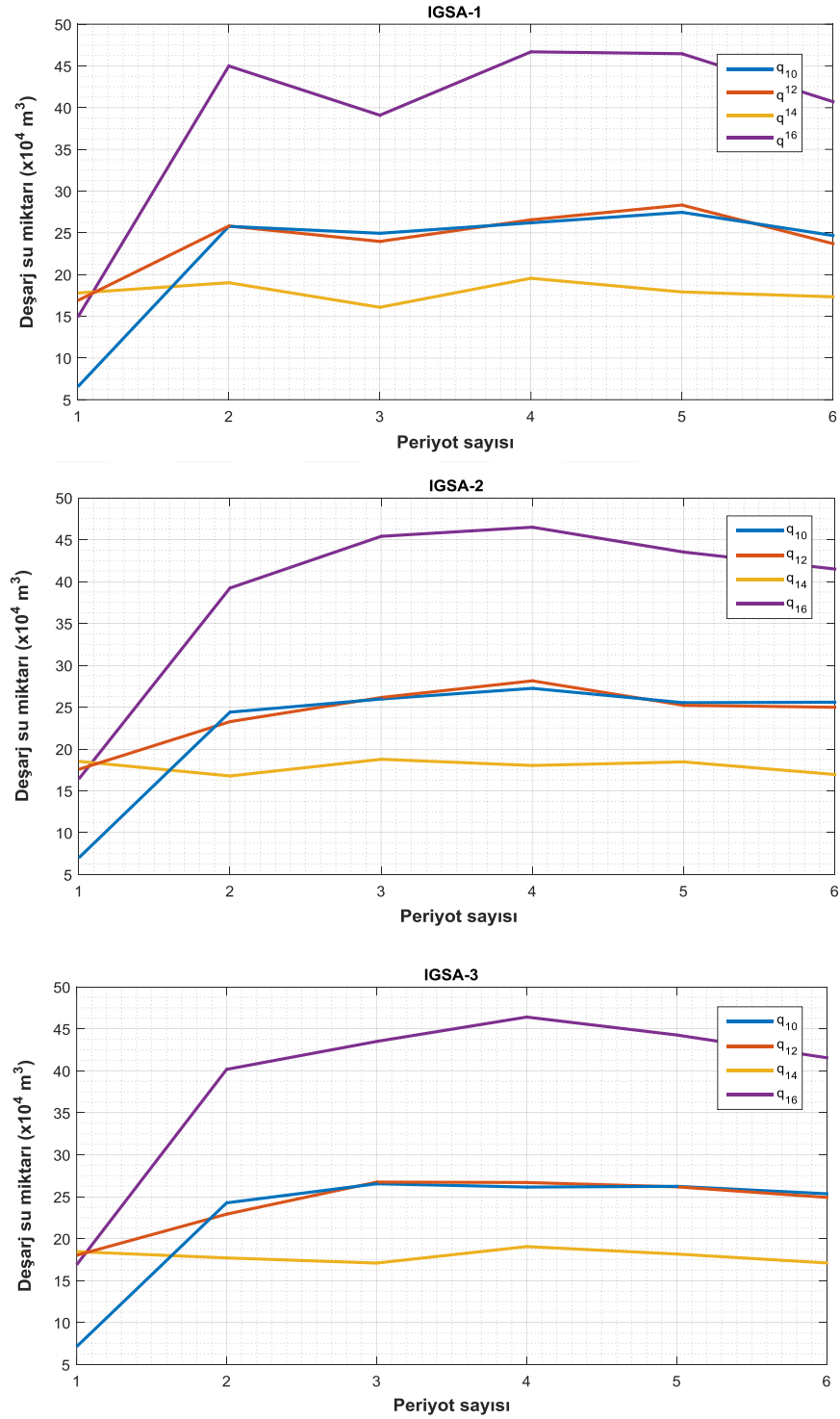
Şekil 5.49. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30’ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerlerinin kutu grafikleri.



Şekil 5.50. IGSA-1, 2 ve 3 ile yapılan 30’ar çözümde elde edilen eniyi toplam yakıt maliyeti değerleri.

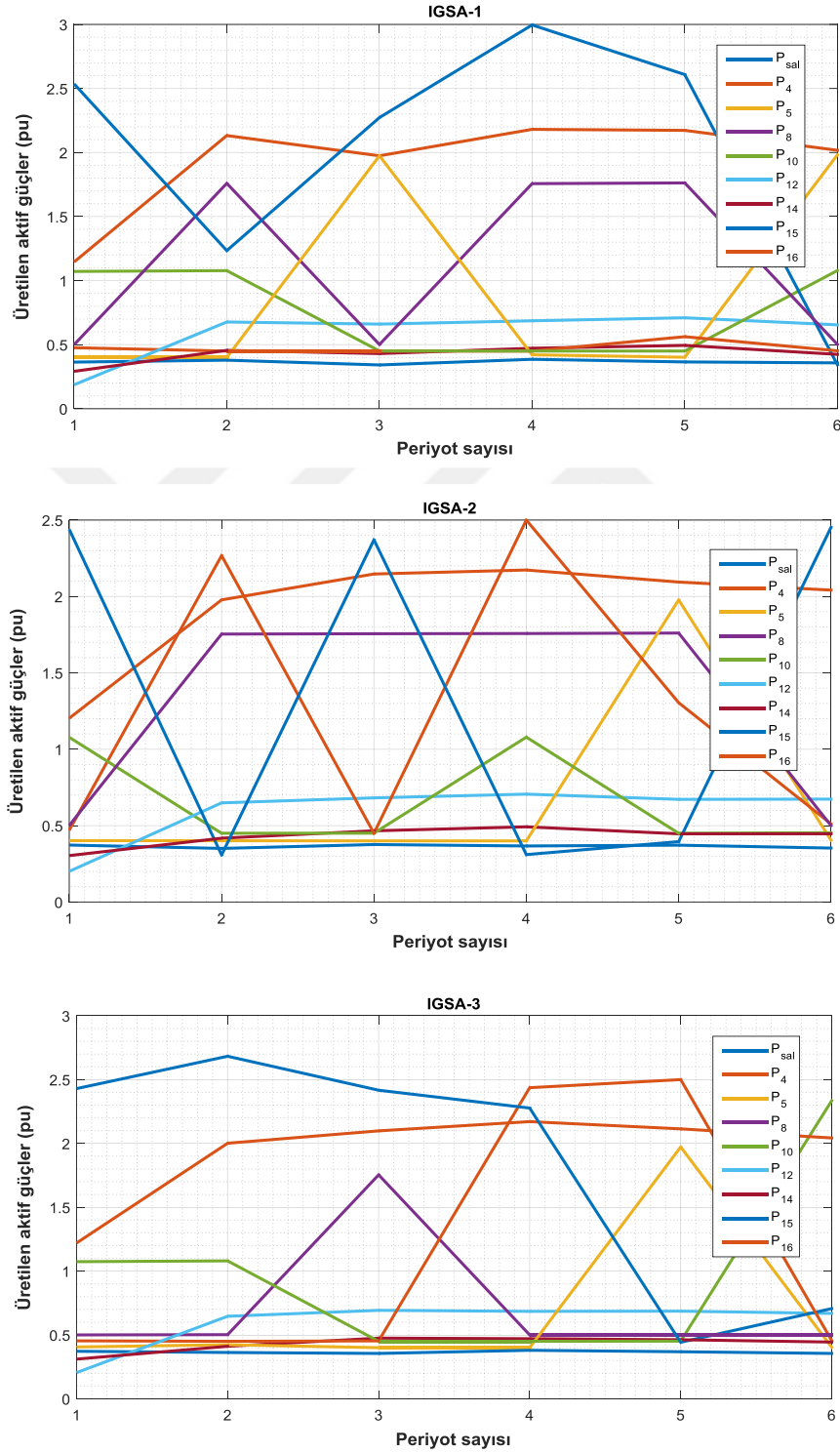
Şekil 5.49’daki 30 çalışmaya ait kutu grafikleri incelendiğinde, IGSA-3’ün 1 ve 2’ye göre daha düşük yakıt maliyeti değerini yakalamasına rağmen beş adet sapan değeri mevcuttur. Şekil 5.50 incelendiğinde, IGSA-1, 2 ve 3 ile 30 kez yapılan çözümlerde, problem için belirlenen kısıtları sağlayan, yaklaşık minimum 148000 ve maksimum 175000 R arasında, 27000 R’lık bir bölgede toplam yakıt maliyeti değerleri elde edildiği görülmüştür.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözümlere ait, hidrolik birimler tarafından harcanan su miktarlarının alt zaman dilimlerine göre değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.51’de verilmiştir.



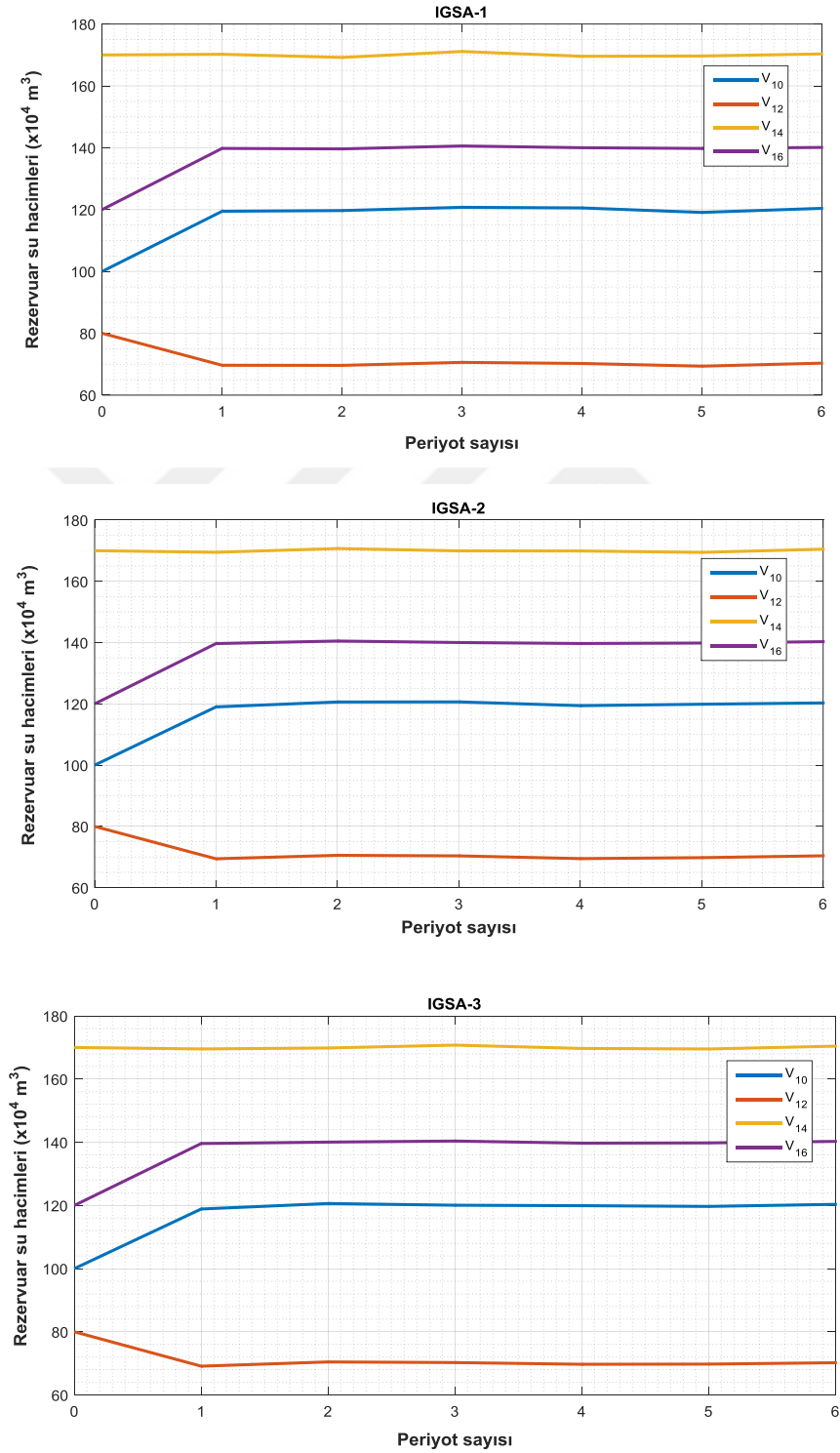
Şekil 5.51. Hidrolik birimlerin her alt zaman dilimindeki deşarj su miktarları.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözümlere ait, üretim birimleri tarafından üretilen aktif güç miktarlarının alt zaman dilimlerine göre değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.52’de verilmiştir.



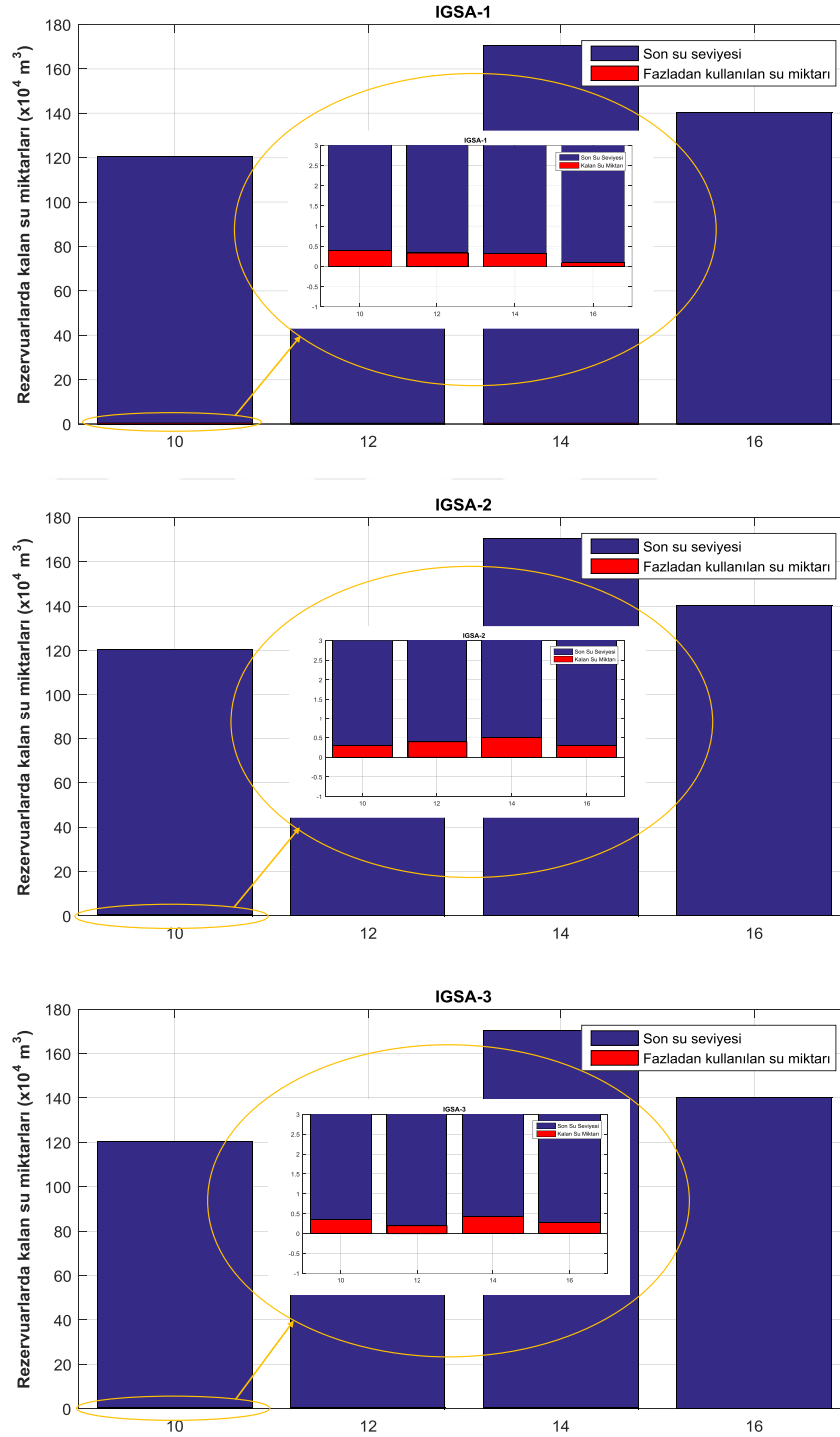
Şekil 5.52. Her alt zaman diliminde üretilen aktif güç değerleri.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözümlere ait, hidrolik birimlerin rezervuarlarındaki su seviyelerinin alt zaman dilimlerine göre değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.53’de verilmiştir.



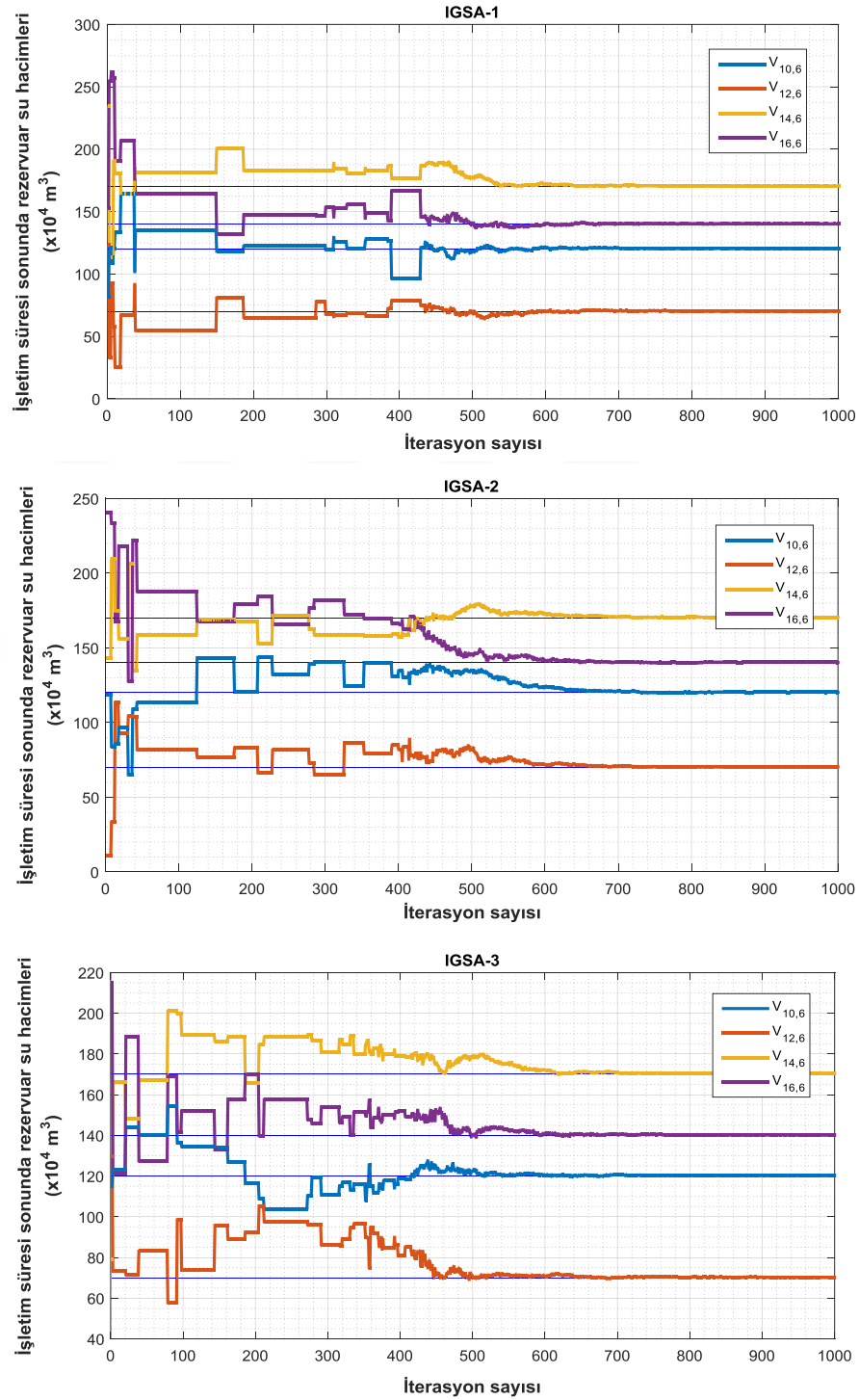
Şekil 5.53. Hidrolik birimlerin rezervuar su hacimlerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözümlere ait, hidrolik üretim birimlerinin rezervuarlarında son alt zaman dilimi sonundaki kalan su miktarlarını gösteren grafikler ise Şekil 5.54'te verilmiştir.



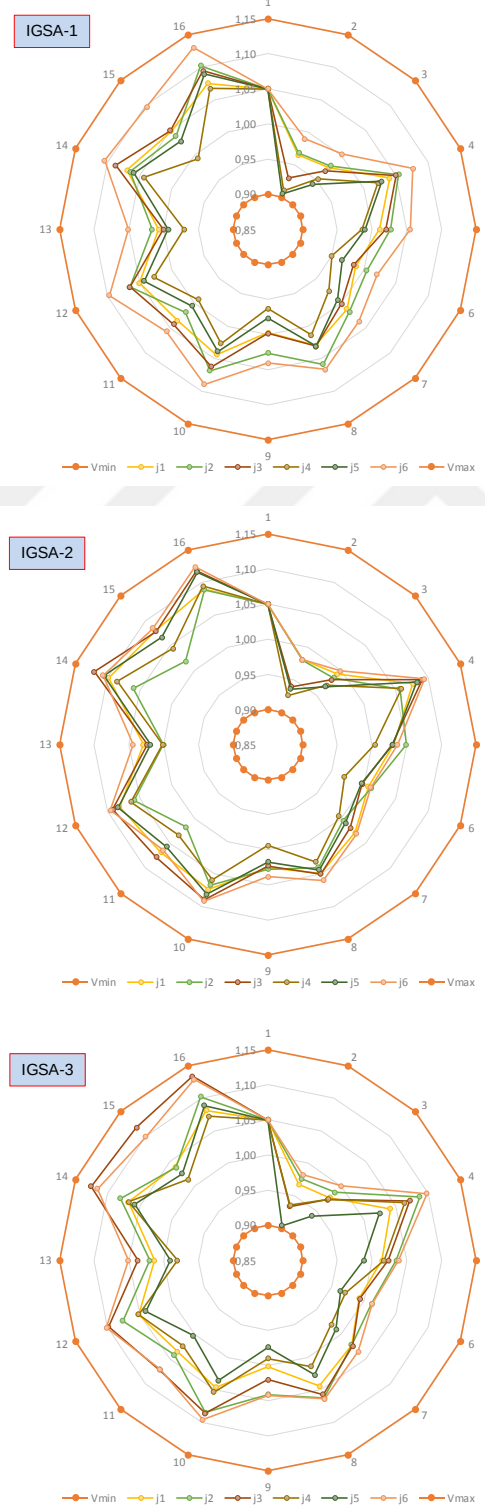
Şekil 5.54. İşletim süresi sonunda hidrolik birimlerin rezervuarlarında kalan su miktarları.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözüme ait, hidrolik birimlerin rezervuarlarında son alt zaman dilimi sonundaki su seviyelerinin iterasyonlara göre değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.55'te verilmiştir.



Şekil 5.55. Hidrolik birimlerin işletim süresi sonu rezervuar su hacimlerinin iterasyonlara göre değişimi.

Örnek sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümünden elde edilen en iyi çözüme ait, sistemdeki bütün baraların gerilim genliklerinin, alt zaman dilimlerine göre değişimlerini gösteren gerilim profili grafikleri ise Şekil 5.56'da verilmiştir.



Şekil 5.56. En iyi çözümlere ait bara gerilim genliklerinin alt zaman dilimlerine göre değişimi.

Şekil 5.51’de verilen deşarj edilen su miktarları grafiklerinde IGSA-1, 2 ve 3 için her alt zaman diliminde farklı miktarlarda su deşarj edilerek üretim yapıldığı görülmektedir. Değişik miktarlarda deşarj edilen su miktarlarına rağmen Şekil 5.52’de verilen üretilen aktif güç grafiklerindeki üretim değerlerinin Çizelge 5.3’te verilen sınır değerler arasında kaldığı görülmüştür. Şekil 5.53’de verilen her alt zaman dilimindeki rezervuar su seviyeleri IGSA-1, 2 ve 3 için Çizelge 5.71’deki rezervuar limitleri arasındadır. Şekil 5.54’de verilen grafik ise IGSA’nın üç yaklaşımında da harcanması gereken su miktarlarının, belirlenen tolerans değerleri arasında harcandığı göstermektedir. Şekil 5.55’te verilen, en iyi çözümlerin elde edildiği çalışmalara ait rezervuar son su seviyeleri ise IGSA-1, 2 ve 3 için, yaklaşık 600. iterasyonda belirlenen tolerans değerleri içinde Çizelge 5.71’deki değerleri sağladığı görülmektedir. Bu iterasyondan sonra çok küçük bazı değişiklikler olmasının nedeni, uygunluk fonksiyonundaki farklı cezalandırma fonksiyonu değerlerinin sağlanmaya çalışılmasıdır. Şekil 5.56’da en iyi çözümlere ait bara gerilim profillerinin bütün alt zaman dilimlerinde IGSA-1, 2 ve 3 için $0,90 pu$ ile $1,15 pu$ arasında olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ

Tezde daha önce üzerinde çalışıldığı, farklı problemlere başarıyla uygulandığı ve kararlı yapıya sahip olduğu için, GSA geliştirilmek üzere seçilmiştir. Seçilen bu sezgisel algoritmaya, performansını ve kararlılığını arttırmak için, bazı ilave yapılar eklenmiştir. Bu amaçla ISL, geliştirme metodu olarak tercih edilmiş ve GSA'ya ilk kez uygulanmıştır. GSA'ya, ISL üç farklı şekilde uygulanmış ve geliştirilen algoritmalara IGSA-1, 2 ve 3 isimleri verilmiştir. IGSA-1'de belli aralıklarla o anki popülasyonda olan en iyi ajandan bir tane daha katılarak ajan sayısı artırılmıştır. IGSA-2'de popülasyona katılacak yeni ajan, o anda popülasyonda yer alan ve rastgele seçilen bir ajanla en iyi ajan arasında belirlenmiştir. IGSA-3'te ise arama uzayı içinde rastgele oluşturulan bir ajan, o an popülasyondaki en iyi ajanla iletişime geçirilerek popülasyona katılmıştır. Geliştirilen bu üç yeni algoritma 23 adet Benchmark test fonksiyonlarına başarıyla uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara ve grafiklere bakarak daha kararlı yapıdaki IGSA çeşidi belirlenmiştir. Belirlenen bu algoritmalar için en uygun parametre değerlerinin bulunması amacıyla çevrimdışı parametre uyarlaması yapılmıştır. IGSA-1 ve 2'de, eklenen ajanlar popülasyondaki mevcut bireylerle belirlenmektedir. Böyle yapılması en iyi sonuca ulaşmada iyi bir tercih gibi görünse de, sözkonusu adımda popülasyona eklenmek üzere seçilen birey ya da en iyi birey yerel minimuma takılmış ise, algoritmanın genel minimumu yakalaması zorlaşacaktır. Tüm test fonksiyonlarında daha fazla sayıda en iyi sonucun elde edildiği IGSA-3 ise, rastgele oluşturulan birey aramaya çeşitlilik katarken, bu bireyin popülasyondaki en iyi bireyle iletişime geçirilmesi, yerel minimumlardan kurtarılmayı kolaylaştırmaktadır. Bu işlem, o adıma kadar popülasyonda elde edilen öğrenmenin aynı zamanda eklenen yeni bireye de aktarılmasını sağlamaktadır. Bu durumun algoritma mantığına en uygun adım olduğu elde edilen sonuçlardan görülmüştür. ISL yapısındaki önemli amaçlardan birisi de popülasyondaki mevcut öğrenmenin yeni bireye aktarılmasıdır. Bu nedenle IGSA-1 ve 2 yaklaşımlarında eklenen ajan, mevcut popülasyondan seçildiğinden öğrenme gerçekleşse de çeşitlilik azalmaktadır. Buna karşılık IGSA-3 yaklaşımında dışarıdan alınan bir bireyin, popülasyondaki en iyi birey ile iletişime geçirilmesi hem çeşitliliği sağlamakta hem de popülasyonda o ana kadar olan öğrenmeyi yeni ajana aktarmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen IGSA-1, 2 ve 3'ün 30 ve sabit boyutlu test fonksiyonlarında GSA'ya göre daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Geliştirilen üç yaklaşımın kendi aralarındaki karşılaştırmasında ise, IGSA-3'ün IGSA-1 ve 2'ye göre uygunluk, kararlılık ve çözüm süresi bakımından daha iyi olduğu görülmüştür. IGSA-1, 2 ve 3'ün avantajlarının yanında araştırmacılar için bazı dezavantajları da olduğu görülmüştür. Bu dezavantajlar başlangıç parametre değerlerinin hesaplama karmaşıklığı ve çözüm süresinin daha uzun olması olarak belirtilebilir.

Geliştirilen IGSA-1, 2 ve 3 algoritmaları doğrusal olmayan, karmaşık, birçok kısıtı barındıran bir optimizasyon problemi olan KDHTKP'ine başarıyla uygulanmıştır. Bu algoritmalarla, yeni belirlenen parametre değerleri ile dört farklı KDHTKP'inin çözümleri yapılmıştır. Bu problemlerden üçü literatürde daha önce farklı metotlarla çözümü aranmış problemlerdir, dördüncü problem ise daha önce deterministik bir metot ile çözülmüş fakat sezgisel algoritmalar ile çözümü bilindiği kadarıyla ilk kez bu çalışmada yapılmıştır.

Çalışmada geliştirilen IGSA-1, 2 ve 3, sabit ve değişken düşülü, konveks ve konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonlarına sahip KDHTKP'lerine başarıyla uygulanmıştır. Çözümü yapılan ilk örnek iletim hattı kayıplı, konveks yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren sabit düşülü KDHTKP'dir. Problemin IGSA-1, 2 ve 3 ile 30 kez çözümünden elde edilen *TYM* ve süre (148527,563642 R, 386,917206 s) değerlerine bakıldığında en iyi değer IGSA-3 ile yakalanmıştır. Elde edilen bu değerler maksimum %0,043345 su son değeri hatasıyla bulunmuştur. Bu su hatası sıfır yapılarak deterministik yöntemlerle (PSPA, Gradyent Yöntemi, F-MSG) karşılaştırılmıştır. Bunun nedeni deterministik metotlarla yapılan çözümlerde su hatasının sıfır olmasıdır. Bulunan en iyi *TYM* değerleri, literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmış, bulunan sonuçların en iyiden (en küçük), en kötüye (en büyük) doğru sıralandığında, sıranın F-MSG, PSPA, Gradyent yöntemi ve IGSA-3 olduğu görülmüştür.

Çözümü yapılan ikinci örnek iletim hattı kayıplı, konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren sabit düşülü KDHTKP'dir. Problemin 30 kez çözümünden IGSA-1, 2 ve 3 ile elde edilen *TYM* değerlerine bakıldığında en iyi değer (164762,279867 R) IGSA-3 ile yakalanmıştır. Fakat süre (415,006642 s) açısından en iyi değeri IGSA-2 yakalamıştır. Elde edilen bu değerler maksimum %0,029022 su son değeri hatasıyla bulunmuştur. Bu problem F-MSG ile çözüldüğünde *TYM* değeri 161079,23 R elde edilmiştir.

Çözümü yapılan üçüncü örnek ise iletim hattı kayıpları ihmal edilen, konveks yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren değişken düşülü KDHTKP'dir. Problemin IGSA-1, 2 ve 3 ile 30 kez çözümünden elde edilen *TYM* değerlerine bakıldığında en iyi değer (927986,731610 R) IGSA-3 ile yakalanmıştır. Fakat süre (167,151882 s) açısından en iyi değeri IGSA-1 yakalamıştır. Elde edilen bu değerler maksimum %0,754584 su son değeri hatasıyla bulunmuştur. Bulunan bu en iyi *TYM* değerleri literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmış ve IGSA-1, 2 ve 3'ün CEP, FEP, IFEP ve GWPSO'dan daha iyi, diğer geri kalan, son zamanlarda literatürde önerilen onüç sezgisel algoritmadan daha kötü *TYM* değerleri yakaladığı görülmüştür.

Çözümü yapılan son örnek için iki farklı örnek sistem çözümü yapılmıştır. İlk örnek daha önce deterministik bir metot ile çözümü yapılmış iletim hattı kayıplı, konveks olmayan yakıt

maliyet fonksiyonuna sahip termik birimler içeren değişken düşülü KDHTKP'dir. Sistemin IGSA-1, 2 ve 3 ile 30 kez yapılan çözümlerinde elde edilen eniyi *TYM* (157750,982813 *R*) IGSA-3 ile ve eniyi süre (437,299363 s) IGSA-1 ile yakalanmıştır. Elde edilen bu değerler maksimum %1,035812 su son değeri hatasıyla bulunmuştur. Elde edilen çözüme ait su hatası sıfır yapılarak, deterministik bir yöntemle (*F-MSG*) karşılaştırılmıştır. Bunun nedeni deterministik metotla yapılan çözümlerde su hatasının sıfır olmasıdır. Bulunan en iyi *TYM* değerleri, literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmış deterministik metodun burada verilen *TYM* değerinden 4882,3 *R* daha az bir *TYM* verdiği görülmüştür. İkinci örnek ise daha önce literatürde sezgisel algoritmalar ile çözümüne rastlanmayan ve bu çalışma için tasarlanan iletim hattı kayıplı, konveks olmayan yakıt maliyet fonksiyonuna sahip termik birim içeren değişken düşülü KDHTKP'dir. Problemin IGSA-1, 2 ve 3 ile 30 kez çözümünden elde edilen *TYM* (147767,75 *R*) ve süre (423,147760 s) açısından bakıldığında en iyi değer IGSA-3 ile yakalanmıştır. Elde edilen bu değerler maksimum %0,577 su son değeri hatasıyla bulunmuştur.

	Konveks, sabit düşülü KDHTKP	Konveks olmayan, sabit düşülü KDHTKP	Konveks olmayan, değişken düşülü KDHTKP
Süre:	386,91 s	415,00 s	448,12 s (durum-1) 562,19 s (durum-2)

Yukarıda verilen süreler en küçük *TYM*'ni veren çözümlere ait çözüm süreleridir. KDHTKP'de kullanılan enerji sistemleri aynıdır. Bu yüzden çözüm sürelerini karşılaştırmak anlamlı olacaktır. Tablodan görüleceği üzere çözülen KDHTKP'nin karmaşıklığı arttıkça çözüm süreside buna paralel olarak artmaktadır. Problem konveks yerine konveks olmayan yapıldığında süre %7 artmakta, buna mukabil problem hem konveks olmayan ve hem de değişken düşülü alındığında ise süreler %16 (durum-1) ve %45 (durum-2) artmaktadır.

Bu çalışmada kazanılan tecrübe ve bilgi birikimi kullanılarak, ileriki yıllarda akademisyenler tarafından yapılacak çalışmalara ışık tutması bakımından bazı önerilerde bulunulmuştur. Bunlardan ilki ISL için literatürde uygulaması bulunmayan farklı sezgisel algoritmalarla uygulanması olarak belirtilebilir. İkinci olarak bu çalışmada kullanılan üç yaklaşımdan farklı olarak ISL için farklı yaklaşımlar geliştirilebilir. Üçüncüsü geliştirilen algoritmalar tezde çözümü yapılan KDHTKP'lerinden farklı olarak pompayla doldurulmalı hidrolik birim içeren KDHTKP'lerine, ekonomik ve çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine de

uygulanabilir. Dördüncüsü tezdeki örnek KDHTKP'lerin IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümleri yapılırken ihmal edilen yasak işletim bölgesi kısıtları, emre amade güç kısıtı gibi yeni kısıtlar probleme eklenebilir. Eğer probleme hat taşıma kapasite kısıtları, bara gerilim genlik kısıtları ve reaktif güç optimizasyonu da katılarak çözüm aranırsa uygunluk fonksiyonunun çözümü daha da zorlaşacaktır. Bu durumda çözüm süresi artacaktır. Bu tür bir problemin çözümü için daha kararlı yapıda algoritmalar geliştirilmelidir. Son olarak tezde önerilen IGSA'nın hem yakınsamasını hem de hızını iyileştirmek üzere ileri çalışmalar yapılabilir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abedinpourshotorban, H., Shamsuddin, S.M., Beheshti, Z., ve Jawawi, D.N.A. (2016). Electromagnetic field optimization: A physics-inspired metaheuristic optimization algorithm. *Swarm and Evolutionary Computation*, 26, 8-22.
- Afşar, B. (2014). Metasezgisel algoritmalarda çevrimiçi ayarlama ile uyarlanabilir parametre kontrolü, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 139s.
- Afşar, B., Aydın, D., Uğur, A., ve Korukoğlu, S. (2017). Self-adaptive and adaptive parameter control in improved artificial bee colony algorithm. *Informatica*, 28(3), 415-438.
- Amjady, N., Soleymanpour, H.R. (2010). Daily hydrothermal generation scheduling by a new modified adaptive particle swarm optimization technique. *Electric Power Systems Research*, 80, 723-732.
- Askarzadeh, A. (2016). A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: Crow search algorithm. *Computers and Structures*, 169, 1-12.
- Aydın, D., Liao, T., Montes de Oca, M., ve Stützle, T. (2011). Improving performance via population growth and local search: The case of the artificial bee colony algorithm. *Proceedings of Artificial Evolutionary (EA'11)*, 131-142.
- Barisal, A.K., Pusty, R.C., Suna, K., ve Panigrahi, T.K. (2017). Double teaching optimization for short term hydro thermal scheduling problem. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 9(2), 322-336.
- Basu, M. (2003). Hopfield neural networks for optimal scheduling of fixed head hydrothermal power systems. *Electric Power Systems Research*, 64, 11-15.
- Basu, M., (2004a), An interactive fuzzy satisfying method based on evolutionary programming technique for multiobjective short-term hydrothermal scheduling. *Electric Power Systems Research*, 69, 277-285.
- Basu, M. (2004b). Goal-attainment method based on simulated annealing technique for economic-environmental-dispatch of hydrothermal power systems with cascaded reservoirs. *Electric Power Components Systems*, 32, 1269-1286.
- Basu, M. (2005). A simulated annealing-based goal-attainment method for economic emission load dispatch of fixed head hydrothermal power systems. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 27, 147-153.
- Basu, M. (2010). Economic environmental dispatch of hydrothermal power system. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 32, 711-720.
- Basu, M. (2011a). Artificial immune system for fixed head hydrothermal power system. *Energy*, 36(1), 606-612.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Basu, M. (2011b). Economic environmental dispatch of fixed head hydrothermal power systems using nondominated sorting genetic algorithm-II. *Applied Soft Computing*, 11, 3046-3055.
- Basu, M. (2014). Improved differential evolution for short-term hydrothermal scheduling. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 58, 91-100.
- Birbil, S.İ., Fang, S.C. (2003). An electromagnetism-like mechanism for global optimization. *Journal of global Optimization*, 25, 263-282.
- Calderon, L.R., Galiana, F.D. (1987). Continuous solution simulation in the short term hydrothermal coordination problem. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2(3), 737-743.
- Catalao, J.P.S., Pousinho, H.M.I., ve Mendes, V.M.F. (2010a). Scheduling of head-dependent cascaded hydro systems: Mixed-integer quadratic programming approach. *Energy Conversion and Management*, 51, 524-530.
- Catalao, J.P.S., Pousinho, H.M.I., ve Mendes, V.M.F. (2010b). Mixed-integer nonlinear approach for the optimal scheduling of a head-dependent hydro chain. *Electric Power Systems Research*, 80, 935-942.
- Chatterjee, A., Ghoshal, S.P., ve Mukherjee, V. (2012). A maiden application of gravitational search algorithm with wavelet mutation for the solution of economic load dispatch problems. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 4(1), 33-46.
- Cheng, M.Y., Prayogo, D. (2014). Symbiotic organisms search: A new metaheuristic optimization algorithm. *Computers and Structures*, 139, 98-112.
- Chiang, C.L. (2007a). Efficient trade-off algorithm for hydrothermal power systems. *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, Singapore, 2325-2330.
- Chiang, C.L. (2007b). Optimal economic emission dispatch of hydrothermal power system. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 29, 462-469.
- Chu, S.C., Tsai, P., ve Pan, J.S. (2006). Cat swarm optimization. In: Yang Q., Webb G. (eds) *PRICAI 2006: Trends in Artificial Intelligence*. *PRICAI 2006. Lecture Notes in Computer Science*, 4099. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Cuevas, E., Gonzales, A., Zaldivar, D., ve Cisneros, M.P. (2015). An optimization algorithm based on the behaviour of locust swarms. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 7(6), 402-407.
- Das, S., Bhattacharya, A., ve Chakraborty, A.K. (2018). Quasi-reflected ions optimization algorithm for short-term hydrothermal scheduling. *Neural Computing and Applications*, 29, 123-149.
- Das, S., Biswas, A., Dasgupta, S., ve Abraham, A. (2009). Bacterial foraging optimization algorithm: Theoretical foundations, analysis, and applications. *Foundations of Computational Intelligence*, 3, Global Optimization, 23-55.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- De Castro, L., Timmis, J. (2001). Artificial immune systems: A new computational intelligence approach. *Journal of Computer Science*, 3(4), 204-211.
- Dieu, V.N., Ongsakul, W. (2005). Hopfield lagrange for short-term hydrothermal scheduling. 2005 IEEE Russia Power Technology, St. Petersburg, 1-7.
- Doğan, B., Ölmez, T. (2015). A new metaheuristic for numerical function optimization: Vortex search algorithm. *Information Sciences*, 293, 125-145.
- Dorigo, M., Di Caro, G. (1999). The Ant Colony Optimization Meta-heuristic, *New Ideas in Optimization*, McGraw-Hill Ltd., UK, Maidenhead, UK, England, 11-32.
- Dorigo, M., Socha, K. (2007). An Introduction to Ant Colony Optimization. *Approximation Algorithms and Metaheuristics*, CRC Press.
- Dorigo, M., Stützle, T. (2003). The Ant Colony Optimization Metaheuristic: Algorithms, Applications, and Advances. Glover F., Kochenberger G.A. (eds), *Handbook of Metaheuristics*, International Series in Operations Research & Management Science, 57, Springer, Boston, MA.
- Dowlatshahi, M.B., Nezamabadi-pour, H., ve Mashinchi, M. (2014). A discrete gravitational search algorithm for solving combinatorial optimization problems. *Information Sciences*, 258, 94-107.
- Durmuş, B., Özyön, S., ve Temurtaş, H. (2016). Gravitational search algorithm with chaotic map (GSA-CM) for solving optimization problems. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5(2), 204-212.
- Eita, M.A., Fahmy, M.M. (2014). Group counseling optimization, *Applied Soft Computing*, 22, 585-604.
- El-Hawary, M.E., Christensen, G.S. (1979). *Optimal Economic Operation of Electric Power Systems*, Academic Press, 278.
- El-Hawary, M.E., Ravindranath, K.M. (1988). Effects of hydro models on optimal operation of variable head hydro-thermal systems. *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13(3-4), 112-119.
- El-Hawary, M.E., Ravindranath, K.M. (1992). Hydro-thermal power flow scheduling accounting for head variations. *IEEE Transactions on Power Systems*, 7(3), 1232-1238.
- Ergün, U. (1999). Genetik algoritmanın bazı güç dağıtım problemlerine uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon, 63s.
- Erkmen, İ., Karataş, B. (1994). Short term hydrothermal coordination by using multi-pass dynamic programming with successive approximation. *Proceedings of the 7th Mediterranean Electrotechnical Conference-MELECON. Part-3, Antalya, TURKEY, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 94CH3386-6*, 925-928.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Erol, O.K., Eksin, I. (2006). A new optimization method: Big bang–Big crunch. *Advances in Engineering Software*, 37(2), 106-111.
- Eusuff, M.M., Lansey, K., ve Pasha, F. (2006). Shuffled frog-leaping algorithm: a memetic meta-heuristic for discrete optimization. *Engineering Optimization*, 38(2), 129-154.
- Fadıl, S., Ergün, U. (1999). Solution to lossy short term hydrothermal coordination problem with limited energy supply units by using genetic algorithm, 1th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO'99), Electric Control Proceeding, 234-238, Bursa, TÜRKİYE.
- Fadıl, S., Urazel, B. (2013). Solution to security-constrained non-convex pumped-storage hydraulic unit scheduling problem by modified subgradient algorithm based on feasible values and pseudo water price. *Electric Power Components and Systems*, 41, 111-135.
- Fadıl, S., Urazel, B. (2015), Solution to short term hydrothermal scheduling problem by modified subgradient algorithm based on feasible values. 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO'05), 505-509, Bursa, TÜRKİYE.
- Fadıl, S., Yaşar, C. (1997). Bir bölgeyi enterkonnekte sistemlerde kısa dönem hidrotermal koordinasyon problemini çözmek için önerilen puseydo su fiyatı ve spot elektrik fiyatını kullanan bir aktif güç dağıtım tekniği. *Elektrik-Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 7. Ulusal Kongresi*, 536-539, Ankara, TÜRKİYE.
- Fadıl, S., Yaşar, C. (2001). A pseudo spot price algorithm applied to short term hydrothermal scheduling problem. *Electric Power Components and Systems*, 29(11), 977-995.
- Fadıl, S., Yaşar, C. (2000). A pseudo spot price algorithm applied to the pumped-storage hydraulic unit scheduling problem. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 8(2), 93-109.
- Fang, N., Zhou, J., Zhang, R., Liu, Y., ve Zhang, Y. (2014). A hybrid of real coded genetic algorithm and artificial fish swarm algorithm for short-term optimal hydrothermal scheduling. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 62, 617-629.
- Farhat, I.A., El-Hawary, M.E. (2009). Optimization methods applied for solving the short-term hydrothermal coordination problem. *Electric Power Systems Research*, 79, 1308-1320.
- Farhat, I.A., El-Hawary, M.E. (2010). Fixed-head hydro-thermal scheduling using a modified bacterial foraging algorithm. 2010 IEEE Electrical Power and Energy Conference, Halifax, NS, 1-6.
- Farhat, I.A., El-Hawary, M.E. (2011). Scheduling of variable-head hydro-thermal generation using an enhanced bacterial foraging algorithm. 2011 24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), Niagara Falls, ON, 436-441.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Feng, Z.K., Niu, W.J., Zhou, J.Z., Cheng, C.T., Qin, H., ve Jiang, Z.Q. (2017). Parallel multi-objective genetic algorithm for short-term economic environmental hydrothermal scheduling. *Energies*, 10(163), 1-22.
- Formato, R.A. (2007). Central force optimization: A new metaheuristic with applications in applied electromagnetics. *Progress in Electromagnetics Research (PIER)*, 77, 425-491.
- Gandomi, A.H., Alavi, A.H. (2012). Krill herd: A new bio-inspired optimization algorithm. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 17, 4831-4845.
- García, S., Molina, D., Lozano, M., ve Herrera, F. (2009). A study on the use of non-parametric tests for analyzing the evolutionary algorithms' behaviour: a case study on the CEC'2005 special session on real parameter optimization. *Journal of Heuristics*, 15, 617-644.
- Geem, Z.W., Kim, J.H., ve Loganathan, G.V. (2001). A new heuristic optimization algorithm: Harmony search. *Simulation*, 76, 60-68.
- Ghorbani, N., Babaei, E. (2014). Exchange market algorithm. *Applied Soft Computing*, 19, 177-187.
- Glover, F. (1986). Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers and Operations Research*, 13, 533-549.
- Goel, L., Singhal, S., Mishra, S., ve Mohanty, S. (2016). Hybridization of gravitational search algorithm and biogeography based optimization and its application on grid scheduling problem. 2016 Ninth International Conference on Contemporary Computing (IC3), Noida, 1-6.
- Goldberg, D.E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Gonzales, J.G., Castro, G.A. (2001). Short-term hydro scheduling with cascaded and head-dependent reservoirs based on mixed-integer linear programming. *IEEE Porto Power Technology Conference (PPT2001)*, 1-8.
- Gouthamkumar, N., Sharma, V., ve Naresh, R. (2015). Disruption based gravitational search algorithm for short term hydrothermal scheduling. *Expert Systems with Applications*, 42, 7000-7011.
- Guan, X., Ni, E., Li, R., ve Luh, P. (1997). An optimization-based algorithm for scheduling hydrothermal power systems with cascaded reservoirs and discrete hydro constraints. *IEEE Transactions on Power Systems*, 12(4), 1775-1780.
- Gupta, R., Chowdhury, N., ve Billinton, R. (1996). Economic impact of nonutility generation on hydrothermal systems with variable head hydro units. *Proceedings of 1996 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Calgary, Alta, 1, 404-407.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hatamlou, A. (2013). Black hole: A new heuristic optimization approach for data clustering. *Information Sciences*, 222, 175-184.
- He, S., Wu, Q.H., ve Saunders, J.R. (2006). A novel group search optimizer inspired by animal behavioural ecology. *IEEE Congress on Conference: Evolutionary Computation (CEC 2006)*, Vancouver, BC, 1272-1278.
- He, S., Wu, Q.H., ve Saunders, J.R. (2009). Group search optimizer: An optimization algorithm inspired by animal searching behavior. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13(5), 973-990.
- Hooke, R., Jeeves, T.A. (1961). 'Direct search' solution of numerical and statistical problems. *Journal Association for Computing Machinery (ACM)*, 8 (2), 212-229.
- Hoseynpour, O., Mohammadi-ivatloo, B., Nazari-Heris, M., ve Asadi, S. (2017). Application of dynamic non-linear programming technique to non-convex short-term hydrothermal scheduling problem. *Energies*, 10, 1-17.
- Hota, P.K., Barisal, A.K., ve Chakrabarti, R. (2009). An improved PSO technique for short-term optimal hydrothermal scheduling. *Electric Power Systems Research*, 79, 1047-1053.
- Jaddi, N.S., Alvankarian, J., ve Abdullah, S. (2017). Kidney-inspired algorithm for optimization problems. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 42, 358-369.
- Jaderyan, M., Khotanlou, H. (2016). Virulence optimization algorithm. *Applied Soft Computing*, 43, 596-618.
- Jadoun, V.K., Gupta, N, Niazi, K.R., ve Swarnkar, A. (2015). Enhanced particle swarm optimization for short-term non-convex economic scheduling of hydrothermal energy systems. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 10(5), 1940-1949.
- Jiang, Q., Wang, L., Hei, X., Fei, R., Yang, D., Zou, F., Li, H., Cao, Z., ve Lin, Y. (2014). Optimal approximation of stable linear systems with a novel and efficient optimization algorithm. *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2014)*, Beijing, 840-844.
- Karaboğa D. (2011). *Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları*, Nobel Yayın Dağıtım, 2. Baskı.
- Karaboğa, D., Baştürk, B. (2007). A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. *Journal of Global Optimization*, 39, 459-471.
- Kashan, A.H. (2014). League championship algorithm (LCA): An algorithm for global optimization inspired by sport championships. *Applied Soft Computing*, 16, 171-200.
- Kashan, A.H. (2015a). A new metaheuristic for optimization: Optics inspired optimization (OIO). *Computers and Operations Research*, 55, 99-125.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kashan, A.H. (2015b). An effective algorithm for constrained optimization based on optics inspired optimization (OIO). *Computer-Aided Design*, 63, 52-71.
- Kaveh, A., Bakhshpoori, T. (2016). Water evaporation optimization: A novel physically inspired optimization algorithm. *Computers and Structures*, 167, 69-85.
- Kaveh, A., Dadras, A. (2017). A novel meta-heuristic optimization algorithm: Thermal Exchange optimization. *Advances in Engineering Software*, 110, 69-84.
- Kaveh, A., Mahdavi, V.R. (2014). Colliding bodies optimization: A novel meta-heuristic method, *Computers and Structures*, 139, 18-27.
- Kaveh, A., Talatahari, S. (2010). A novel heuristic optimization method: charged system search. *Acta Mechanica*, 213, 267-289.
- Kennedy, J., Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, 4, 1942-1948.
- Khatibinia, M., Khosravi, Sh. (2014). A hybrid approach based on an improved gravitational search algorithm and orthogonal crossover for optimal shape design of concrete gravity dams. *Applied Soft Computing*, 16, 223-233.
- Kiran, M.S. (2015). TSA: Tree-seed algorithm for continuous optimization. *Expert Systems with Applications*, 42, 6686-6698.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., ve Vecchi, M.P. (1983). Optimisation by simulated annealing. *Science*, 220, 671-680.
- Koç, E., Şenel, M.C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu - Genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54 (639), 32-44.
- Kothari D.P., Dhillon J.S. (2007). *Power System Optimization*, PHI Learning Private Limited.
- Kumar, S., Naresh, R. (2007). Efficient real coded genetic algorithm to solve the nonconvex hydrothermal scheduling problem. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 29, 738-747.
- Kumar, V.S., Mohan, M.R. (2011). A genetic algorithm solution to the optimal short-term hydrothermal scheduling. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 33, 827-835.
- Labbi, Y., Attous, D.B., Gabbar, H.A., Mahdad, B., ve Zidan, A. (2016) A new rooted-tree optimization algorithm for economic dispatch with valve-point effect. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 79, 298-311.
- Lakshminarasimman, L., Subramanian, S. (2008). A modified hybrid differential evolution for short-term scheduling of hydrothermal power systems with cascaded reservoirs. *Energy Conversion and Management*, 49, 2513-2521.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lam, A.Y.S., Li, V.O.K. (2010). Chemical reaction-inspired metaheuristic for optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 14(3), 381-399.
- Li, C., An, X., ve Li, R. (2015). A chaos embedded GSA-SVM hybrid system for classification. *Neural Computing and Application*, 26, 713-721.
- Li, C., Zhou, J. (2011). Parameters identification of hydraulic turbine governing system using improved gravitational search algorithm. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 374-381.
- Li, C., Zhou, J., ve Xiao, H. (2012). Parameters identification of chaotic by chaotic gravitational search algorithm. *Chaos, Solitons and Fractals*, 45, 539-547.
- Li, M.D., Zhao, H., Weng, W.X., ve Han, T. (2016). A novel nature-inspired algorithm for optimization: Virus colony search. *Advances in Engineering Software*, 92, 65-88.
- Li, X., Zhang, J., ve Yin, M. (2014). Animal migration optimization: an optimization algorithm inspired by animal migration behavior. *Neural Computing and Application*, 24, 1867-1877.
- Liao, T., Montes de Oca, M.A., Aydın, D., Stützle, T., ve Dorigo, M. (2011). An incremental ant colony algorithm with local search for continuous optimization problems. *Proceeding of Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO'11)*, 125-132.
- Liu, S., Wang, J. (2009). An improved self-adaptive particle swarm optimization approach for short-term scheduling of hydro system. *2009 International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*, 334-338.
- Lu, S., Sun, C (2011). Quadratic approximation based differential evolution with valuable trade off approach for bi-objective short-term hydrothermal scheduling. *Expert Systems with Applications*, 38, 13950-13960.
- Lu, Y., Zhou, J., Qin, H., Wang, Y., ve Zhang, Y. (2010). An adaptive chaotic differential evolution for the short-term hydrothermal generation scheduling problem. *Energy Conversion and Management*, 51, 1481-1490.
- Lu, Y., Zhou, J., Qin, H., Wang, Y., ve Zhang, Y. (2011). A hybrid multi-objective cultural algorithm for short-term environmental/economic hydrothermal scheduling. *Energy Conversion and Management*, 52, 2121-2134.
- Mahmoud, M., Dutton, K., ve Denman, M. (2004). Dynamical modelling and simulation of a cascaded reservoirs hydropower plant. *Electric Power Systems Research*, 70, 129-139.
- Malik, T.N., Zafar, S., ve Haroon, S. (2016). Short-term economic emission power scheduling of hydrothermal systems using improved chaotic hybrid differential evolution. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 24, 2654-2670.
- Mallick, S., Ghoshal, S.P., Acharjee, P., ve Thakur, S.S. (2013). Optimal static state estimation using improved particle swarm optimization and gravitational search algorithm. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 52, 254-265.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mandal, K.K., Chakraborty N. (2008). Differential evolution technique-based short-term economic generation scheduling of hydrothermal systems. *Electric Power Systems Research*, 78, 1972-1979.
- Mariano, S.J.P.S., Catalao, J.P.S., Mendes, V.M.F., ve Ferreira, L.A.F.M., (2008), Optimising power generation efficiency for head-sensitive cascaded reservoirs in a competitive electricity market. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 30, 125-133.
- Meng, A.B., Chen, Y.C., Yin, H., ve Chen, S.Z. (2014). Crisscross optimization algorithm and its application. *Knowledge-Based Systems*, 67, 218-229.
- Mirjalili, S. (2015a). Moth-flame optimization algorithm: A novel nature-inspired heuristic paradigm. *Knowledge-Based Systems*, 89, 228-249.
- Mirjalili, S. (2015b). The Ant Lion Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 83, 80-98.
- Mirjalili, S. (2016a). Dragonfly algorithm: a new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective, discrete, and multi-objective problems. *Neural Computing and Application*, 27(4), 1053-1073.
- Mirjalili, S. (2016b). SCA: A sine cosine algorithm for solving optimization problems. *Knowledge-Based Systems*, 96, 120-133.
- Mirjalili, S., Gandomi, A.H., (2017a), Chaotic gravitational constants for the gravitational search algorithm, *Applied Soft Computing*, 53, 407-419.
- Mirjalili, S., Gandomi, A.H., Mirjalili, S.Z., Saremi, S., Faris, H., ve Mirjalili, S.M. (2017b). Salp swarm algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems. *Advances in Engineering Software*, 114, 163-191.
- Mirjalili, S., Lewis, A. (2014a). Adaptive gbest-guided gravitational search algorithm. *Neural Computing and Application*, 25, 1569-1584.
- Mirjalili, S., Lewis, A. (2016c). The whale optimization algorithm. *Advances in Engineering Software*, 95, 51-67.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S.M., ve Hatamlou, A. (2016d). Multi-verse optimizer: A nature -inspired algorithm for global optimization. *Neural Computing and Applications*, 27, 495-513.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S.M., ve Lewis, A. (2014b). Grey wolf optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46-61.
- Montes de Oca, M.A., Stützle, T. (2008). Towards incremental social learning in optimization and multiagent systems. *ECoMASS Workshop of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO'08)*, 1939-1944, ACM Press, New York.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Montes de Oca, M.A., Stützle, T., Van den Enden, K., ve Dorigo, M. (2011b). Incremental social learning in particle swarms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part B: Cybernetics*, 41(2), 368-384.
- Murray, J.J., Chadwick, J.C., Lendaris, G.G., ve Saeks, R. (2002). Adaptive dynamic programming. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part C: Applications and Reviews*, 32, 140-153.
- Muthiah-Nakarajan, V., Noel, M.M. (2016). Galactic swarm optimization: A new global optimization metaheuristic inspired by galactic motion. *Applied Soft Computing*, 38, 771-787.
- Narang, N., Dhillon, J.S., ve Kothari, D.P. (2014a). Weight pattern evaluation for multiobjective hydrothermal generation scheduling using hybrid search technique. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 62, 665-678.
- Narang, N., Dhillon, J.S., ve Kothari, D.P. (2014b). Scheduling short-term hydrothermal generation using predator prey optimization technique. *Applied Soft Computing*, 21, 298-308.
- Naresh, R., Sharma, J. (1999). Two-phase neural network based solution technique for short term hydrothermal scheduling. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 146 (6), 657-663.
- Nazari-Heris, M., Babaei, A.F., Mohammadi-Ivatloo, B., ve Asadi, S. (2018). Improved harmony search algorithm for the solution of non-linear non-convex short-term hydrothermal scheduling. *Energy*, 151, 226-237.
- Nematollahi, A.F., Rahiminejad, A., ve Vahidi, B. (2017). A novel physical based meta-heuristic optimization method known as lightning attachment procedure optimization. *Applied Soft Computing*, 59, 596-621.
- Nguyen, T.T., Vo, D.N. (2014a). Multi-objective short-term fixed head hydrothermal scheduling using augmented lagrange hopfield network. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 9(6), 1882-1890.
- Nguyen, T.T., Vo, D.N. (2015). Modified cuckoo search algorithm for short-term hydrothermal scheduling. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 65, 271-81.
- Nguyen, T.T., Vo, D.N., ve Dinh, B.H. (2016). A cuckoo bird-inspired meta-heuristic algorithm for optimal short-term hydrothermal generation cooperation. *Cogent Engineering*, 3(1), 1-19.
- Nguyen, T.T., Vo, D.N., ve Truong, A.V. (2014b). Cuckoo search algorithm for short-term hydrothermal scheduling. *Applied Energy*, 132, 276-287.
- Norouzi, M.R., Ahmadi, A., Sharaf, A.M., ve Nezhad, A.E. (2014). Short-term environmental/economic hydrothermal scheduling. *Electric Power Systems Research*, 116, 117-127.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Orero, S.O., Irving, M.R. (1998). A genetic algorithm modeling framework and solution technique for short term optimal hydrothermal scheduling. *IEEE Transactions on Power Systems*, 23 (2), 501-516.
- Özyön, S. (2009a). Genetik algoritmanın bazı çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya, 136s.
- Özyön, S., Aydın, D. (2013). Incremental artificial bee colony with local search to economic dispatch problem with ramp rate limits and prohibited operating zones. *Energy Conversion and Management*, 65, 397-407.
- Özyön, S., Yaşar, C., Aslan, Y., ve Temurtaş, H. (2009b). Solution to environmental economic power dispatch problems in hydrothermal power systems by using genetic algorithm. 6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO'09), 1, 387-392, Bursa, TÜRKİYE.
- Özyön, S., Yaşar, C., Durmuş, B., ve Temurtaş, H. (2015). Opposition-based gravitational search algorithm applied to economic power dispatch problems consisting of thermal units with emission constraints. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 23, 2278-2288.
- Özyön, S., Yaşar, C., ve Temurtaş, H. (2010). Ham enerji kaynağı kısıtlı birim içeren hidrotermal güç sistemlerinde çevresel ekonomik güç dağıtımının çözümü. *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21, 45-64.
- Özyön, S., Yaşar, C., ve Temurtaş, H. (2011). Ham enerji kaynağı kısıtlı termik birim içeren sistemlerde çevresel ekonomik güç dağıtımının çözümü. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24 (1), 47-71.
- Özyön, S., Yaşar, C., ve Temurtaş, H. (2018). Incremental gravitational search algorithm for high-dimensional benchmark functions, *Neural Computing and Applications*, (available online).
- Özyön, S., Yaşar, C., ve Temurtaş, H. (2016). A novel hybrid algorithm for nonconvex economic power dispatch problems, *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, 11(6-3), 92-101.
- Pan, W.T. (2011). *Fruit fly optimization algorithm*, Taipei: Tsang Hai Book Publishing Co.,.
- Pan, W.T. (2012). A new fruit fly optimization algorithm: Taking the financial distress model as an example. *Knowledge-Based Systems*, 26(2), 69-74.
- Pereira, M.V.F., Pinto, L.M.V.G. (1982). A decomposition approach to the economic dispatch of hydrothermal systems. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 101(10), 3851-3858.
- Precup, R.E., David, R.C., Petriu, E.M., Preitl, S., ve Radac, M.B. (2012). Novel adaptive gravitational search algorithm for fuzzy controlled servo systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 8(4), 791-800.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Punnathanam, V., Kotecha, P. (2016). Yin-yang-pair optimization: A novel lightweight optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 54, 62-79.
- Querioz, A.R. (2016). Stochastic hydro-thermal scheduling optimization: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 382-395.
- Rahmani, R., Yusof, R. (2014). A new simple, fast and efficient algorithm for global optimization over continuous search-space problems: Radial movement optimization. *Applied Mathematics and Computation*, 248, 287-300.
- Rajabioun, R. (2011). Cuckoo optimization algorithm, *Applied Soft Computing*, 11(8), 5508-5518.
- Rao, R. (2016). Jaya: A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(1), 19-34.
- Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., ve Saryazdi, S. (2009). GSA: A gravitational search algorithm. *Information Sciences*, 179(13), 2232-2248.
- Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., ve Saryazdi, S. (2010). BGSA: Binary gravitational search algorithm. *Natural Computing*, 9(3), 727-745.
- Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., ve Saryazdi, S. (2011). Filter modeling using gravitational search algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24, 117-122.
- Rasoulzadeh-akhijahani, A., Mohammadi-ivatloo, B. (2015). Short-term hydrothermal generation scheduling by a modified dynamic neighborhood learning based particle swarm optimization. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 67, 350-367.
- Rastrigin, L.A. (1963). The convergence of the random search method in the extremal control of a many parameter system. *Automation and Remote Control*, 24(10), 1337-1342.
- Roy, P.K. (2014). Hybrid chemical reaction optimization approach for combined economic emission short-term hydrothermal scheduling. *Electric Power Components and Systems*, 42, 1647-1660.
- Roy, P.K., Sur, A., ve Pradhan, D.K. (2013). Optimal short-term hydro-thermal scheduling using quasi-oppositional teaching learning based optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26, 2516-2524.
- Sacco, W.F., Meneses, A., Rios-Coelho, A.C., ve Henderson, N. (2013). The particle collision algorithm: A metropolis optimization method. *Global Optimization: Theory, Developments and Applications*. 105-124.
- Sadollah, A., Ardesir, B., Hadi, E., ve Mohd, H. (2013). Mine blast algorithm: A new population based algorithm for solving constrained engineering optimization problems. *Applied Soft Computing*, 13(5), 2592-2612.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Saha, S.K., Kar, R., Mandal, D., ve Ghoshal, S.P. (2014). Gravitational search algorithm: Application to the optimal IIR filter design. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 26, 69-81.
- Salama, M.M., Elgazar, M.I., Abdelmaksoud, S.M., ve Henry, H.A. (2013a). Optimal generation scheduling of short term variable head hydrothermal system using constriction factor based particle swarm optimization technique and genetic algorithm. *International Journal of Electrical and Power Engineering*, 7(1), 1-12.
- Salama, M.M., Elgazar, M.I., Abdelmaksoud, S.M., ve Henry, H.A. (2013b). Optimal generation scheduling of cascaded hydrothermal system using genetic algorithm and constriction factor based particle swarm optimization technique. *International Journal of Science and Engineering Research*, 4(5), 750-761.
- Salama, M.M., Elgazar, M.I., Abdelmaksoud, S.M., ve Henry, H.A. (2013c). Variable head hydrothermal generation scheduling using genetic algorithm and constriction factor based particle swarm optimization technique. *IOSR Journal of Engineering*, 3(9), 1-16.
- Saremi, S., Mirjalili, S., ve Lewis, A. (2017). Grasshopper optimization algorithm: Theory and application. *Advances in Engineering Software*, 105, 30-47.
- Sasikala, J., Ramaswamy, M. (2010). Optimal gamma based fixed head hydrothermal scheduling using genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 37, 3352-3357.
- Savsani, P., Savsani, V. (2016). Passing vehicle search (PVS): A novel metaheuristic algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 40, 3951-3978.
- Selvakumar, A.I., Thanushkodi, K. (2009). Optimization using civilized swarm: solution to economic dispatch with multiple minima. *Electric Power Systems Research*, 79, 8-16.
- Shah-Hosseini, H. (2011a). Otsu's criterion-based multilevel thresholding by a nature-inspired metaheuristic called galaxy-based search algorithm. *Third World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing*, 383-388.
- Shah-Hosseini, H. (2011b). Principal components analysis by the galaxy-based search algorithm: a novel metaheuristic for continuous optimization. *International Journal of Computational Science and Engineering*, 6(1/2), 132-140.
- Sheikhan, M., Jadidi, Z. (2014). Flow-based anomaly detection in high-speed links using modified GSA-optimized neural network. *Neural Computing and Application*, 24, 599-611.
- Siddique, N., Adeli, H. (2016a). Gravitational search algorithm and its variants. *International Journal of Pattern Recognition*, 30(8), 1-22.
- Siddique, N., Adeli, H. (2016b). Physics-based search and optimization: Inspirations from nature. *Expert Systems: The Journal of Knowledge Engineering*, 33(6), 607-623.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Siddique, N., Adeli, H. (2017). Nature-inspired chemical reaction optimisation algorithms. *Cognitive Computation*, 9(4), 411-422.
- Simon, D. (2008). Biogeography-based optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 12(6), 702-713.
- Singh, N.J., Dhillon, J.S., ve Kothari, D.P. (2016). Synergic predator-prey optimization for economic thermal power dispatch problem. *Applied Soft Computing*, 43, 298-311.
- Sinha, N., Chakrabarti, R., ve Chattopadhyay, P.K. (2003). Fast evolutionary programming techniques for short-term hydrothermal scheduling. *IEEE Transactions on Power Systems*, 18(1), 214-220.
- Storn, R., Price, K. (1997). Differential evolution - A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, 11, 341-359.
- Swain, R.K., Barisal, A.K., Hota, P.K., ve Chakrabarti, R. (2011). Short-term hydrothermal scheduling using clonal selection algorithm. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 33, 647-656.
- Swain, R.K., Sahu, N.C., ve Hota, P.K. (2012). Gravitational search algorithm for optimal economic dispatch. *Procedia Technology*, 6, 411-419.
- Şen, Z. (2004). *Genetik Algoritmalar ve En İyi Yöntemleri*, Su Vakfı Yayınları, 1. Baskı.
- Tang, D., Dong, S., Jiang, Y., Li, H., ve Huang, Y. (2015). ITGO: Invasive tumor growth optimization algorithm. *Applied Soft Computing*, 36, 670-698.
- Temurtaş, H., Yaşar, C., ve Özyön, S. (2017). Nümerik fonksiyonların optimizasyonu için karşıt tabanlı yeni bir meta-sezgisel algoritma. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 17, 922-937.
- Tian, H., Yuan, X., Ji, B., ve Chen, Z. (2014). Multi-objective optimization of short-term hydrothermal scheduling using non-dominated sorting gravitational search algorithm with chaotic mutation. *Energy Conversion and Management*, 81, 504-519.
- Tilahun, S.L., Ong, H.C. (2015). Prey-predator algorithm: a new metaheuristic algorithm for optimization problems. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 14(6), 1331-1352.
- Uçman, E. (1999). Genetik algoritmanın bazı güç dağıtım problemlerine uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon, 64s.
- Urazel, B. (2017a). Uygun temeller değerli genelleştirilmiş subgradient algoritmasının kısa dönem hidrotermal koordinasyon problemine uygulanması, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 86s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Urazel, B., Fadıl, S. (2017b). Solution to short term hydrothermal scheduling problem for a power system area including limited energy supply thermal units by using modified subgradient algorithm based on feasible values. 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO'17), 95-99, Bursa, TÜRKİYE.
- Wang, G.G. (2016a). Moth search algorithm: a bio-inspired metaheuristic algorithm for global optimization problems. *Memetic Computing*, (available online).
- Wang, G.G., Deb, S., ve Coelho, L.D.S. (2015a). Earthworm optimisation algorithm: a bio-inspired metaheuristic algorithm for global optimisation problems. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 7(6), 1-22.
- Wang, G.G., Deb, S., ve Cui, Z. (2015b). Monarch butterfly optimization. *Neural Computing and Applications*, (available online).
- Wang, G.G., Deb, S., Gao, X.Z., ve Coelho, L.D.S. (2016b). A new metaheuristic optimisation algorithm motivated by elephant herding behaviour, *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 8(6), 394-409.
- Wang, Y., Zhou, J., Mo, L., Ouyang, S., ve Zhang, Y. (2012a). A clonal real-coded quantum-inspired evolutionary algorithm with cauchy mutation for short-term hydrothermal generation scheduling. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 43, 1228-1240.
- Wang, Y., Zhou, J., Mo, L., Zhang, R., ve Zhang, Y. (2012b). Short-term hydrothermal generation scheduling using differential real-coded quantum-inspired evolutionary algorithm. *Energy*, 44, 657-671.
- Wang, Y., Zhou, J., Zhou, C., Wang, Y., Qin, H., ve Lu, Y. (2012c). An improved self-adaptive PSO technique for short-term hydrothermal scheduling. *Expert Systems with Applications*, 39, 2288-2295.
- Wood, A.J., Wollenberg, B.F., ve Sheble, G.B. (2013). *Power Generation Operation and Control*, IEEE & Wiley, Third Edition, USA.
- Xie, J., Zeng, J., ve Cui, Z., (2009), General framework of artificial physics optimization algorithm. 2009 World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC), Coimbatore, 1321-1326.
- Yang, J.S., Chen, N. (1989). Short term hydrothermal coordination using multi-pass dynamic programming. *IEEE Transactions on Power Systems*, 4(3), 1050-1056.
- Yang, X.S. (2008). Firefly algorithms. *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*, 20, 79-90.
- Yang, X.S. (2010). A new metaheuristic bat-inspired algorithm. *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NISCO 2010)*, Eds. Gonzales J.R., *Studies in Computational Intelligence*, 284, 65-74.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

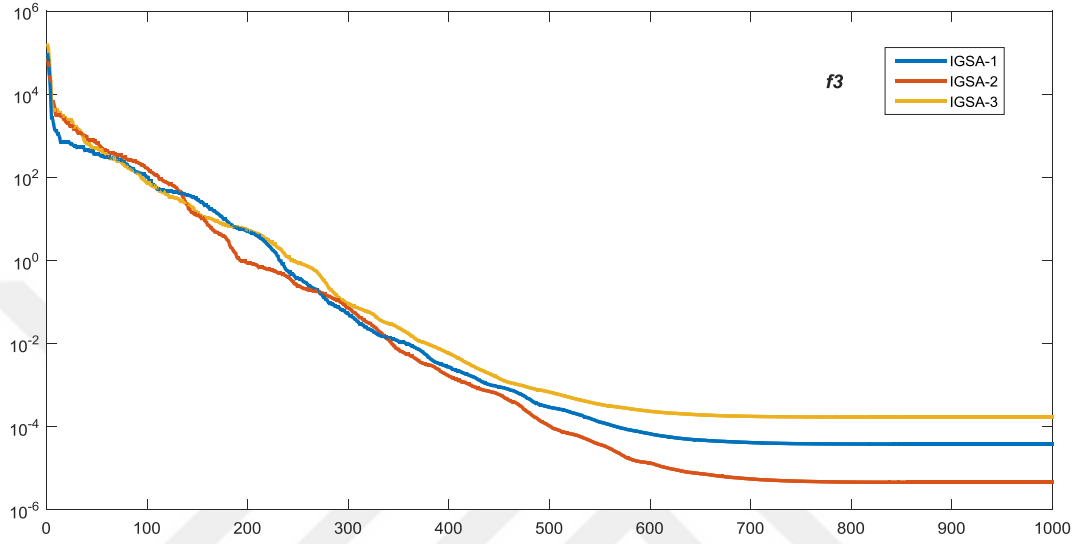
- Yang, X.S. (2012a) Flower pollination algorithm for global optimization. *Unconventional Computation and Natural Computation*, edited by Durand-Lose, J., Jonoska, N., 7445, Lecture Notes in Computer Science, 240-249.
- Yang, X.S., Gandomi, A.H. (2012b). Bat algorithm: a novel approach for global engineering optimization. *Engineering Computations: International Journal for Computer-Aided Engineering and Software*, 29(5), 464-483.
- Yang, X.S., Karamanoglu, M., ve He, X. (2014). Flower pollination algorithm: A novel approach for multiobjective optimization. *Engineering Optimization*, 46(9), 1222-1237.
- Yaşar, C. (1999). Puseydo spot elektrik fiyat algoritmasının optimal enerji sistem işletimi problemlerine uygulanması, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 161s.
- Yaşar, C., Fadıl, S., ve Babadağ, M. (2007). A spot price of electricity algorithm applied to lossy short-term hydrothermal scheduling problem with limited energy supply thermal units. *European Transactions on Electrical Power*, 18(3), 296-312.
- Yaşar, C., Özyön, S., ve Temurtaş, H. (2017). A new program design developed for AC load flow analysis problems. *International Journal of Engineering Research and Development (IJERAD)*, 9(3), 207-222.
- Yazdani, M., Jolai, F. (2016). Lion optimization algorithm (LOA): A nature-inspired metaheuristic algorithm. *Journal of Computational Design and Engineering*, 3, 24-36.
- Yu, B., Yuan, X., ve Wang, J. (2007). Short-term hydro-thermal scheduling using particle swarm optimization method. *Energy Conversion and Management*, 48, 1902-1908.
- Yu, J.J.Q., Li, V.O.K. (2015). A social spider algorithm for global optimization. *Applied Soft Computing*, 30, 614-627.
- Yuan, X., Tian, H., Yuan, Y., ve Zhang, X. (2016). Multi-objective artificial physical optimization algorithm for daily economic environmental dispatch of hydrothermal systems. *Electric Power Components and Systems*, 44(5), 533-543.
- Zahiri, S.H. (2012). Fuzzy gravitational search algorithm an approach for data miming. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 9(1), 21-37.
- Zelinka, I. (2004). SOMA - Self-organizing migrating algorithm, *New Optimization Techniques in Engineering. Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 141, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Zelinka, I., Lampinen, J. (2000). SOMA - Self organizing migrating algorithm. *Proceedings of 6th MENDEL International Conference on Soft Computing*, Brno (Czech Republic), 76-83.
- Zhang, H., Qin, C., ve Luo, Y. (2014a). Neural-network-based constrained optimal control scheme for discrete-time switched nonlinear system using dual heuristic programming. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 11(3), 839-849.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

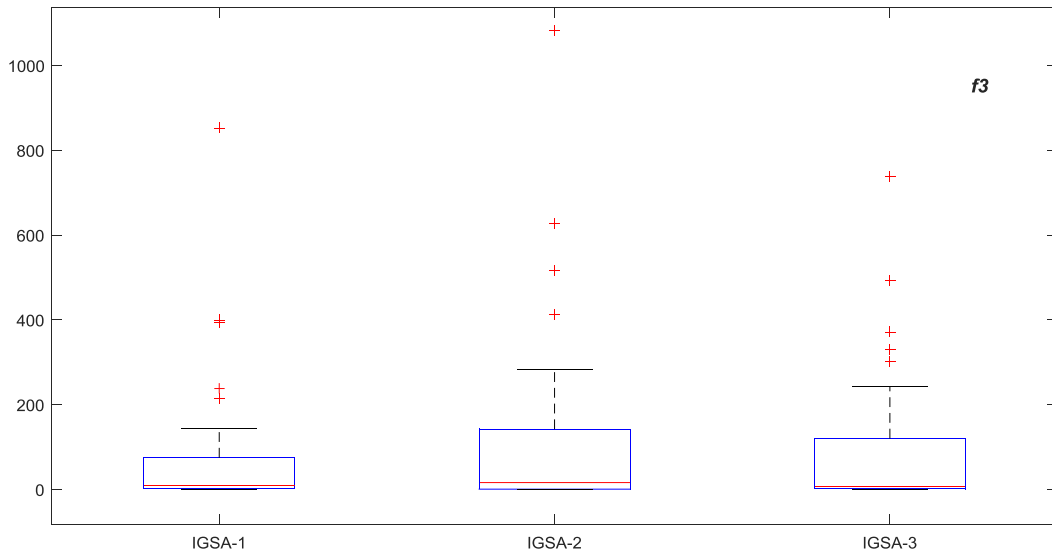
- Zhang, H., Wang, Z., ve Lio, D. (2014b). A comprehensive review of stability analysis of continuous-time recurrent neural networks. *IEEE Transaction on Neural Networks and Learning Systems*, 25(7), 1229-1262.
- Zhang, H., Zhang, J., ve Yang, G.H. (2015). Leader-based optimal coordination control for the consensus problem of multiagent differential games via fuzzy adaptive dynamic programming. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 23(1), 152-163.
- Zhang, J., Lin, S., Liu, H., Chen, Y., Zhu, M., ve Xu, Y. (2017). A small-population based parallel differential evolution algorithm for short-term hydrothermal scheduling problem considering power flow constraints. *Energy*, 123, 538-554.
- Zhang, J., Lin, S., ve Qiu, W. (2015). A modified chaotic differential evolution algorithm for short-term optimal hydrothermal scheduling. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 65, 159-168.
- Zhang, Q., Wang, R., Yang, J., Ding, K., Li, Y., ve Hu, J. (2017). Collective decision optimization algorithm: A new heuristic optimization method. *Neurocomputing*, 221, 123-137.
- Zhang, W., Niu, P., Li, G., ve Li, P. (2013). Forecasting of turbine heat rate with online least squares support vector machine based on gravitational search algorithm. *Knowledge-Based Systems*, 39, 34-44.
- Zheng, Y.J. (2015). Water wave optimization: A new nature-inspired metaheuristic. *Computers and Operations Research*, 55, 1-11.
- Zhou, J., Lu, Y., ve Li, C. (2015). Reply to “Comment on ‘A hybrid multi-objective cultural algorithm for short-term environmental/economic hydrothermal scheduling’ by Youlin Lu et al (Energy Conversion and Management, 52 , 2121-2134, (2011))”. *Energy Conversion and Management*, 99, 418-423.
- Zoumas, C.E., Bakirtzis, A.G., Theocharis, J.B., ve Petridis, V. (2004). A genetic algorithm solution approach to the hydrothermal coordination problem. *IEEE Transactions on Power Systems*, 19(2), 1356-1364.

EKLER

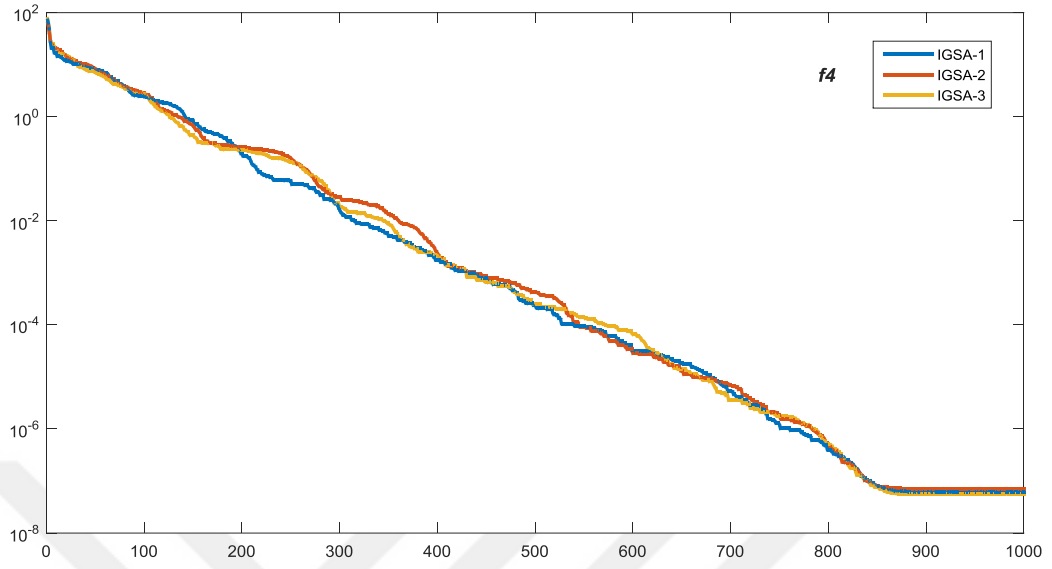
EK-1: Test Fonksiyonlarının IGSA-1, 2 ve 3 ile çözümlerine ait grafikler



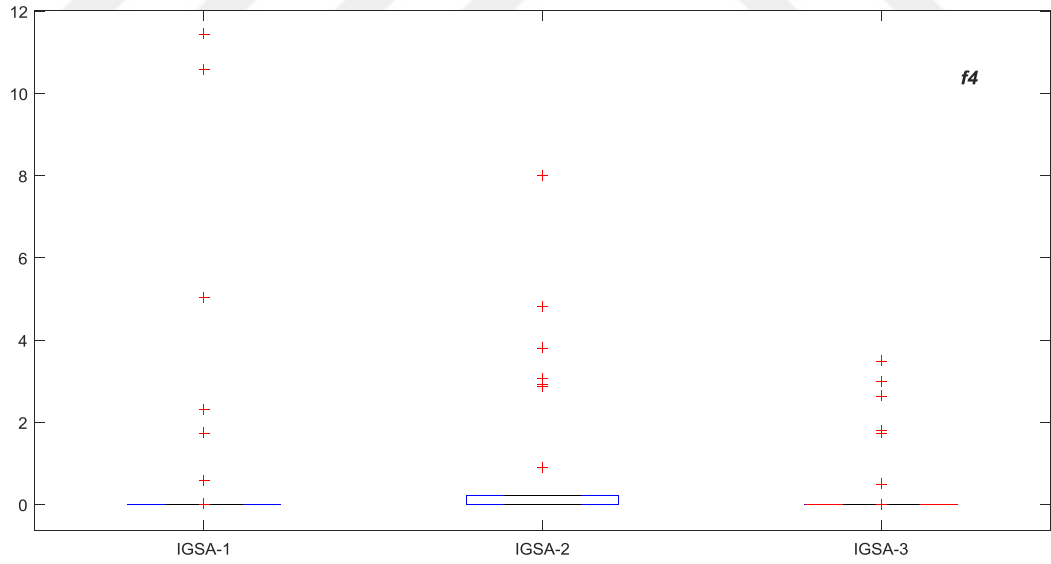
Ek-1 Şekil 1. f_3 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).



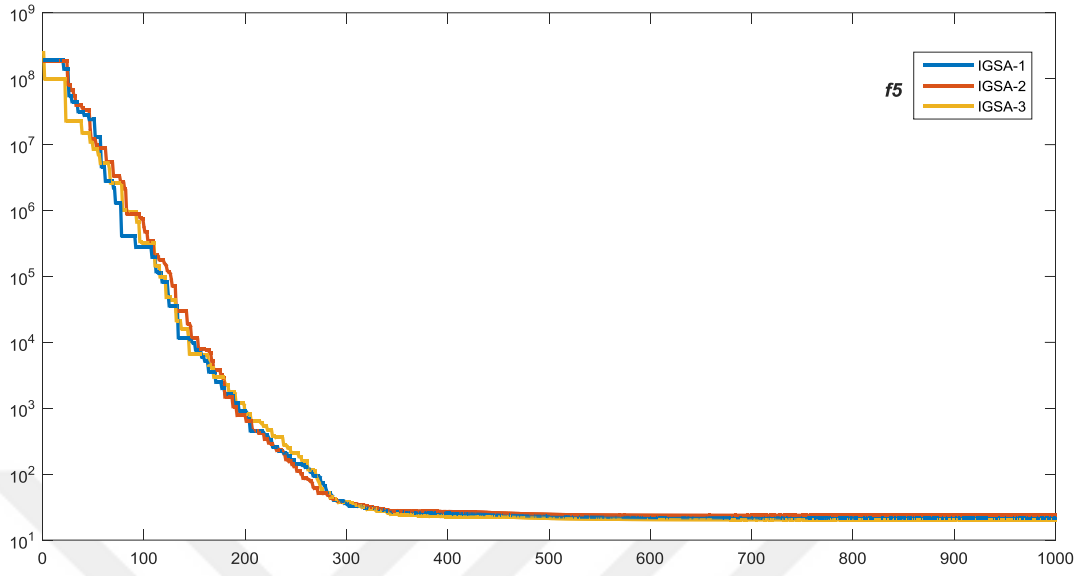
Ek-1 Şekil 2. f_3 boxplot (30-D).



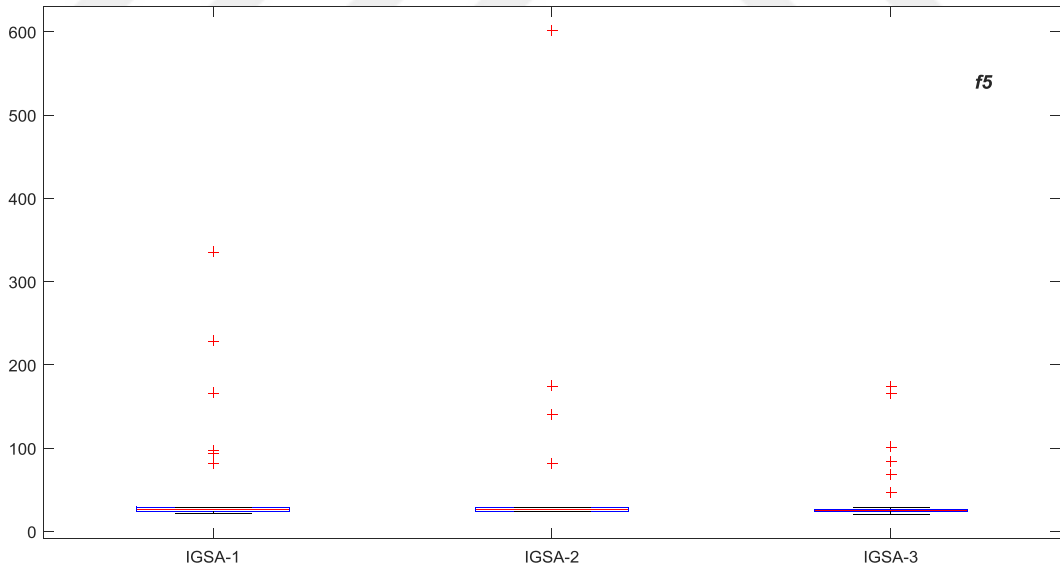
Ek-1 Şekil 3. f_4 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).



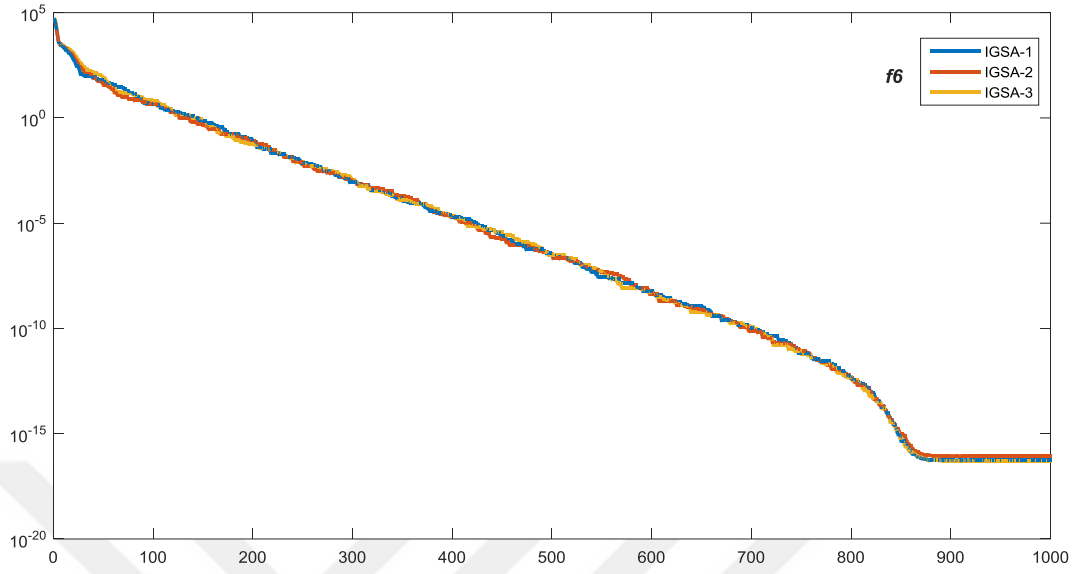
Ek-1 Şekil 4. f_4 boxplot (30-D).



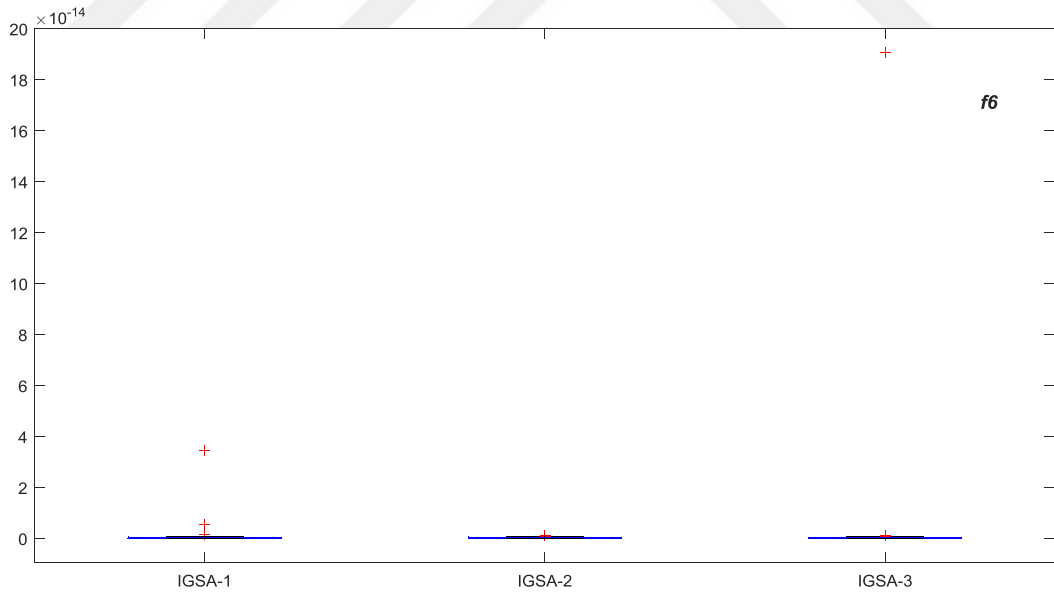
Ek-1 Şekil 5. f_5 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).



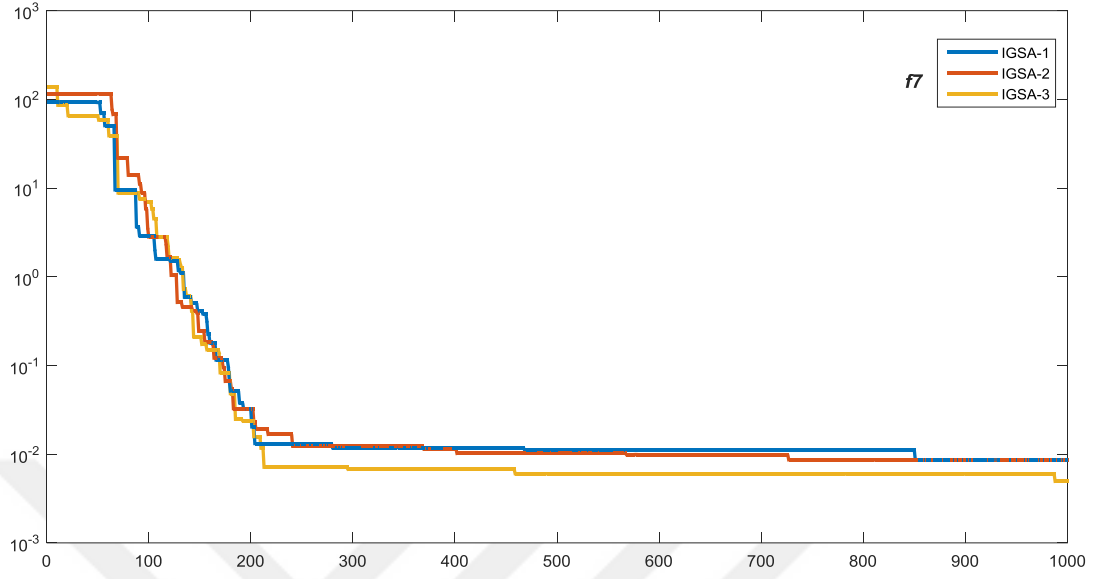
Ek-1 Şekil 6. f_5 boxplot (30-D).



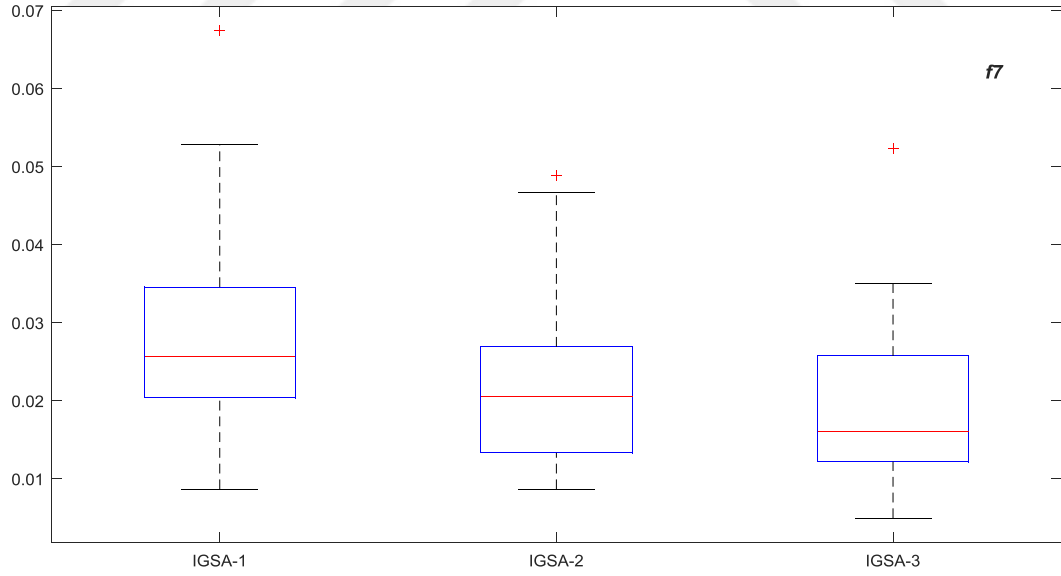
Ek-1 Şekil 7. f_6 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).



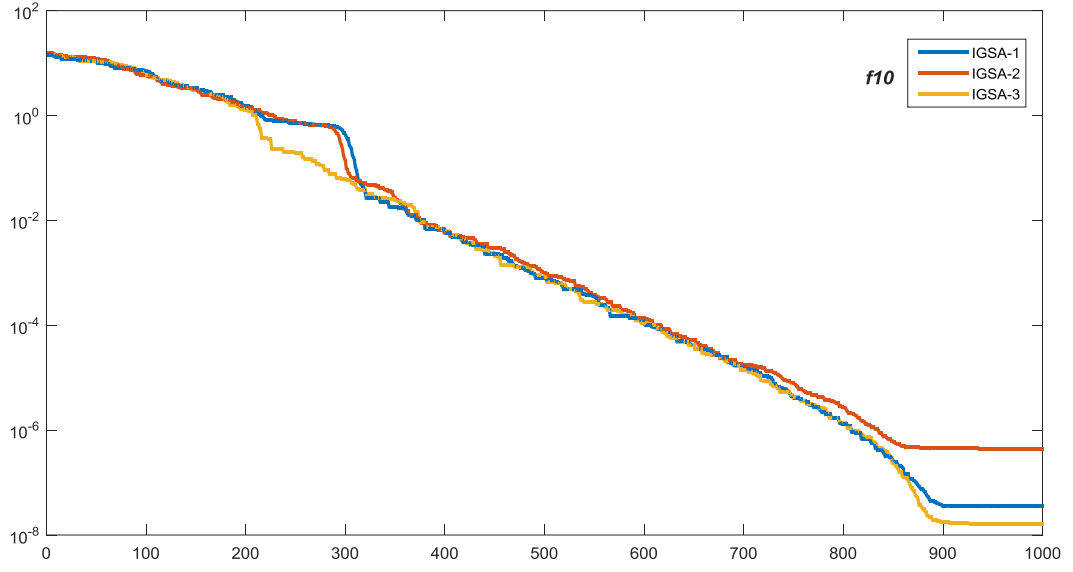
Ek-1 Şekil 8. f_6 boxplot (30-D).



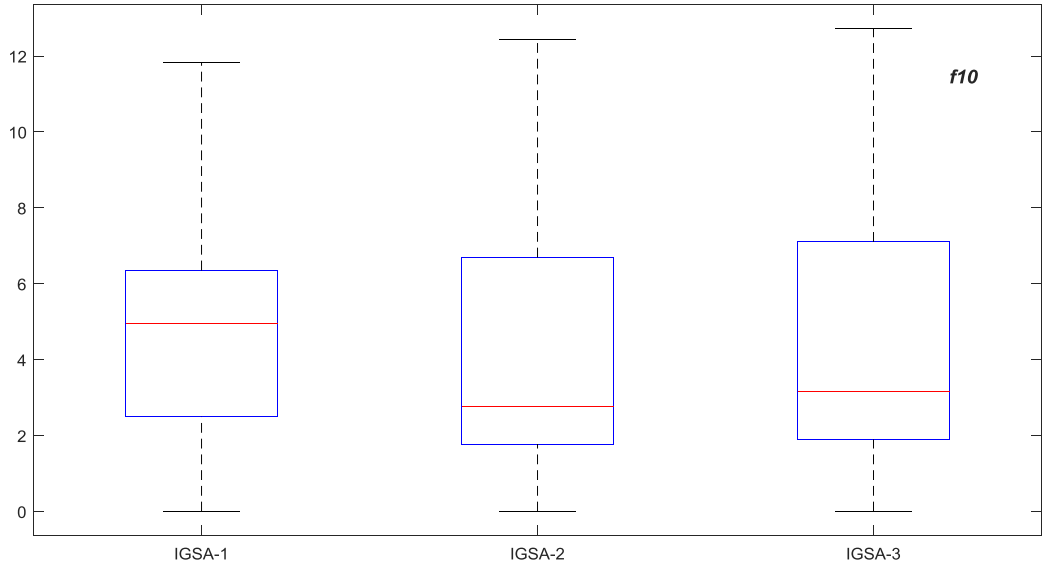
Ek-1 Şekil 9. f_7 en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).



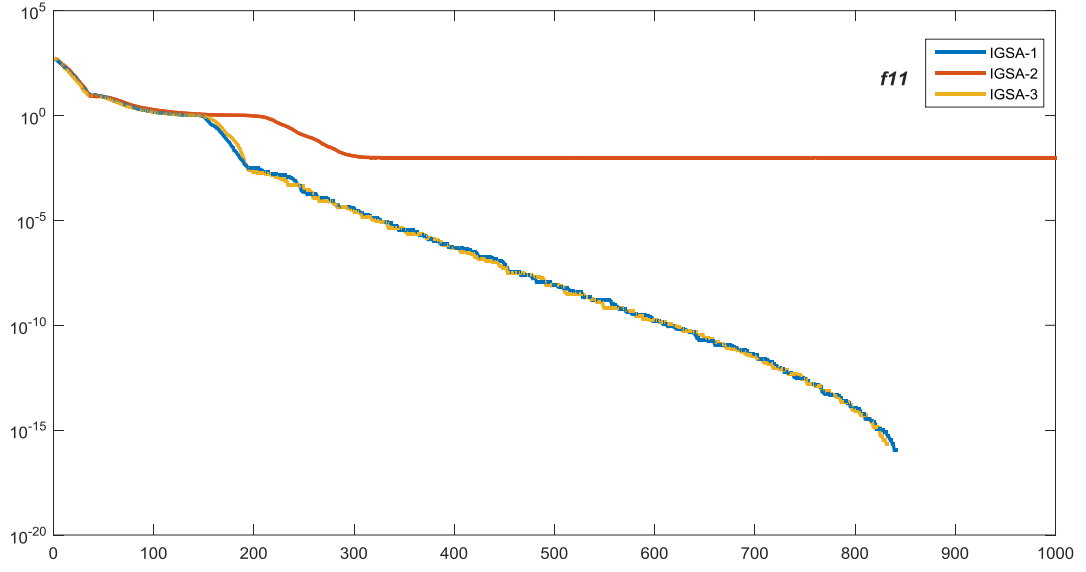
Ek-1 Şekil 10. f_7 boxplot (30-D).



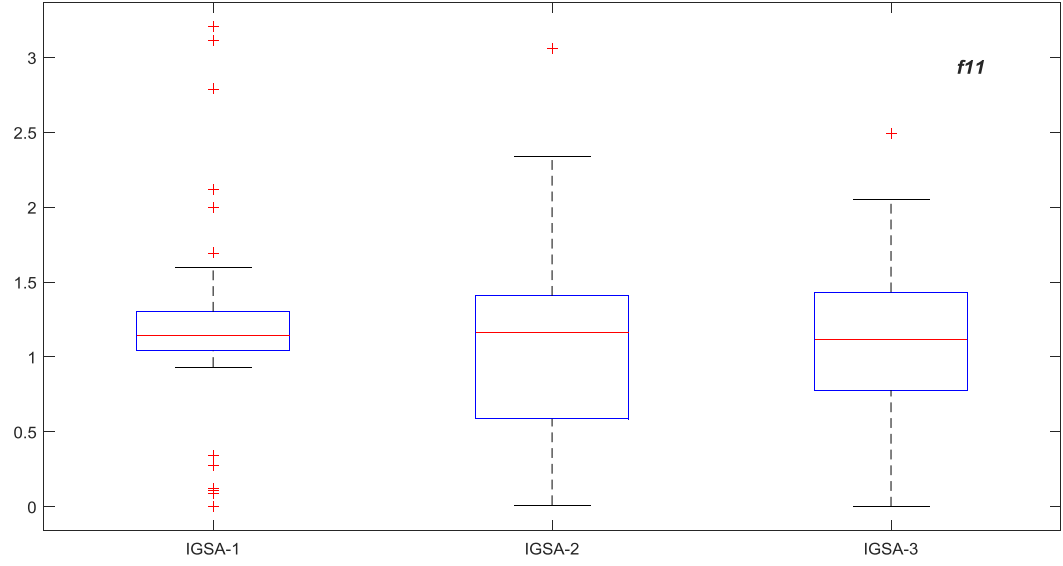
Ek-1 Şekil 11. f_{10} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).



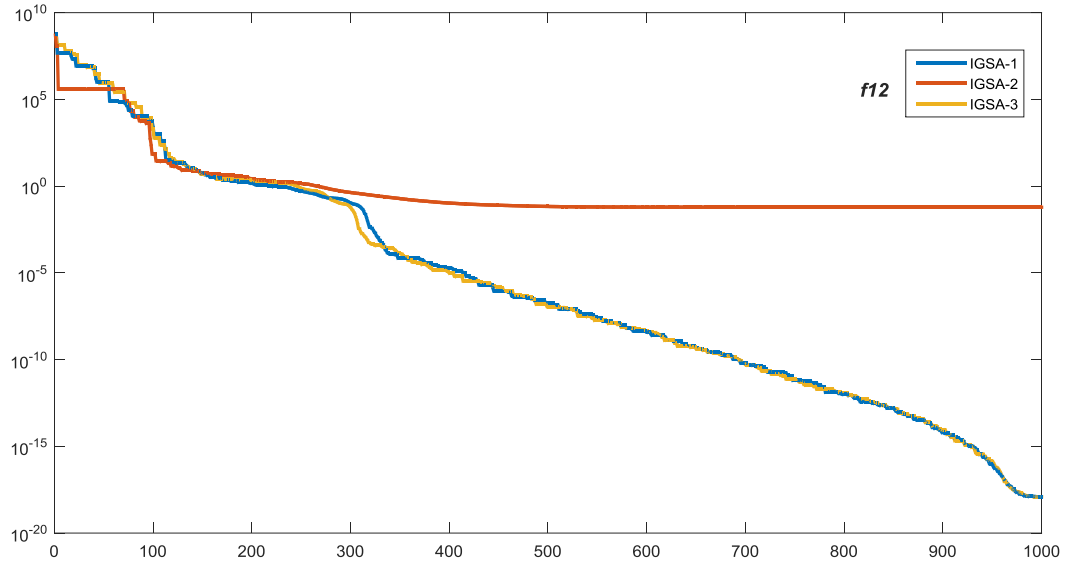
Ek-1 Şekil 12. f_{10} boxplot (30-D).



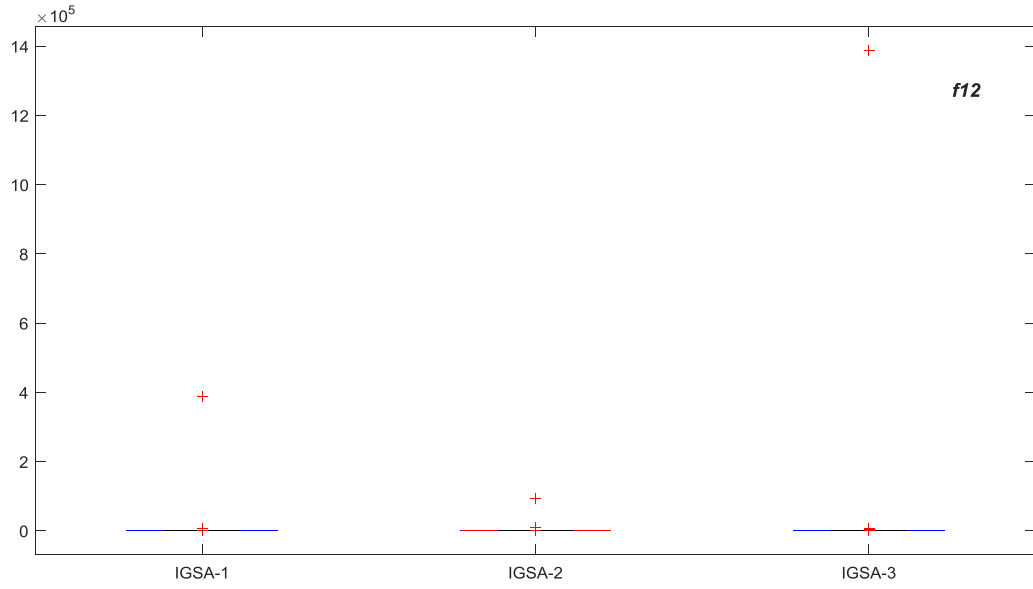
Ek-1 Şekil 13. f_{11} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).



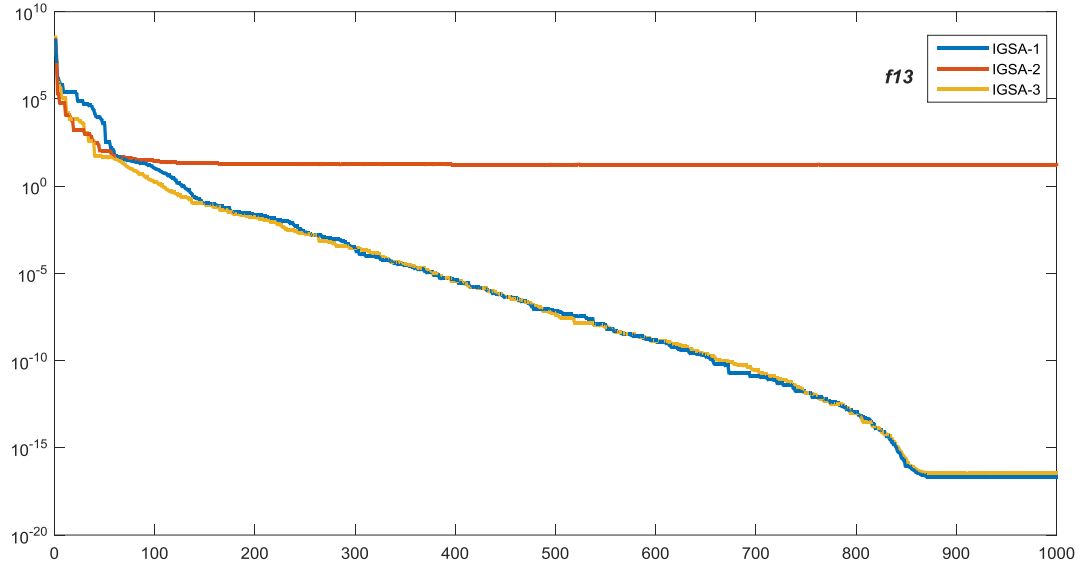
Ek-1 Şekil 14. f_{11} boxplot (30-D).



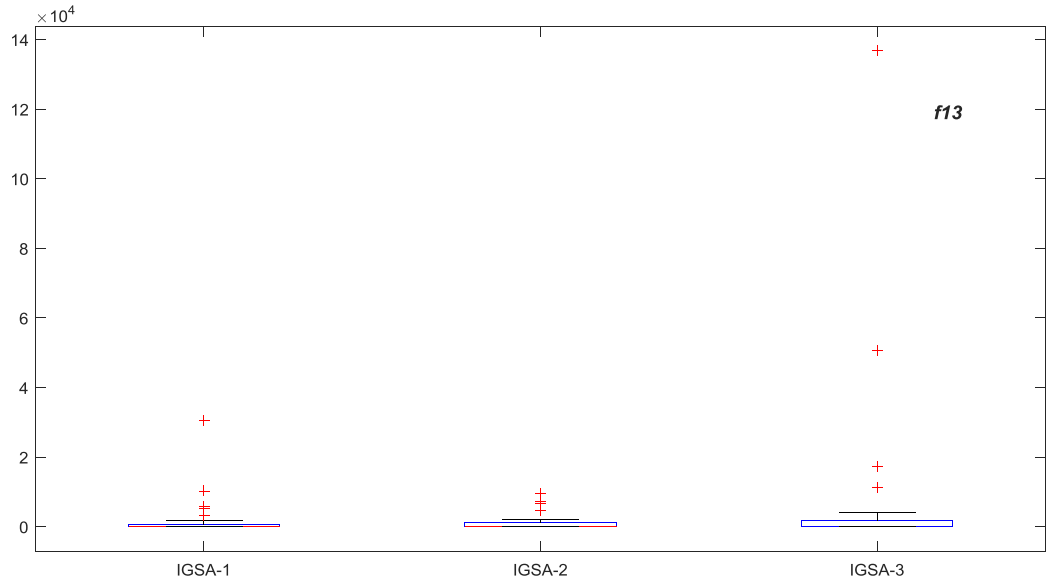
Ek-1 Şekil 15. f_{12} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).



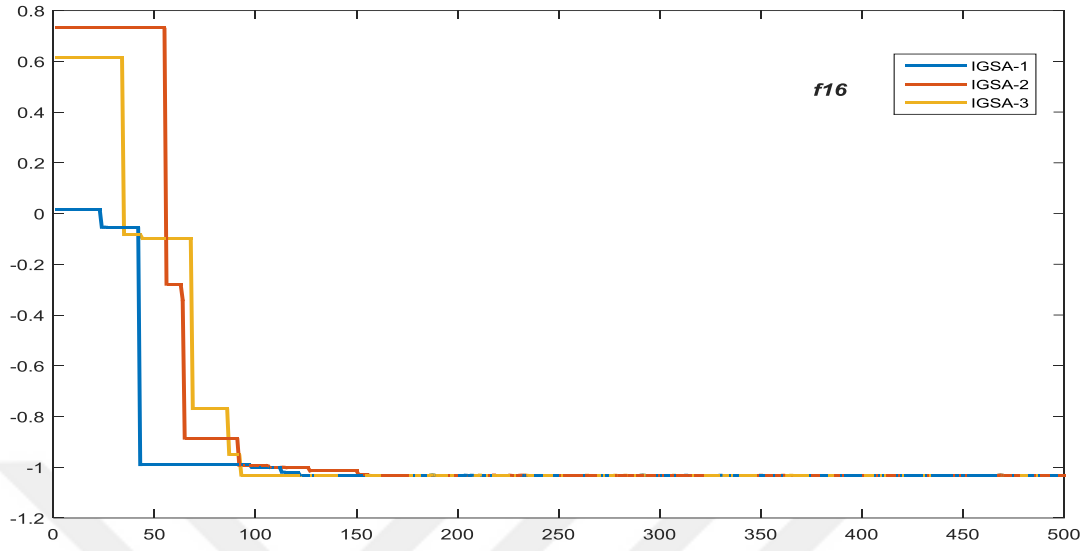
Ek-1 Şekil 16. f_{12} boxplot (30-D).



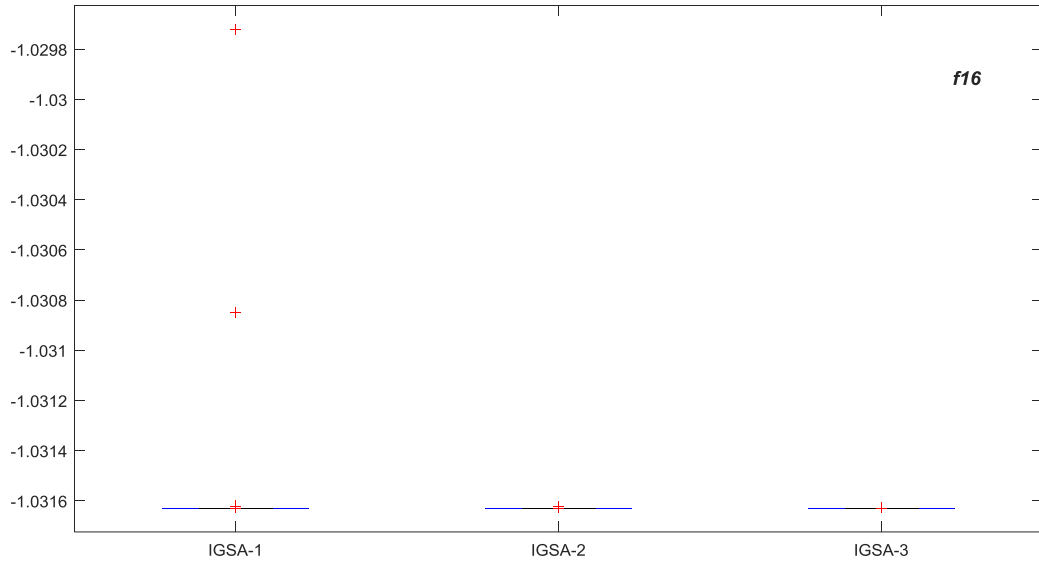
Ek-1 Şekil 17. f_{13} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (30-D).



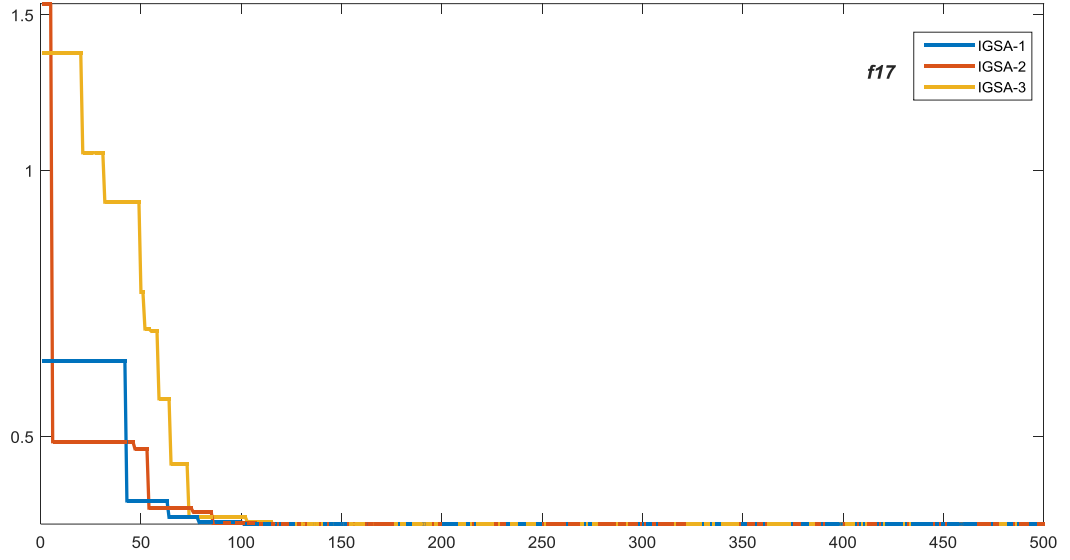
Ek-1 Şekil 18. f_{13} boxplot (30-D).



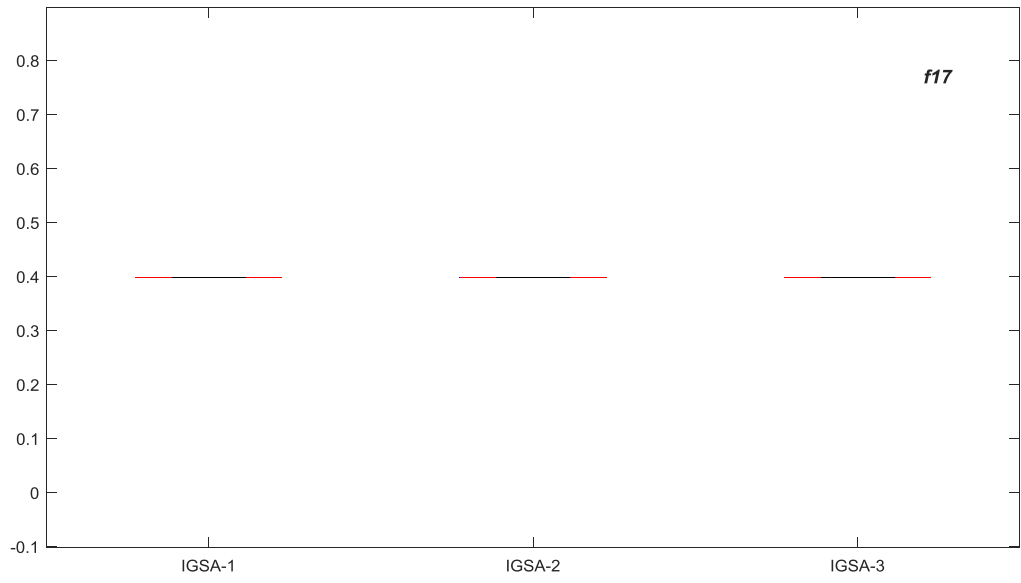
Ek-1 Şekil 19. f_{16} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (2-D).



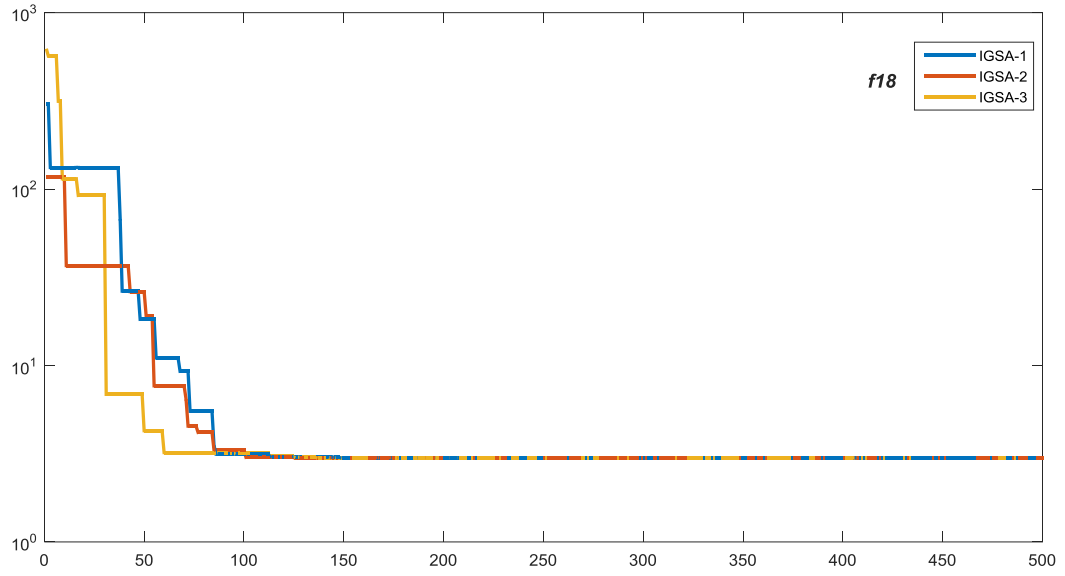
Ek-1 Şekil 20. f_{16} boxplot (2-D).



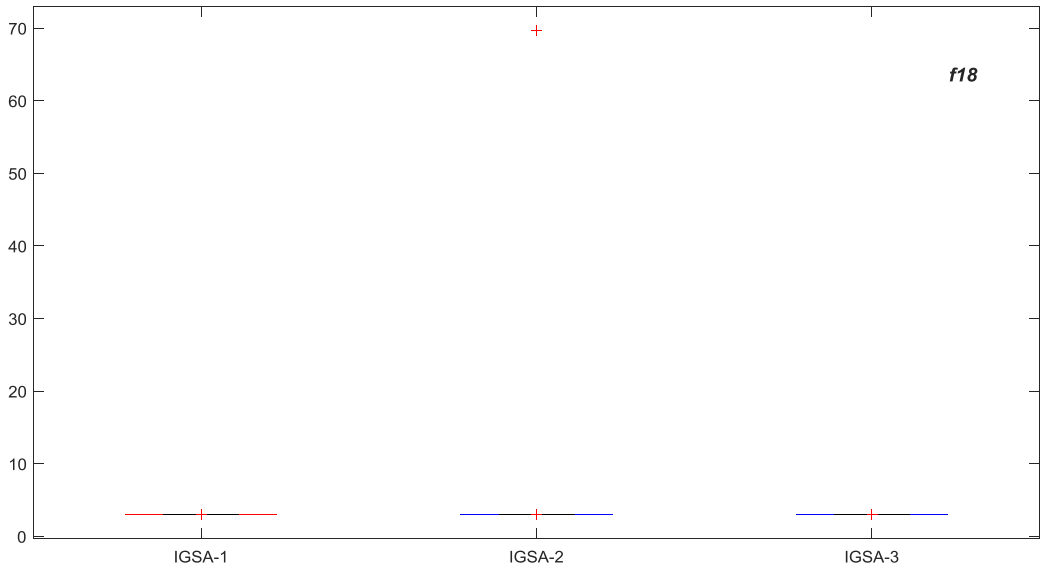
Ek-1 Şekil 21. f_{17} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (2-D).



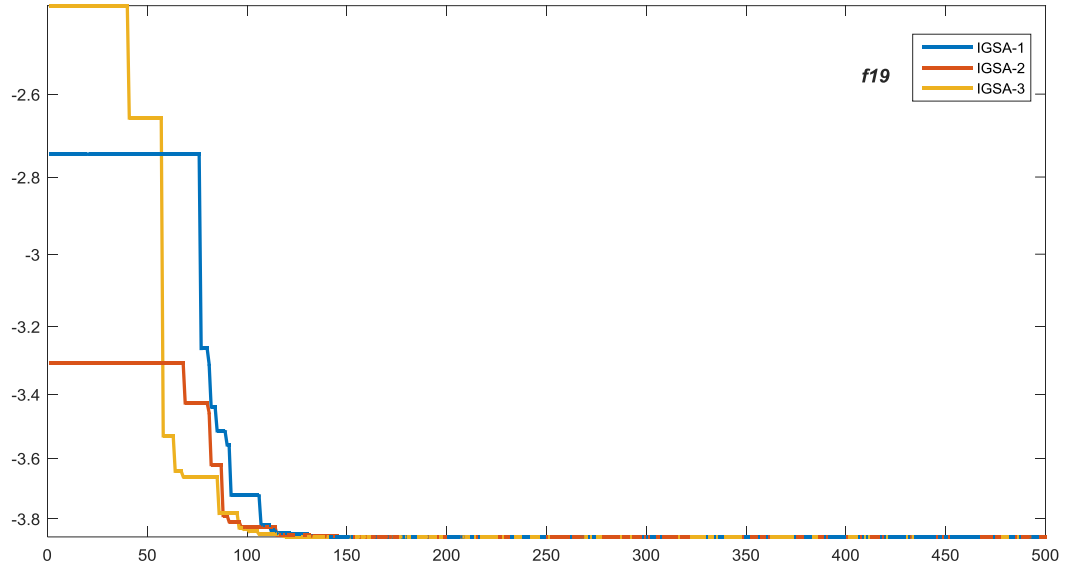
Ek-1 Şekil 22. f_{17} boxplot (2-D).



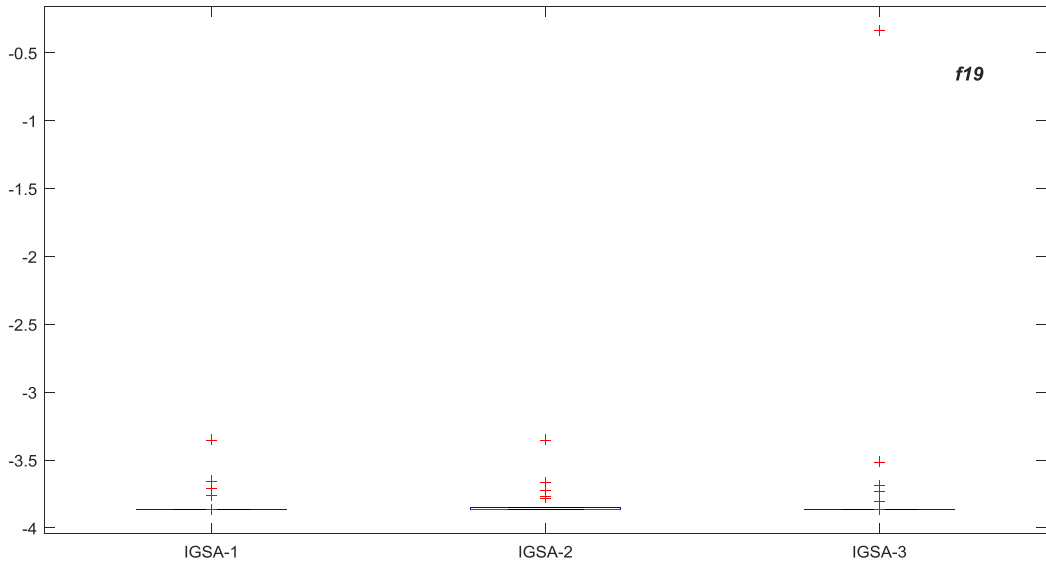
Ek-1 Şekil 23. f_{18} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (2-D).



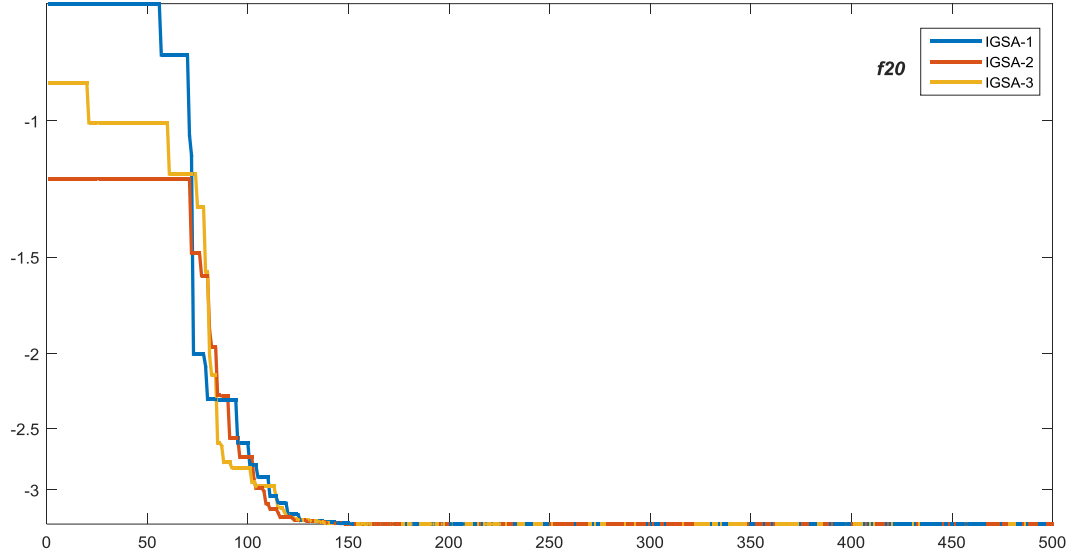
Ek-1 Şekil 24. f_{18} boxplot (2-D).



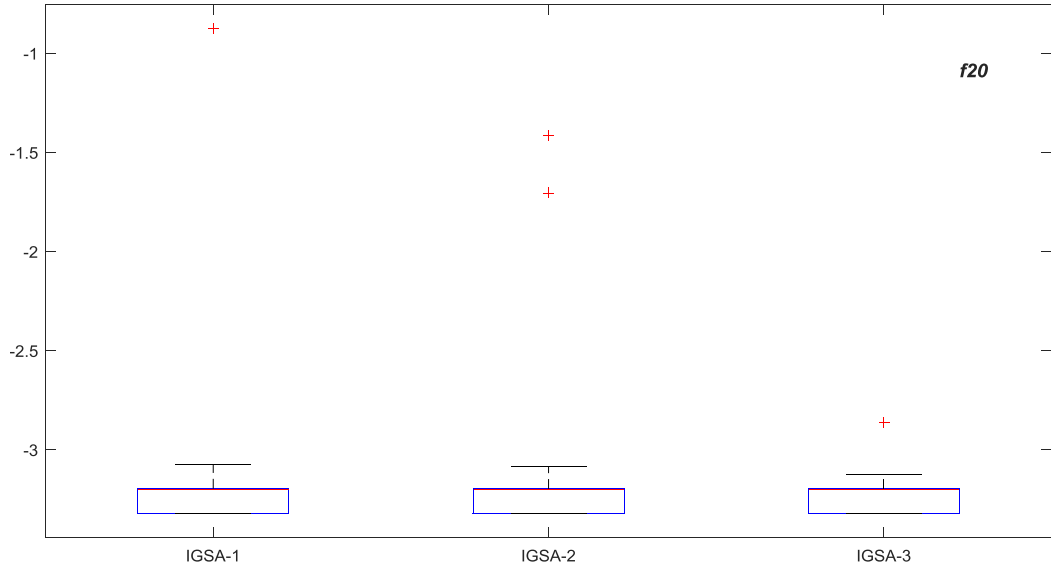
Ek-1 Şekil 25. f_{19} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (3-D).



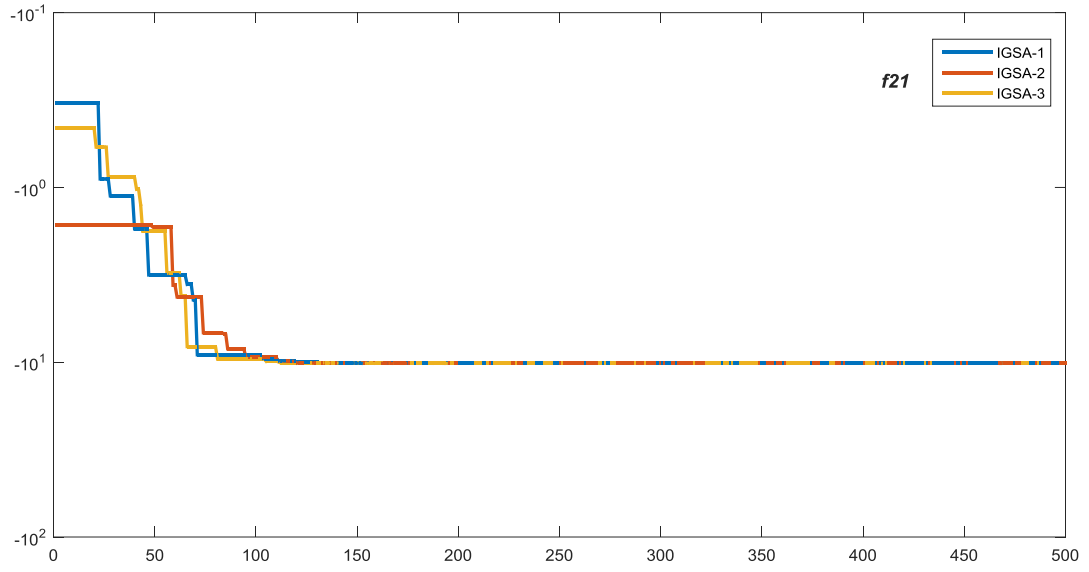
Ek-1 Şekil 26. f_{19} boxplot (3-D).



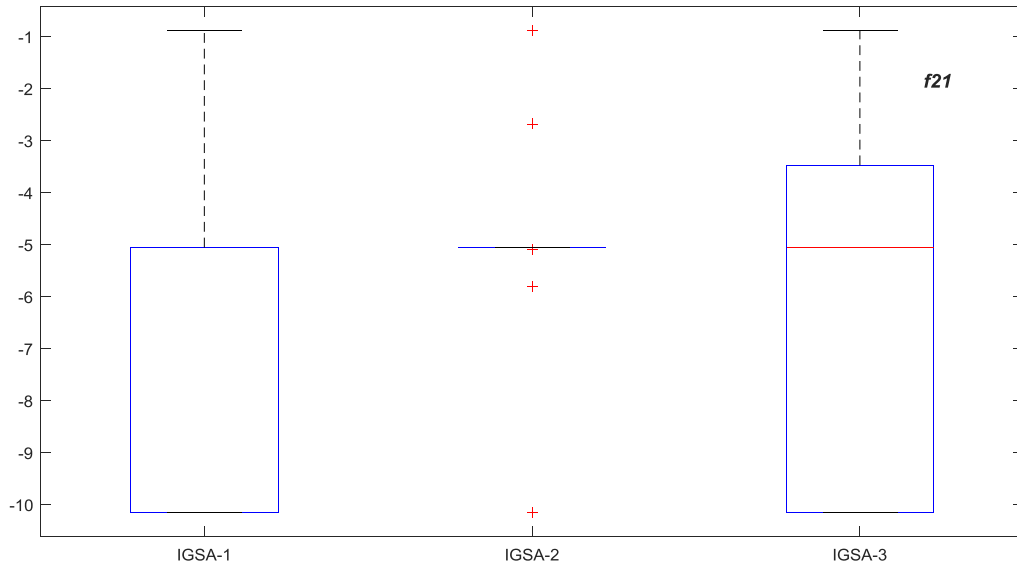
Ek-1 Şekil 27. f_{20} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (6-D).



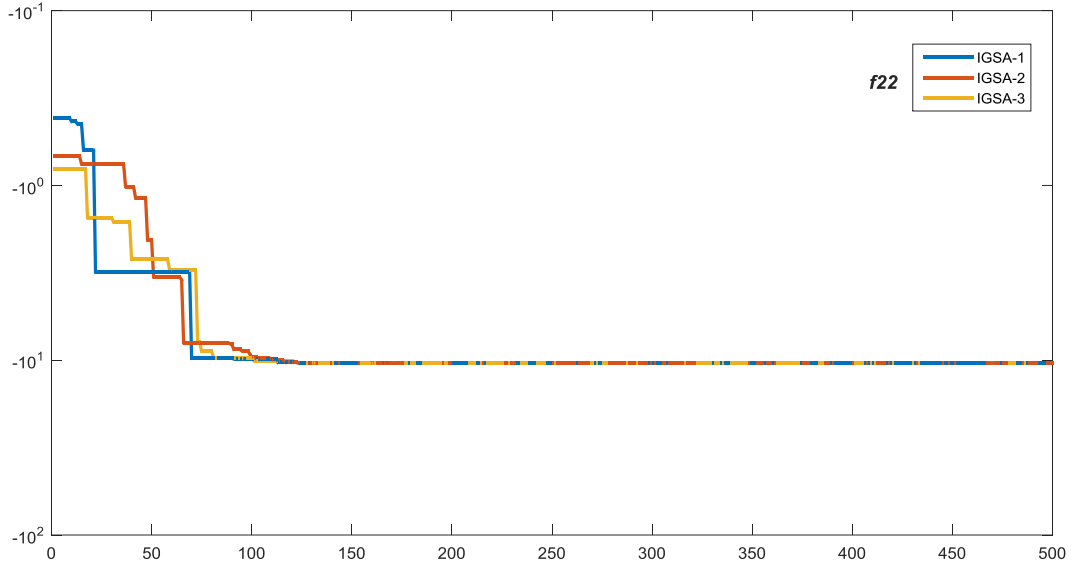
Ek-1 Şekil 28. f_{20} boxplot (6-D).



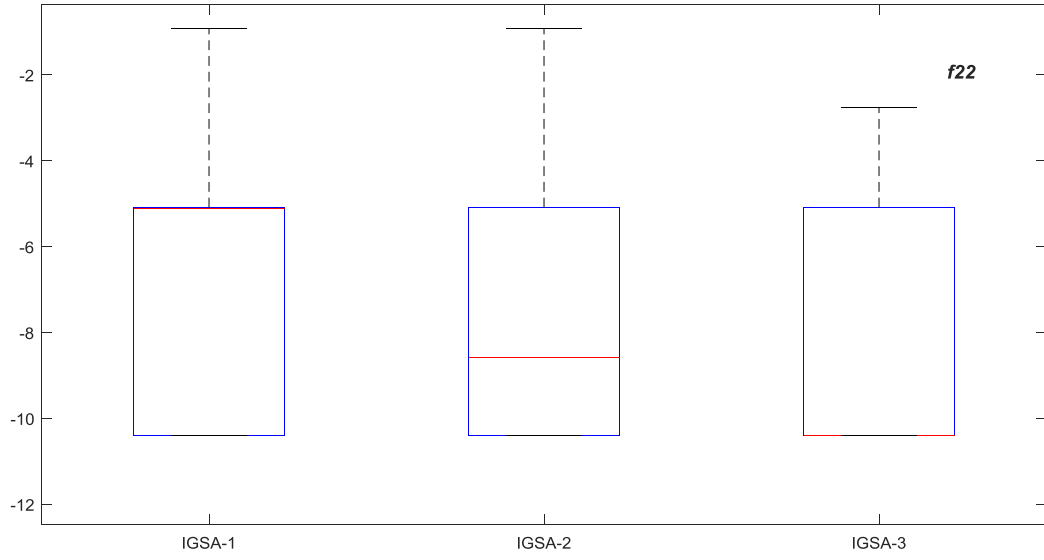
Ek-1 Şekil 29. f_{21} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (4-D).



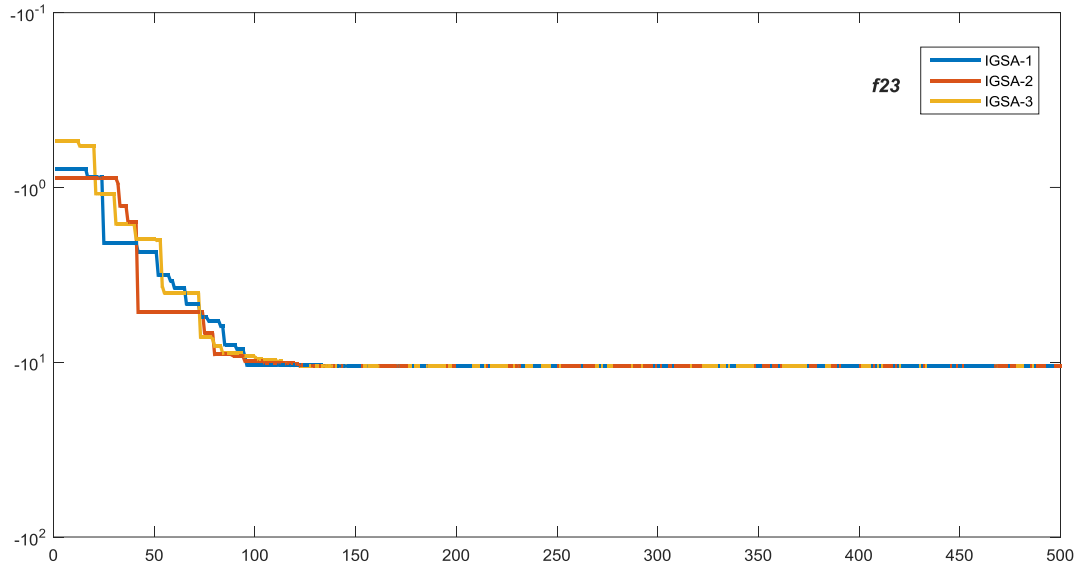
Ek-1 Şekil 30. f_{21} boxplot (4-D).



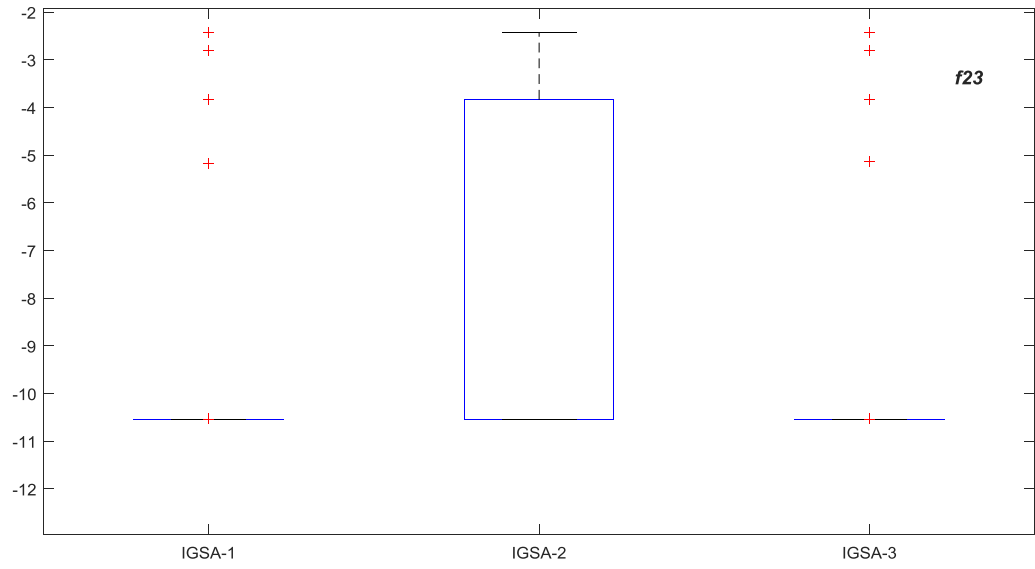
Ek-1 Şekil 31. f_{22} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (4-D).



Ek-1 Şekil 32. f_{22} boxplot (4-D).



Ek-1 Şekil 33. f_{23} en iyi sonuçların elde edildiği yakınsama eğrisi (4-D).



Ek-1 Şekil 34. f_{23} boxplot (4-D).

ÖZGEÇMİŞ ve ESERLER LİSTESİ



1. **Adı Soyadı** : Serdar ÖZYÖN
2. **Doğum Tarihi** : 15.07.1981
3. **Doğum Yeri** : Ayaş / ANKARA

4. Öğrenim Durumu

Derece	Alan	Üniversite	Yılı
Doktora	Elektrik Elektronik Mühendisliği	Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	2018
Yüksek Lisans	Elektrik Elektronik Mühendisliği	Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	2009
Lisans	Elektrik Elektronik Mühendisliği	Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	2005

5. Dil Becerisi

Sınav	Yıl	Puan
İngilizce (YDS)	2015	60 / 100

6. İş Tecrübesi

Ünvan	Üniversite / Fakülte / Bölüm	Yılı
Araştırma Görevlisi	Dumlupınar Üniversitesi - KÜTAHYA Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği	2005 - Devam Ediyor

7. Yayınlar

A. Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

A.13. (2018) **Özyön, S.**, Yaşar, C., “Gravitational search algorithm applied to fixed head hydrothermal power system with transmission line security constraints”, *Energy*, Volume xx, Issue x, Pages xx-xx, 2018, ISSN 0360-5442. (SCI) (Kabul Edildi - Basımda)

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.172>

A.12. (2018) Yaşar, C., **Özyön, S.**, “Parçalı yakıt maliyeti fonksiyonlarına sahip çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerinin çözümüne yeni bir yaklaşım - A new approach in the solution of the environmental economic power dispatch problems with piecewise quadratic fuel cost function” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Volume xx, Issue x, Pages xx-xx, 2018, ISSN 1300 - 1884. (SCI Exp.) (Kabul Edildi - Basımda)

<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416363>

A.11. (2018) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Temurtaş, H., “Incremental gravitational search algorithm for high-dimensional benchmark functions”, *Neural Computing and Applications*, Volume x, Issue x, Pages xx-xx, 2018, ISSN 0941-0643. (SCI-Exp.) (Kabul Edildi - Basımda)

<https://doi.org/10.1007/s00521-017-3334-8>

A.10. (2016) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Temurtaş, H., “A novel hybrid algorithm for nonconvex economic power dispatch problems”, *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, Volume 11, Issue 6, Pages 92-101, November - December 2016, ISSN 2320-3331. (IC)

<https://doi.org/10.9790/1676.11060392101>

A.9. (2016) **Özyön, S.**, Durmuş, B., Temurtaş, H., “Gravitational search algorithm with chaotic map (GSA-CM) for solving optimization problems”, *International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET)*, Volume 5, Issue 2, Pages 204-212, February 2016, ISSN 2321-7308. (IC)

<https://doi.org/10.15623/ijret.2016.0502035>

A.8. (2015) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Durmuş, B., Temurtaş, H., “Opposition-based gravitational search algorithm applied to economic power dispatch problems consisting of thermal units with emission constraints”, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, Volume 23, Number Sup.1, Pages 2278-2288, 2015, ISSN 1300-0632. (SCI-Exp.)

<https://doi.org/10.3906/elk-1305-258>

A.7. (2014) Aydın, D., **Özyön, S.**, Yaşar, C., Liao, ., “Artificial bee colony algorithm with dynamic population size to combined economic and emission dispatch problem”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 54, Pages 144-153, January 2014, ISSN 0142-0615. (SCI-Exp.)

<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.06.020>

A.6. (2013) **Özyön, S.**, Aydın, D., “Incremental artificial bee colony with local search to economic dispatch problem with ramp rate limits and prohibited operating zones”, *Energy Conversion and Management*, Volume 65, Pages 397-407, January 2013, ISSN 0196-8904. (SCI-Exp.)

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.07.005>

A.5. (2013) Aydın, D., **Özyön, S.**, “Solution to non-convex economic dispatch problem with valve point effects by incremental artificial bee colony with local search”, Applied Soft Computing, Volume 13, Issue 5, Pages 2456-2466, May 2013, ISSN 1568-4946. (SCI-Exp.)

<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.12.002>

A.4. (2012) Yaşar, C., **Özyön, S.**, “Solution to scalarized environmental economic power dispatch problem by using genetic algorithm”, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 38, Issue 1, Pages 54-62, June 2012, ISSN 0142-0615. (SCI-Exp.)

<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.12.020>

A.3. (2012) **Özyön, S.**, Temurtaş, H., Durmuş, B., Kuvat, G., “Charged system search algorithm for emission constrained economic power dispatch problem”, Energy, Volume 46, Issue 1, Pages 420-430, October 2012, ISSN 0360-5442. (SCI)

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.08.008>

A.2. (2012) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Durmuş, B., Temurtaş, H., Kuvat, G., “Solution to non-convex economic power dispatch problems with generator constraints by charged system search algorithm”, International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.), Volume 7, Number 5, Pages 5840-5853, October 2012, ISSN 1827-6660. (SCI-Exp.)

A.1. (2011) Yaşar, C., **Özyön, S.**, “A new hybrid approach for nonconvex economic dispatch problem with valve-point effect”, Energy, Volume 36, Issue 10, Pages 5838-5845, October 2011, ISSN 0360-5442. (SCI)

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.041>

B. Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

B.9. (2017) Yaşar, C., **Özyön, S.**, Temurtaş, H., “A New Program Design Developed for AC Load Flow Analysis Problems”, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, Cilt 9, Sayı 3, Sayfa 207-222, Aralık 2017, ISSN 1308-5514. (TR DİZİN)

B.8. (2017) Temurtaş, H., Yaşar, C., **Özyön, S.**, “Nümerik fonksiyonların optimizasyonu için karşıt tabanlı yeni bir meta-sezgisel algoritma - A novel opposite-based meta-heuristic algorithm for numerical function optimization”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 17, Sayı 3, Sayfa 922-937, Aralık 2017, ISSN 2149-3367. (TR DİZİN)

B.7. (2016) **Özyön, S.**, Yaşar, C., “Farklı salınım barası seçimlerinin optimal güç akışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi - Analysis of the effects of different slack bus selection on the optimal power flow”, Electronic Journal of Vocational Colleges (EJOVOC), Cilt 6, Sayı 4, Sayfa 108-116, Aralık 2016, ISSN 2146-7884. (IC)

B.6. (2012) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Temurtaş, H., “Valf nokta etkili konveks olmayan ekonomik güç dağıtım problemlerinin harmoni arama algoritmasıyla çözümü - Solution to nonconvex economic dispatch problem with valve point effect by harmony search algorithm”, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 28, s.35-52, Ağustos 2012, ISSN 1302-3055. (DergiPark)

B.5. (2012) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Temurtaş, H., Aydın, D., “Yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım problemlerine geliştirilmiş parçacık sürü optimizasyonu yaklaşımı”, Çankaya University, Journal of Science and Engineering, Volume 9, Number 2, pp.89-106, November 2012, ISSN 1309-6788. (DergiPark)

B.4. (2012) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Temurtaş, H., Özcan, G., “Diferansiyel gelişim algoritmasının yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım problemine uygulanması - The Application of Differential Evolution Algorithm for the Economic Power Dispatch with Prohibited Operating Zone”, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt: 29, Sayı 1, s.61-69, Ocak 2013, ISSN 1012-2354. (SIS)

B.3. (2011) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Temurtaş, H., “Ham enerji kaynağı kısıtlı termik birim içeren sistemlerde çevresel ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü - Solution of environmental economic power dispatch problem in systems with limited energy supply thermal units”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt: XXIV, Sayı 1, s.47-71, Haziran 2011, ISSN 1301-045X. (DergiPark)

B.2. (2011) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Temurtaş, H., “Harmoni arama algoritmasının çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması - Harmony search algorithm applied to environmental economic power dispatch problem”, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt: 26, Sayı 2, s.65-76, Aralık 2011, ISSN 1019-1011. (TR DİZİN)

B.1. (2010) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Temurtaş, H., “Ham enerji kaynağı kısıtlı birim içeren hidrotermal güç sistemlerinde çevresel ekonomik güç dağıtım probleminin çözümü - Solution to environmental economic power dispatch problem in hydrothermal power systems with limited energy supply”, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 21, s.45-64, Nisan 2010, ISSN 1302-3055. (DergiPark)

C. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan, tam metin ya da özet metin olarak yayımlanan bildiriler

C.14. (2017) Aydın, D., Yavuz, G., **Özyön, S.**, Yaşar, C., Stützle, T., “Artificial bee colony framework to non-convex economic dispatch problem with valve point effects”, Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion (GECCO'17), pp.1311-1318, 15-17 July 2017, Berlin, GERMANY. ISBN 978-1-4503-4939-0.

C.13. (2017) Yaşar, C., **Özyön, S.**, Temurtaş, H., “The examination of Ac load flow algorithm in different size energy systems in terms of convergence times - A new program design developed for AC load flow analysis problems”, I. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Sempozyumu (BİLMESS 2017), pp.810-826, 05-08 Ekim 2016, Nevşehir, TÜRKİYE. ISBN 978-605-82164-0-2.

C.12. (2017) Yaşar, C., **Özyön, S.**, Temurtaş, H., “Ac yük akışı analizi problemleri için geliştirilen yeni bir program tasarımı - A new program design developed for AC load flow analysis problems”, I. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Sempozyumu (BİLMESS 2017), Vol.1, pp.505-506, 05-08 Ekim 2016, Nevşehir, TÜRKİYE. ISBN 978-605-82164-0-2. (Özet Metin)

C.11. (2016) **Özyön, S.,** Yaşar, C., “Farklı salınım barası seçimlerinin optimal güç akışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi - Analysis of the effects of different slack bus selection on the optimal power flow”, 2nd International Multidisciplinary Congree of Eurasia (IMCOFE’16), Vol.1, pp.40-50, 11-13 July 2016, Odessa, UKRAYNA. ISBN 978-9944-0637-3-9.

C.10. (2016) Durmuş, B., Hiçdurmaz, B., Temurtaş, H., **Özyön, S.,** “Defining the Parameters of the High Pass Active Filter by Using Backtracking Search Algorithm”, 2nd International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS 2016), Chapter 9, pp.2429-2435, 24-28 May 2016, Sarajevo, BOSNA HERSEK. ISBN 978-605-83575-0-1.

C.9. (2016) Hiçdurmaz, B., Durmuş, B., Temurtaş, H., **Özyön, S.,** “The Prediction of Butterworth Type Active Filter Parameters in Low Pass Sallen Key Topology by Backtracking Search Algorithm”, 2nd International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS 2016), Chapter 9, pp.2422-2428, 24-28 May 2016, Sarajevo, BOSNA HERSEK. ISBN 978-605-83575-0-1.

C.8. (2015) **Özyön, S.,** Yaşar, C., Temurtaş, H., “Hibrit (Rüzgâr-Güneş) Enerji Sistemlerinin Çevresel Ekonomik Güç Dağıtımını üzerine Etkilerinin İncelenmesi - The Analysis of the Effects of Hybrid (Wind-Solar) Energy Systems on Environmental Economic Power Dispatch”, International Multidisciplinary Congree of Eurasia (IMCOFE’15), pp.364-377, 1-5 September 2015, Üsküp, MAKEDONYA. ISBN 978-9944-0637-1-5.

C.7. (2015) **Özyön, S.,** Durmuş, B., Kuvat, G., Özcan, G., “Yüksek Boyutlu Problemlerin Optimizasyonunda Parametre Seçiminin Genetik Algoritma Performansına Etkileri - The Effects of Parameter Selection in the Optimization of Problems with High Size to the Genetic Algorithm Performance”, International Multidisciplinary Congree of Eurasia (IMCOFE’15), pp.842-859, 1-5 September 2015, Üsküp, MAKEDONYA. ISBN 978-9944-0637-1-5.

C.6. (2012) Durmuş, B., Aydın, D., **Özyön, S.,** Kuvat, G., “IIR filter design using incremental artificial bee colony with powell’s CDS”, 6th International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA 2012), pp.1-5, 2-4 July 2012, Trabzon, TURKEY. (978-1-4673-1448-0/12/\$31.00©2012 IEEE).

C.5. (2012) **Özyön, S.,** Durmuş, B., Yaşar, C., Aydın, D., “The application of artificial bee colony algorithm for the economic power dispatch with prohibited operating zone”, 6th International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA 2012), pp.1-5, 2-4 July 2012, Trabzon, TURKEY. (978-1-4673-1448-0/12/\$31.00©2012 IEEE).

C.4. (2011) **Özyön, S.,** Yaşar, C., Temurtaş, H., “Diferansiyel gelişim algoritmasının valf nokta etkili konveks olmayan ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması - Differential evolution algorithm approach to nonconvex economic power dispatch problems with valve point effect”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS 2011), Electrical & Electronics Technologies Papers, Vol.4, EAE-40, pp.181-186, 16-18 May 2011, Elazığ, TURKEY.

C.3. (2011) **Özyön, S.,** Yaşar, C., Temurtaş, H., “Parçacık sürü optimizasyon algoritmasının termik birimlerden oluşan çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması - Particle swarm optimization algorithm applied to environmental economic power dispatch problems consisting of thermal units”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS 2011), Electrical & Electronics Technologies Papers, Vol.4, EAE-39, pp.175-180, 16-18 May 2011, Elazığ, TURKEY.

C.2. (2011) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Aslan, Y., Temurtaş, H., “Particle swarm optimization algorithm for the solution of nonconvex economic dispatch problem with valve point effect”, 7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO 2011), Proceeding Vol.1, pp.101-105, 1-4 December 2011, Bursa, TURKEY.

C.1. (2009) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Aslan, Y., Temurtaş, H., “Solution to environmental economic power dispatch problems in hydrothermal power systems by using genetic algorithm”, 6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO 2009), Proceeding Vol.1, pp.387-392, 5-8 November 2009, Bursa, TURKEY.

D. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan, tam metin ya da özet metin olarak yayımlanan bildiriler

D.9. (2012) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Durmuş, B., Temurtaş, H., “Yerçekimsel arama algoritmasının valf nokta etkili konveks olmayan ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması”, 5. Ulusal Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (ASYU 2012), Akıllı Ajanlar (CD-ROM), s.65-69, 3-4 Temmuz 2012, Trabzon, TÜRKİYE.

D.8. (2012) **Özyön, S.**, Yaşar, C., “Ekonomik güç dağıtım problemlerine rüzgâr enerji santrallerinin etkisinin diferansiyel gelişim algoritmasıyla incelenmesi - The examination of the influence of the wind power plants on economic power dispatch problems by differential evolution algorithm”, 7. Ulusal Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO 2012), Elektrik ve Kontrol Kitapçığı (CD-ROM), s.760-764, 29 Kasım - 01 Aralık 2012, Bursa, TÜRKİYE.

D.7. (2012) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Durmuş, B., Temurtaş, H., “Zıt konumlu yerçekimsel arama algoritmasının termik üretim birimlerinden oluşan emisyon kısıtlı ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması - Opposition-based gravitational search algorithm applied to economic power dispatch problems consisting of thermal units with emission constraints”, 7. Ulusal Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO 2012), Elektrik ve Kontrol Kitapçığı (CD-ROM), s.765-769, 29 Kasım - 01 Aralık 2012, Bursa, TÜRKİYE.

D.6. (2012) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Temurtaş, H., Durmuş, B., “Artırma/azaltma limitli ve yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım problemlerinin yerçekimsel arama algoritması ile çözümü - The solution of the economic power dispatch problems with ramp rate limits and prohibited operating zones by gravitational search algorithm”, 7. Ulusal Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO 2012), Elektrik ve Kontrol Kitapçığı (CD-ROM), s.770-774, 29 Kasım - 01 Aralık 2012, Bursa, TÜRKİYE.

D.5. (2011) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Özcan, G., Temurtaş, H., “Valf nokta etkili konveks olmayan ekonomik güç dağıtım problemlerine yapay arı koloni algoritması (ABC) yaklaşımı - An artificial bee colony algorithm (ABC) aproach to nonconvex economic power dispatch problems with valve point effect”, Ulusal Elektrik-Elektronik Bilgisayar Sempozyumu (FEEB 2011), Bildiri Kitabı-1, s.294-299, 5-7 Ekim 2011, Elazığ, TÜRKİYE.

D.4. (2011) **Özyön, S.**, Yaşar, C., Özcan, G., Temurtaş, H., “Çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine yapay arı koloni algoritması (ABC) yaklaşımı - An artificial bee colony algorithm (ABC) aproach to environmental economic power dispatch problems”, Ulusal Elektrik-Elektronik

Bilgisayar Sempozyumu (FEEB 2011), Bildiri Kitabı-1, s.222-228, 5-7 Ekim 2011, Elazığ, TÜRKİYE.

D.3. (2010) Yaşar, C., Temurtaş, H., **Özyön, S.**, “Diferansiyel gelişim algoritmasının termik birimlerden oluşan çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması - Differential evolution algorithm applied to environmental economic power dispatch problems consisting of thermal units”, 6. Ulusal Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO 2010), Elektrik ve Kontrol Kitapçığı (CD-ROM), s.108-112, 2-5 Aralık 2010, Bursa, TÜRKİYE.

D.2. (2012) Durmuş, B., **Özyön, S.**, Temurtaş, H., Kuvat, G., “Zıt konumlu yerçekimsel arama algoritması ile sayısal IIR filtre modellemesi”, 5. Ulusal Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (ASYU 2012), Akıllı Ajanlar (CD-ROM), s.51-55, 3-4 Temmuz 2012, Trabzon, TÜRKİYE.

D.1. (2008) Yaşar, C., **Özyön, S.**, Temurtaş, H., “Termik üretim birimlerinden oluşan çevresel ekonomik güç dağıtım probleminin genetik algoritma yöntemiyle çözümü”, 5. Ulusal Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO 2008), Elektrik ve Kontrol Kitapçığı, s.105-109, 26-30 Kasım 2008, Bursa, TÜRKİYE.

E. Lisans ve Lisansüstü Tez Çalışmaları

- (2018) **Özyön, S.**, “*Kısa Dönem Hidrotermal Koordinasyon Probleminin Geliştirilen Artırımlı Yerçekimsel Arama Algoritması ile Çözümü*”, Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Mayıs 2018, 214 s.
Danışman: Doç. Dr. Celal YAŞAR

- (2009) **Özyön, S.**, “*Genetik Algoritmanın Bazı Çevresel Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerine Uygulanması*”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Temmuz 2009, 267 s.
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Celal YAŞAR

- (2005) **Özyön, S.**, “*Sayısal Mantık Devrelerin Bilgisayarda Modellenmesi (Lojik Devre Dizayn 1.0)*”, Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Haziran 2005, 47 s.
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali İhsan ÇANAKOĞLU

8. Görev Aldığı Projeler

1. (2017) Araştırmacı, Dumlupınar Üniversitesi 2016-65 No’lu Bilimsel Araştırma Projesi (BAP), Yürütücü: Doç. Dr. Celal YAŞAR, “Optimal güç dağıtım problemlerinin çözümünde kullanılmak üzere sezgisel algoritmanın performansının geliştirilmesi”.
14.07.2016 - 13.07.2017. Tamamlandı.

9. Hakemlik Yapılan Dergiler

International Transactions on Electrical Energy Systems (SCI-Exp)	2
Desalination and Water Treatment (SCI-Exp)	1
Energy (SCI)	1
International Journal of Control (SCI)	1
International Journal of Engineering Science and Technology (ESCI)	1
Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences (SCI-Exp)	4
Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence (SCI-Exp)	1
IET Generation Transmission & Distribution (SCI)	1
International Journal of Information Technology & Decision Making (SCI-Exp)	1
International Journal of Management Science and Engineering Management (ESCI)	1
Neural Computing and Application (SCI-Exp)	1
International Journal of Electrical Power and Energy Systems (SCI-Exp)	2
Electric Power Components and Systems (SCI-Exp)	1

10. İletişim Bilgileri

Yazışma adresi	Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Tavşanlı Yolu 12.Km, 43100, Kütahya/TÜRKİYE
Telefon	0 274 265 20 31 - 4264
Faks	0 274 265 20 56
E-mail	serdar.ozyon@dpu.edu.tr
Web	http://portal.dpu.edu.tr/serdar.ozyon
Akademik	Portal: SerdarOZYON (link) Google Akademik: SerdarOZYON (link) YÖK Akademik: SerdarOZYON (link) YÖKSİS ID: 34673 (link) Orcid ID: 0000-0002-4469-3908 (link) Scopus Author ID: 35409925900 (link) Researcher ID: E-7794-2016 (link) Mendeley Page: (link)