



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

**BBO ALGORİTMASININ OPTİMİZASYON
BAŞARIMININ İNCELENMESİ**

Tufan İNAÇ
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Cihan KARAKUZU

BİLECİK, 2014
Ref. No: 10047208



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

**BBO ALGORİTMASININ OPTİMİZASYON
BAŞARIMININ İNCELENMESİ**

Tufan İNAÇ
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Cihan KARAKUZU

BİLECİK, 2014



BİLECİK SEYH EDEBALI UNIVERSITY
Graduate School of Sciences
Department of Computer Engineering

**OPTIMIZATION PERFORMANCE INVESTIGATION OF
BBO ALGORITHM**

Tufan İNAÇ
Master's Thesis

Thesis Advisor
Assoc. Prof. Dr. Cihan KARAKUZU

BİLECİK, 2014



BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ

**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ~~05.06.2014~~ tarih ve ~~25/5~~ sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ~~26.06.2014~~ tarihinde tez savunma sınavı yapılan Tufan İNAÇ'ın "BBO Algoritmasının Optimizasyon Başarımının İncelenmesi" başlıklı tez çalışması Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI): Doç. Dr. Cihan KARAKUZU

ÜYE: Yrd. Doç. Dr. Sıtkı ÖZTÜRK

ÜYE: Yrd. Doç. Dr. Suhap ŞAHİN

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamda her konuda bilgi, deneyim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, gerçek hayatta da ağabeyliğini hiç esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Cihan KARAKUZU'ya çok teşekkür ederim. Yine bu yolda emeklerini ve yardımlarını hiç esirgemeyen değerli abim ve hocam Yrd. Doç. Dr. Uğur YÜZGEÇ'e çok teşekkür ederim.

Destek, anlayıő ve sabırlarını üzerimden hiç eksik etmeyen annem ve babama çok teşekkür ederim.

Yine adını sayamadığım ama bitirme aşamasında desteklerini ve temennilerini esirgemeyen herkeze sonsuz teőekkürlerimle.

ÖZET

Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (Biogeography Based Optimization) (BBO) algoritması, Dan Simon tarafından 2008 yılında geliştirilen yeni bir sezgisel arama algoritmasıdır. Bu tez çalışmasında, bu algoritmanın başarımının incelenmesi üzerinde çalışılmıştır. Algoritmanın başarımı bulanık mantık tabanlı örnek dinamik sistem tanıma problemleri üzerinde irdelenmiştir.

Çalışmada örnek dinamik sistemlerin ANFIS bulanık çıkarım sistemi ile modellenmesinde BBO algoritmasının ANFIS parametrelerini ayarlaması sağlanmıştır.

Her bir dinamik sistem problemi üzerinde BBO algoritması koşturulmuş. BBO algoritmasının bulanık ağ yapısı üzerinde optimizasyon başarımını daha detaylı inceleyebilmek amacıyla farklı veri setleri (test seti) kullanılarak her bir örnek sistem için elde edilen ANFIS modeli test edilmiştir.

BBO algoritması ile elde edilen sonuçlar ABC, PSO ve DE algoritmalarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. BBO algoritması eğitim seti için 0.4, test seti için 0.7 ortalama başarımları ile en iyi sonucu vermiştir.

Anahtar Sözcükler: BBO Algoritması, ANFIS, Dinamik Sistem, Sezgisel Algoritma, Optimizasyon.

ABSTRACT

Biogeography Based Optimization (BBO) algorithm, is a heuristic optimization algorithm which is developed by Dan Simon in 2008. In this thesis, it has been studied on performance investigation of this algorithm. Performance of the algorithm has been examined on sample dynamic system identification problems based on fuzzy logic. In the study, it is provided that BBO algorithm tunes ANFIS parameters for modeling sample dynamic systems with ANFIS fuzzy inference system.

BBO algorithm has been run seperately on each dynamic system problem. Obtained ANFIS models for each sample system has been tested using different data set (test set) in order to examine more detailed optimization performance of BBO algorithm on fuzzy network structure. The obtained results achieved by BBO algorithm have been campared with the results achieved by ABC, PSO and DE algorithms.

BBO algorithm has been showed the best performance with 0.4 for training set and 0.7 for test set in terms of the mean performance number.

Keywords: BBO Algorithm, ANFIS, Dynamic System, Heuristic Algorithm, Optimization.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
TEŞEKKÜR	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
TABLolar DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. BİYOCOĞRAFYA TABANLI OPTİMİZASYON ALGORİTMASI (BBO).....	4
3. BBO ALGORİTMASI İLE FONKSİYON OPTİMİZASYONU.....	8
3.1 F1 Fonksiyonu : Peaks.....	8
3.2 F2 Fonksiyonu.....	11
3.3 F3 Fonksiyonu.....	14
3.4 F4 Fonksiyonu : Alpine.....	17
3.5 F5 Fonksiyonu : Ackley.....	20
3.6 F6 Fonksiyonu : Griewangk.....	23
3.7 F7 Fonksiyonu : Rastrigin.....	26
3.8 F8 Fonksiyonu : Schwefel.....	29
3.9 F9 Fonksiyonu : Michalewicz.....	32
3.10 BBO Algoritmasının Test Fonksiyonları Üzerindeki Başarımını.....	35
4. BULANIK SİSTEM MODELLEMESİNDE KULLANILAN ANFIS ÇIKARIM SİSTEMİ VE ÖRNEK DİNAMİK SİSTEMLER.....	38
4.1 Örnek Dinamik Sistem Problemleri (ÖDSP).....	38
4.2 Bulanık Mantık.....	40
4.3 Uyarlanabilir Yapay Sinir Ağı Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi(ANFIS)..	41

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

5. SEZGİSEL ARAMA ALGORİTMA TABANLI BULANIK SİSTEM OPTİMİZASYONU.....	45
5.1 ÖDSP 1'in Tanınması ve Modellenmesi.....	47
5.1.1 ÖDSP 1 İçin Eğitim Aşaması ve Sonuçları.....	47
5.1.2 ÖDSP 1 İçin Test Aşaması ve Sonuçları.....	50
5.2 ÖDSP 2'nin Tanınması ve Modellenmesi.....	51
5.2.1 ÖDSP 2 İçin Eğitim Aşaması ve Sonuçları.....	51
5.2.2 ÖDSP 2 İçin Test Aşaması ve Sonuçları.....	54
5.3 ÖDSP 3'ün Tanınması ve Modellenmesi.....	55
5.3.1 ÖDSP 3 İçin Eğitim Aşaması ve Sonuçları.....	55
5.3.2 ÖDSP 3 İçin Test Aşaması ve Sonuçları.....	58
5.4 ÖDSP 4'ün Tanınması ve Modellenmesi.....	59
5.4.1 ÖDSP 4 İçin Eğitim Aşaması ve Sonuçları.....	59
5.4.2 ÖDSP 2 İçin Test Aşaması ve Sonuçları.....	62
5.5 ÖDSP 5'nin Tanınması ve Modellenmesi.....	63
5.5.1 ÖDSP 5 İçin Eğitim Aşaması ve Sonuçları.....	63
5.5.2 ÖDSP 5 İçin Test Aşaması ve Sonuçları.....	66
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	73

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 3.1 F1 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.....	10
Tablo 3.2 F2 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.....	13
Tablo 3.3 F3 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.....	16
Tablo 3.4 F4 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.....	19
Tablo 3.5 F5 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.....	22
Tablo 3.6 F6 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.....	25
Tablo 3.7 F7 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.....	28
Tablo 3.8 F8 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.....	31
Tablo 3.9 F9 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.....	34
Tablo 3.10 BBO algoritması tüm fonksiyonların 100 koşma sonucunda edilen sonuçlar tablosu veri tablosu.....	35
Tablo 4.1 BBO algoritmasının bulanık sistem modellemesinde kullanılan ÖDSP'ler, eğitim ve test setlerinde kullanılan harici giriş dizileri.....	39
Tablo 4.2 BBO algoritmasının bulanık sistem modellemesinde kullanılan ÖDSP girişleri, ÜF, kural ve optimize edilecek parametre sayısı.....	40
Tablo 6.1 BBO, ABC, PSO ve DE algoritmalarının her bir ÖDSP modellemesi için eğitim aşamasındaki başarımların kıyaslaması.....	68
Tablo 6.2 BBO, ABC, PSO ve DE algoritmalarının her bir ÖDSP modellemesi için test aşamasındaki başarımların kıyaslaması.....	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1 F1 fonksiyonu yüzeyi ve eş yükselti eğrileri.....	8
Şekil 3.2 F1 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.....	9
Şekil 3.3 F2 fonksiyonu yüzeyi ve eş yükselti eğrileri.....	11
Şekil 3.4 F2 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.....	12
Şekil 3.5 F3 fonksiyonu yüzeyi ve eş yükselti eğrileri	14
Şekil 3.6 F3 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları	15
Şekil 3.7 F4 fonksiyonu yüzeyi ve eş yükselti eğrileri	17
Şekil 3.8 F4 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları	18
Şekil 3.9 F5 fonksiyonu yüzeyi ve eş yükselti eğrileri.....	20
Şekil 3.10 F5 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.....	21
Şekil 3.11 F6 fonksiyonu yüzeyi ve eş yükselti eğrileri.....	23
Şekil 3.12 F6 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.....	24
Şekil 3.13 F7 fonksiyonu yüzeyi ve eş yükselti eğrileri.....	26
Şekil 3.14 F7 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.....	27
Şekil 3.15 F8 fonksiyonu yüzeyi ve eş yükselti eğriler.....	29
Şekil 3.16 F8 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.....	30
Şekil 3.17 F9 fonksiyonu yüzeyi ve eş yükselti eğrileri.....	32
Şekil 3.18 F9 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.....	33
Şekil 4.1 Birinci derece Sugeno bulanık çıkarımına eşdeğer ANFIS mimarisi.....	42
Şekil 5.1 ÖDSP'lerin eğitim ve test aşamalarında kullanılan $u(k)$ dizileri.....	46
Şekil 5.2 ÖDSP 1 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.....	47
Şekil 5.3 ÖDSP 1 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.....	48
Şekil 5.4 ÖDSP 1 eğitim aşamasında üyelik fonksiyonları (ÜF) başlangıç ve en son durumları.....	48
Şekil 5.5 ÖDSP 1 eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri.....	49
Şekil 5.6 ÖDSP 1 eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri.....	49
Şekil 5.7 ÖDSP 1 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm...50	50

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

	Sayfa No
Şekil 5.8 ÖDSP 1 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.....	50
Şekil 5.9 ÖDSP 2 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.....	51
Şekil 5.10 ÖDSP 2 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.....	52
Şekil 5.11 ÖDSP 2 eğitim aşamasında üyelik fonksiyonları (ÜF) başlangıç ve en son durumları.....	52
Şekil 5.12 ÖDSP 2 eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri.....	53
Şekil 5.13 ÖDSP 2 eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri.....	53
Şekil 5.14 ÖDSP 2 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.....	54
Şekil 5.15 ÖDSP 2 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.....	54
Şekil 5.16 ÖDSP 3 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.....	55
Şekil 5.17 ÖDSP 3 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.....	56
Şekil 5.18 ÖDSP 3 eğitim aşamasında üyelik fonksiyonları (ÜF) başlangıç ve en son durumları.....	56
Şekil 5.19 ÖDSP 3 eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri.....	57
Şekil 5.20 ÖDSP 3 eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri.....	57
Şekil 5.21 ÖDSP 3 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.....	58
Şekil 5.22 ÖDSP 3 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.....	58
Şekil 5.23 ÖDSP 4 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.....	59

Şekil 5.24 ÖDSP 4 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.....	60
Şekil 5.25 ÖDSP 4 eğitim aşamasında üyelik fonksiyonları (ÜF) başlangıç ve en son durumları.....	60
Şekil 5.26 ÖDSP 4 eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri.....	61
Şekil 5.27 ÖDSP 4 eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri.....	61
Şekil 5.28 ÖDSP 4 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm..	62
Şekil 5.29 ÖDSP 4 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.....	62
Şekil 5.30 ÖDSP 5 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.....	63
Şekil 5.31 ÖDSP 5 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.....	64
Şekil 5.32 ÖDSP 5 eğitim aşamasında üyelik fonksiyonları (ÜF) başlangıç ve en son durumları.....	64
Şekil 5.33 ÖDSP 4 eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri.....	65
Şekil 5.34 ÖDSP 4 eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri.....	65
Şekil 5.35 ÖDSP 5 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm..	66
Şekil 5.36 ÖDSP 5 test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- BBO** : Biogeography Based Optimization (Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon)
- ABC** : Artificial Bee Colony Algorithm (Yapay Arı Kolonisi Algoritması)
- PSO** : Particle Swarm Optimization (Parçacık Sürü Optimizasyonu)
- DE** : Differential Evolution Algorithm (Farksal Gelişim Algoritması)
- GA** : Genetic Algorithm (Genetik Algoritma)
- KKA** : Karınca Koloni Algoritması
- ANFIS**: Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Uyarlanabilir Yapay Sinir Ağı
Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi)
- ÖDSP** : Örnek Dinamik Sistem Problemleri
- ÜF** : Üyelik Fonksiyonları
- SIV** : Suitability Index Variable (Uygunluk Endeksi Değişkenleri)
- HSI** : Habitat Suitability Index (Yaşam Uygunluğu Endeksi)

1. GİRİŞ

Günümüzde bilimsel olarak hem fen bilimleri hem de sosyal bilimlere ait uygulama alanlarında karşılaşılan birçok problem doğrusal veya doğrusal olmayan optimizasyon problemidir. Pratik hayatta uygulamada karşımıza çıkan optimizasyon problemlerinin büyük bölümü doğrusal olmayan yapıya sahiptir. Bu tip doğrusal olmayan problemlerin çözümü için geliştirilen birçok yöntem ve yaklaşım mevcuttur (Kesintürk, 2006).

Çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünde, değişken sayısı ve veri çeşitlerine bağlı olarak problemlerin karmaşıklık dereceleri artabilmektedir. Bu tip problemlerin klasik optimizasyon yöntemleriyle çözümü, problemlerin karmaşıklık yapılarına bağlı olarak modellemede ve çözüm süreçlerinde zorluklar içermektedir. Bu tip çözüm yöntemleri daha çok problemlere özel yöntemlerdir. Ayrıca problemlerin matematiksel fonksiyonlarla tanımlanması gerekmektedir. Bunlar bu tip çözüm yöntemlerinin dezavantajları arasında sayılabilir. Bu güçlükleri giderebilmek için doğada var olan sistemleri ve olayları temel alarak tasarlanan sezgisel yöntemler geliştirilmiştir (Karaboğa, 2004).

Popülasyon tabanlı sezgisel çok boyutlu arama işlemleri sonucunda, optimizasyon problemlerinin çözümüne hızlı bir şekilde ulaşılabilmektedir. Sezgisel yaklaşımla tasarlanan algoritmalar arasında Genetik Algoritma (GA), Karınca Kolonisi Algoritması (KKA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) Algoritması, Farksal Gelişim (DE) Algoritması, Yapay Arı Kolonisi Algoritması (ABC) ve Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (BBO) algoritmaları sayılabilir (Kesler vd., 2011). BBO algoritması ile ilgili özet literatür aşağıda irdelenmiştir.

Dan Simon tarafından bilimsel camiaya tanıtılan Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon (BBO) algoritmasının, 2008 yılından günümüze yapılan literatür taraması sonucunda tez çalışmamızla ilgili yapılan çalışmalar kısaca özetlenmiştir (Simon, 2008).

M.R. Lohokare ve arkadaşları dikdörtgen mikroşerit anten parametrelerinin hesaplanmasında BBO algoritmasını kullanmışlardır. Son zamanlarda özellikle kablosuz iletişim sistemleri ve biyomedikal uygulamalarında büyük ilgi gören mikroşerit antenlerin verimliliklerinin artırılması için, önemli bir parametre olan rezonans frekansı ve dikdörtgen mikroşerit anten tasarımının doğru şekilde belirlenmesi

önemlidir. Sonuç olarak BBO algoritmasının anten tasarımı başarımının iyi ve uyumlu olduğu bildirilmiştir (Lohokare vd., 2009).

R. Rarick güç akış problemlerinin çözümü için BBO algoritmasını kullanmıştır. Bu çalışmada güç akış problemi üzerinde, GA ve BBO algoritması üzerinde çalışılmış ve sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçlar Monte Carlo simülasyonları üzerinde gerçekleştirilmiş ve BBO algoritmasının GA algoritmasına göre sürekli olarak daha iyi performans sergilediği bildirilmiştir (Rarick, 2009).

A. Bhattacharya ve P.K. Chattopadhyay ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümü için, DE ve BBO algoritmalarının birleşiminden oluşan hibrid bir yaklaşım kullanmışlardır. Bu çalışmada ısıtıcı güç, iletim kayıpları, vana yükleme noktası, yasak ve işletim bölgeleri gibi parametreler hibrid DE/BBO algoritması ile modellenmiştir. Sonuç olarak hibrid DE/BBO algoritmasının elde ettiği hız nedeniyle kaliteli, çözüme yaklaşan alternatif yaklaşımlı ve umut verici bir yöntem olduğu bildirilmiştir (Bhattacharya ve Chattopadhyay, 2010).

A. Sharaga ve N. Dib doğrusal ve dairesel anten dizilerinin tasarımı aşamasında BBO algoritmasını kullanmışlardır. Doğrusal ve dairesel anten dizileri tasarımı önemli bir elektromanyetik optimizasyon problemidir. Bu çalışmada bu diziler için radyasyon tabanlı sorunların tasarlanması ele alınmıştır. Sonuç olarak BBO algoritmasının, diğer optimizasyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların etkinliğinin görüldüğü bildirilmiştir (Sharaga ve Dib, 2011).

V.K. Panchal ve arkadaşları uydu verileriyle uzaktan algılanan jeo-uzamsal görüntülerin sınıflandırılması aşamasında BBO algoritmasını kullanmışlardır. Yakın tarihli araştırma bugularına göre farklı doğal arazi özelliklerine farklı sınıflandırıcı sistemleri uygulandığında farklı sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir. Sonuç olarak BBO algoritmasının uzaktan algılanan jeo-uzamsal görüntülerin sınıflandırılmasında, homojen arazi örtüsünün özelliklerine ayrıştırılması aşamasında son derece doğru sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Panchal vd., 2011).

J. Li ve J. Zhao farksal gelişim (DE) algoritması ve biyocoğrafya tabanlı optimizasyon (BBO) algoritması birleştirilmesiyle yeni bir optimizasyon yöntemi oluşturmuş, bu yeni yöntemi dağıtım ağı yeniden yapılandırma optimizasyonunda ağ kaybının minimuma indirilmesi amacıyla kullanmışlardır. Yeni yöntem iki algoritmanın

avantajlı yanlarını birleştirir. Sonuç olarak yeni yöntemin verimli, hızlı ve yakın sonuç vermede iyi bir denge sağladığı bildirilmiştir (Li ve Zhao, 2012).

W. Fuli ve arkadaşları PID kontrol parametrelerinin belirlenmesinde yerel arama yeteneği geliştirilmiş biyocoğrafya tabanlı optimizasyon (BBO) algoritmasını kullanmışlardır. BBO algoritmasının yeni bir evrimsel algoritma olduğu ancak yerel arama yeteneğinin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu çalışmada geliştirilmiş BBO algoritması için yerel arama özelliği farksal gelişim (DE) algoritması, göç operatörleri BBO algoritmasından alınarak yeni bir yaklaşım tasarlanmıştır. Sonuç olarak PID optimum parametre kontrolü için diğer yaklaşımlara göre daha hızlı sonuç verdiği bildirilmiştir (Fuli vd., 2013).

B. Saraçoğlu ve arkadaşları asenkron motorların elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin tahmini için BBO algoritmasını kullanmışlardır. Bu yöntem kullanılarak elektriksel eşdeğer devre parametrelerinin hızlı ve düşük hatayla belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar GA algoritması ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak BBO algoritmasının GA algoritmasına göre parametre tahminindeki hata değerlerinin daha az olduğu ve daha etkili olduğu söylenmiştir (Saraçoğlu vd., 2013).

Yapılan literatür çalışması sonucunda, ANFIS bulanık çıkarım sistemi kullanılarak dinamik problemler üzerinde BBO algoritmasının optimizasyon başarımının incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bilimsel çalışmalarda BBO algoritması daha çok modelleme, tasarım aşamaları ve ilgili problemlere ait parametrelerin belirlenmesinde kullanılmıştır. Henüz yeni bir sezgisel algoritma olduğu için BBO algoritması üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

Bu tez çalışmasında BBO algoritmasının çalışma mantığının kavranması ve davranışının anlaşılması açısından öncelikle fonksiyon optimizasyonu üzerinde, sonra da başarımının incelenmesi açısından dinamik sistemlerin ANFIS bulanık mantık tabanlı modellenmesinde parametre optimizasyonu üzerinde çalışılmıştır.

Yukarıda anılan çerçevede yapılan çalışmalar bu tez kitabında şu organizasyonda anlatılmıştır : İkinci bölümde BBO algoritması anlatılmış olup üçüncü bölümde fonksiyon optimizasyonu üzerine yapılan çalışma sonuçları verilmiştir. Dördüncü bölümde bulanık mantık tabanlı sistem modellemede BBO algoritması ile ANFIS parametrelerinin optimizasyonu üzerinde elde edilen sonuçlar özetlenmiştir. Altıncı bölümde ise sonuçlar ve öneriler değerlendirilmiştir.

2. BİYOCOĞRAFYA TABANLI OPTİMİZASYON ALGORİTMASI (BBO)

Biyocoğrafya tabanlı optimizasyon (BBO) algoritması, Dan Simon tarafından geliştirilen yeni bir biyolojik çeşitlilik ve popülasyon tabanlı optimizasyon tekniğidir. Simon, BBO algoritmasının geliştirilmesinde Robert MacArthur ve Edward Wilson tarafından bulunan biyocoğrafya'nın matematiksel modellerinden esinlenmiştir (MacArthur ve Wilson, 1967). BBO algoritması dikdörtgen mikroşerit yama antenin rezonans frekansının hesaplanması, güç sistemleri analizi, standart güç akış problemi gibi optimizasyon problemlerini çözmede yeteneğini ispatlamıştır (Simon, 2008). Biyocoğrafya doğadaki türlerin dağılımının çalışmasıdır. Her olası çözüm bir adadır ve uygunluk endeksi değişkenleri (*SIV*) adı verilen yaşanabilirliği karakterize eden özelliklere sahiptir. Her çözümün özüne kendi yaşam uygunluğu endeksi denir (*HSI*). BBO'da, bir yaşam ortamı *H*, rastgele başlatılan *N*'nin (*SIVs*) bir vektörüdür ve daha sonra hedefe ulaşmak için asgari göç ve mutasyon adımını takip eder. Göçteki bilgi her çözümün göç oranları μ ve göçmenlik oranları λ 'ya bağlı olan yaşam ortamları arasında paylaşılır. Her çözüm, kullanıcı tanımlı bir parametre olan yaşam ortamları arasında paylaşılır. Her birey, kullanıcı tanımlı bir parametre olan P_{mod} olasılığına bağlı olarak değiştirilir (Saraçoğlu vd., 2013).

Her bireyde göçmenlik oranı λ ve göç oranları μ değerleri mevcuttur ve *K* türlerinin sayısının birer fonksiyondur. Fonksiyonlar (2.1) ve (2.2)'deki matematiksel eşitlikleriyle ifade edilirler (Simon, 2008).

$$\lambda_k = \frac{E.K}{P} \quad (2.1)$$

$$\mu_k = I \cdot \left(1 - \frac{K}{P}\right) \quad (2.2)$$

Eşitliklerde *E*, *I* ve *P* sırasıyla maksimum güçmenlik oranı (*max.* λ), maksimum göç oranı (*max.* μ) ve popülasyon büyüklüğünü temsil etmektedir (Simon, 2008).

Mevcut algoritmamızda bir probleme ve tamsayıların vektörleri şeklinde aday çözümlerin yoğunluğuna sahip olduğumuzu düşünelim. Bu durumda çözüm vektöründeki her bir tamsayı *SIV* olarak ifade edilir. Bu durumda iyi olan çözümler

yüksek *HSI*’lı yaşam ortamı, kötü olan çözümler düşük *HSI*’lı yaşam ortamı şeklinde ifade edilebilir. *HSI* ifadesi, diğer popülasyon tabanlı algoritmalarındaki “fitness” değerine karşılık gelmektedir (Örneğin GA). Yüksek *HSI* çözümleri çok çeşitli yaşam ortamlarını, düşük *HSI* çözümleri az çeşitli yaşam ortamlarını temsil etmektedir (Simon, 2008).

Göç algoritması aşağıda verilen sözde kod ile açıklanabilir (Simon, 2008).

α , λ_i olasılığı ile H_i seçilir
if H_i (eğer H_i seçilmişse)
for $j=1$ to P
 α , μ_i olasılığı ile H_j seçilir
if H_j (eğer H_j seçilmişse)
 H_j ’den SIV için rastgele bir σ seç
 σ ile H_i de rastgele bir SIV’ı değiştir
end if
end for
end if

BBO algoritmasında mutasyon iyi çözümler elde etmek ve popülasyonun çeşitliliğini arttırmak için kullanılır. Mutasyon oranı m , (2.3)’deki matematiksel eşitlikle ifade edilir (Simon, 2008).

$$m_{(s)} = P_{mutate} \left(1 - \frac{P_i}{P_{max}} \right) \quad (2.3)$$

Matematiksel ifadesi (2.3)’de verilen eşitlikte $P_{(mutate)}$ kullanıcı tanımlı mutasyon olasılığı parametresi ve $P_{max} = \arg \max P_i$, $i = 1, \dots, P$ şeklindedir (Simon, 2008).

Mutasyon algoritması aşağıda verilen sözde kod ile açıklanabilir (Simon, 2008).

```

for j=1 to N
     $P_i$  olasılığını hesaplamak için  $\lambda_i$  ve  $\mu_i$  kullan
     $\alpha$ ,  $P_i$  olasılığı ile SIV,  $H_{i(j)}$  seçilir
    if  $H_{i(j)}$  (eğer  $H_{i(j)}$  seçilmişse)
        Rastgele üretilen SIV ile  $H_{i(j)}$  'yi yer değiştir
    end if
end for

```

BBO algoritması başlangıç parametreleri ve algoritmanın program döngü yapısı aşağıdaki gibi tanımlanır (Simon, 2008).

P : Popülasyon boyutu
 G : Maksimum nesil sayısı
 E : Elit birey sayısı
 P_{mod} : Ada modifikasyon olasılığı

Adım 1 : Popülasyon büyüklüğünü belirle ve arama uzayında rastgele başlangıç popülasyonunu oluştur (X)

Adım 2 : Başlangıç popülasyonu bireylerinin uygunluklarını belirle

Adım 3 : Başlangıç popülasyon bireylerini en iyiden kötüye doğru sırala

Adım 4 : Başlangıç popülasyonun en iyi bireyini ve onun uygunluğunu kaydet

Adım 5 : Geçici boş bir popülasyon oluştur (Z)

Adım 6 : Göç ve göçmenlik oranlarını hesapla (λ ve μ)

Adım 7 : for iterasyon = 1:Max_iterasyon

Adım 8 : Popülasyon elit bireylerini (E adet) uygunluklarını sakla

Adım 9 : Göç ve göçmenlik oranlarına dayalı olarak geçici popülasyonun bireylerini belirle (göç etme)

Adım 10: Geçici popülasyon için mutasyon algoritmasını işlet

Adım 11: Geçici popülasyon ile asıl popülasyonu yer değiştir ($X=Z$)

Adım 12: Popülasyonu en iyiden en kötüye doğru sırala

Adım 13: Popülasyondaki en kötü E (elit birey sayısı) adet bireyin yerine daha önce saptanan elit bireyleri koy

Adım 14: Popülasyonu sırala ve en iyi bireyi ve uygunluğunu sakla

Adım 15: End

3. BBO ALGORİTMASI İLE FONKSİYON OPTİMİZASYONU

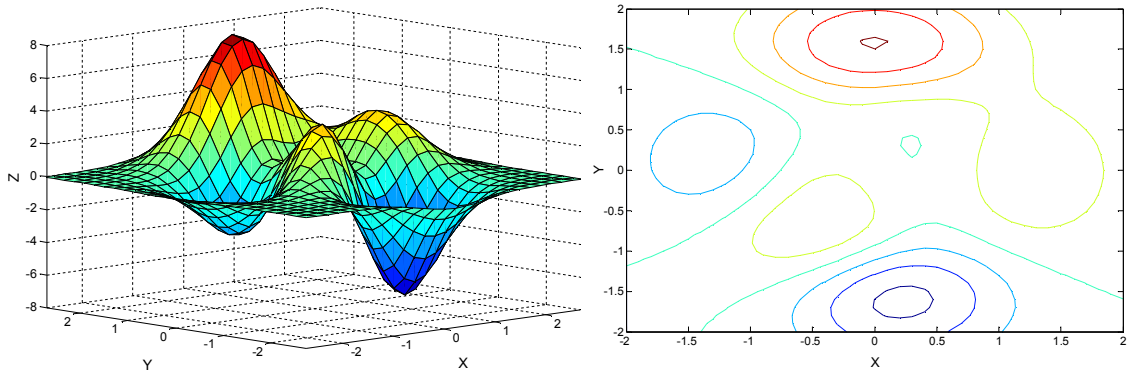
Bu bölümde, 2. bölümde işleyişi açıklanan BBO algoritmasının, çalışması ve mantığının kavranabilmesi amacıyla çeşitli fonksiyonlar üzerinde çalışılmıştır. Algoritmanın başarımının incelenebilmesi ve test edilebilmesi için literatürden alınan multimodal (çok çukur ve tepeli) Sphere, Rastrigin, Griewangk, Michalewics, Alpine, Schwefel ve Ackley fonksiyonları kullanılmıştır. Fonksiyonlar üzerinde BBO algoritmasının küresel minimum noktasını bulma kabiliyeti denenmiş ve gözlemlenmiştir. Bu kapsamda kullanılan fonksiyonların optimizasyonu sonuçları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

3.1. F1 Fonksiyonu : Tepeler (Peaks)

F1 fonksiyonu matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$z = 3 \times (1 - x)^{-(x^2 + (y+1)^2)} - 10 \times ((x/5) - x^3 - y^3) \times e^{(x^2 - y^2 - (1/3))} \times e^{-(x+1)^2 - y^2} \quad (3.1)$$

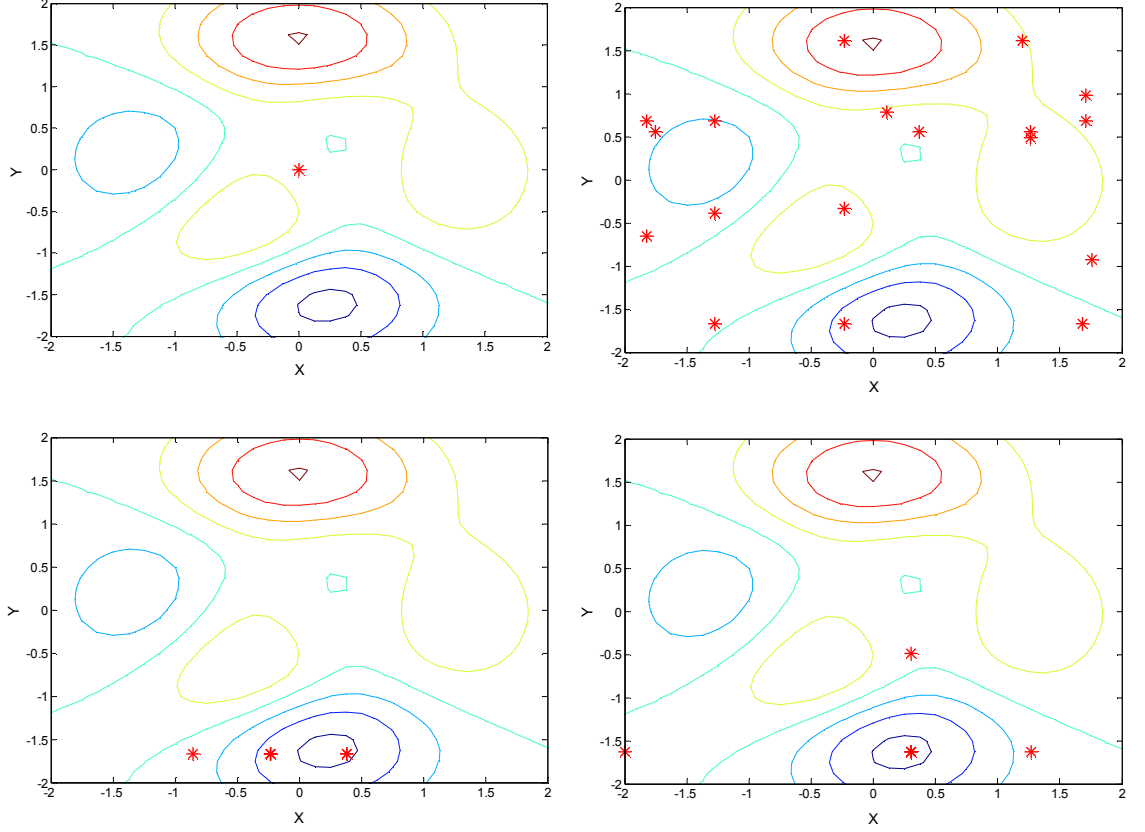
Şekil 3.1'de fonksiyonun yüzeyi ve eş yükselti eğrileri verilmiştir. BBO algoritması ile bu fonksiyonun global minimum noktasının bulunması üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 3.1 F1 fonksiyonu yüzeyi (sol şekil) ve eş yükselti eğrileri (sağ şekil).

Şekil 3.1'de gösterilen fonksiyonun yüzey grafiğinde de görüleceği gibi bir adet küresel minimum noktası vardır. Fonksiyonun küresel minimum noktası $x=0,224$ ve $y=-1,627$ değerleri için $z=-6,551$ 'dedir.

BBO algoritmasına F1 fonksiyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşma yaptırılarak küresel minimum değeri buldurulmuştur. Şekil 3.2’de BBO algoritmasının F1 fonksiyonu optimizasyonu için muhtelif adımlardaki birey pozisyonlarının dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 3.2 F1 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.

Tablo 3.1 de BBO algoritmasının F1 fonksiyonu optimizasyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşması sonucunda her bir koşmada elde edilen, en iyi x ve y değeri, ölçüt değeri ve her bir koşma sonucunda bulunan çözümlerin yerel mi küresel mi olduğu gösterilmektedir.

Tablo 3.1 F1 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.

Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçüt	Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçüt
			x	y					x	y	
1		X	0,28093	-1,65560	-6,50650	51	X		-1,50280	0,27858	-2,84650
2		X	0,32457	-1,57300	-6,44080	52		X	0,23994	-1,58010	-6,52180
3		X	0,14626	-1,64450	-6,48770	53		X	0,25359	-1,55820	-6,48540
4		X	0,24537	-1,63550	-6,54630	54		X	0,21960	-1,59650	-6,53710
5	X		-1,38180	0,31916	-2,97420	55		X	0,28865	-1,62800	-6,51570
6		X	0,27685	-1,59480	-6,52030	56		X	0,20615	-1,72650	-6,41240
7		X	0,17361	-1,63520	-6,52310	57		X	0,13604	-1,64610	-6,47120
8		X	0,16490	-1,64260	-6,51260	58		X	0,11518	-1,76230	-6,23110
9		X	0,19865	-1,75600	-6,32270	59		X	0,19814	-1,68920	-6,49210
10		X	0,20636	-1,70560	-6,46270	60		X	0,19490	-1,62760	-6,54060
11		X	0,09247	-1,72660	-6,28800	61	X		-1,33670	0,18818	-3,04730
12		X	0,22368	-1,61460	-6,54900	62		X	0,13169	-1,62360	-6,46060
13		X	0,21651	-1,65850	-6,53570	63		X	0,25656	-1,61520	-6,54300
14		X	0,24095	-1,60200	-6,54270	64		X	0,15294	-1,56970	-6,43220
15		X	0,21691	-1,64910	-6,54290	65	X		0,33671	-1,40350	-5,82490
16		X	0,15261	-1,63870	-6,49760	66		X	0,27283	-1,63430	-6,52970
17		X	0,23570	-1,60430	-6,54470	67		X	0,23539	-1,61190	-6,54830
18		X	0,13600	-1,72390	-6,36920	68		X	0,23089	-1,60750	-6,54650
19		X	0,31631	-1,58180	-6,46330	69		X	0,24689	-1,53000	-6,42070
20		X	0,06669	-1,64960	-6,31100	70		X	0,25996	-1,56760	-6,49960
21		X	0,11507	-1,60190	-6,40800	71		X	0,40157	-1,71030	-6,14030
22		X	0,21704	-1,67180	-6,52140	72		X	0,19387	-1,68910	-6,49060
23		X	0,29764	-1,58590	-6,49230	73		X	0,24533	-1,60530	-6,54370
24		X	0,22013	-1,56540	-6,49550	74		X	0,22801	-1,63470	-6,54990
25		X	0,24232	-1,62660	-6,54920	75		X	0,22418	-1,64660	-6,54490
26		X	0,22441	-1,62700	-6,55100	76		X	0,26125	-1,62060	-6,54100
27		X	0,15277	-1,61970	-6,49390	77		X	0,33616	-1,54240	-6,37260
28		X	0,12917	-1,63450	-6,45940	78		X	0,22959	-1,64660	-6,54470
29		X	0,18825	-1,62120	-6,53470	79		X	0,38886	-1,48590	-6,10890
30		X	0,26153	-1,51970	-6,39020	80		X	0,18493	-1,67300	-6,50870
31		X	0,25911	-1,59230	-6,52990	81		X	0,22332	-1,62780	-6,55090
32		X	0,24757	-1,65680	-6,53150	82		X	0,26603	-1,66090	-6,51520
33		X	0,21572	-1,67850	-6,51220	83		X	0,21277	-1,63450	-6,54820
34		X	0,20118	-1,67630	-6,51250	84		X	0,36124	-1,58440	-6,37790
35		X	0,22577	-1,58750	-6,52960	85		X	0,22685	-1,62950	-6,55090
36		X	0,07403	-1,60010	-6,29630	86		X	0,33620	-1,58240	-6,42970
37		X	0,24799	-1,48360	-6,26210	87		X	0,22127	-1,57780	-6,51600
38		X	0,40929	-1,59980	-6,25020	88		X	0,29630	-1,59020	-6,49750
39		X	0,24746	-1,63500	-6,54570	89		X	0,21905	-1,57870	-6,51650
40		X	0,24888	-1,63230	-6,54590	90		X	0,05050	-1,65430	-6,26160
41		X	0,14439	-1,67610	-6,46400	91	X		0,06141	-1,81090	-5,56130
42		X	0,26017	-1,64890	-6,53100	92		X	0,22593	-1,57010	-6,50560
43		X	0,36666	-1,58930	-6,36790	93		X	0,22355	-1,63860	-6,54870
44		X	0,17704	-1,77000	-6,26720	94		X	0,30485	-1,73610	-6,30470
45		X	0,21255	-1,66150	-6,53230	95		X	0,24697	-1,64870	-6,53850
46		X	0,25436	-1,64280	-6,53880	96		X	0,13899	-1,65190	-6,47420
47		X	0,21638	-1,59890	-6,53820	97		X	0,16896	-1,73120	-6,38480
48		X	0,25949	-1,57600	-6,51200	98		X	0,19298	-1,73310	-6,39210
49		X	0,26953	-1,55810	-6,47910	99		X	0,22016	-1,65950	-6,53510
50		X	0,31332	-1,64800	-6,46910	100		X	0,26878	-1,62740	-6,53510

Tablo 3.1’de gösterilen F1 fonksiyonu için elde edilen verilere göre, BBO algoritmasının 100 koşma ardından 5 kez yerel minimuma takıldığı, kalan 95 koşmada ise küresel minimum noktasını bulduğu gözlemlenmiştir.

F1 fonksiyonu yapısı itibariyle, küresel minimum noktasına benzer bir adet yerel minimum noktası içermektedir. Yerel minimum noktası, küresel minimum noktası kadar derinlik içermeyen bir çukurdan oluşmaktadır. Algoritmanın fonksiyon üzerindeki aramaları neticesinde yerel minimum noktasına 5 kez takıldığı ve çıkamadığı görülmüştür.

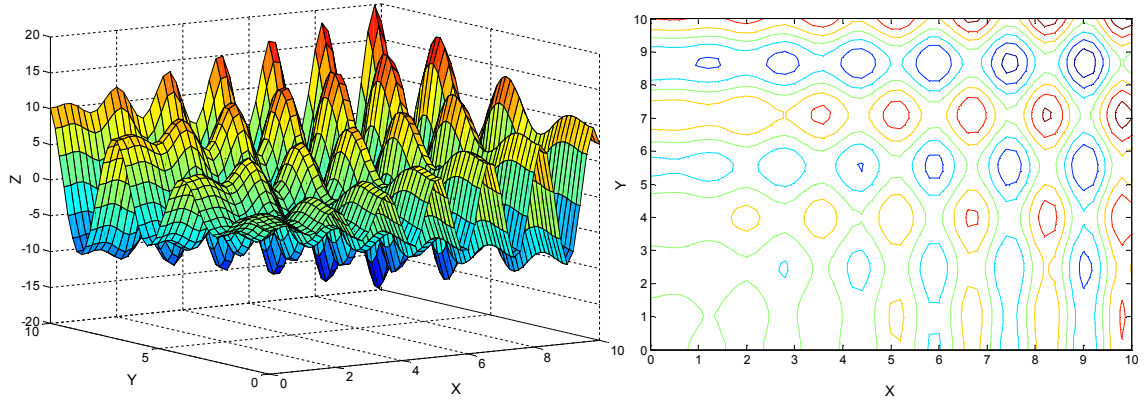
F1 fonksiyonu için yapılan bu gözlemler neticesinde, BBO algoritmasının kapsamlı küresel minimum arama özelliğinin kuvvetli olduğu söylenebilir. Algoritmanın yerel minimum noktasına takıldığı ve çıkamadığı aramalarda, küresel minimumu bulamamasının nedeni olarak yerel minimum noktasına ait çukurun derin olması, bireylerin bu bölgede detaylı arama yapamamasının etkisi olduğu şeklinde açıklanabilir. Sonuç olarak F1 fonksiyonu optimizasyonu için BBO algoritmasının %95 başarılı olduğu görülmüştür.

3.2. F2 Fonksiyonu

F2 fonksiyonu matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$z = x \sin(4x) + (1.1)y \sin(2y) \quad (3.2)$$

Şekil 3.3’de fonksiyonun yüzeyi ve eş yükselti eğrileri verilmiştir. BBO algoritması ile bu fonksiyonun küresel minimum noktasının bulunması üzerinde çalışılmıştır.

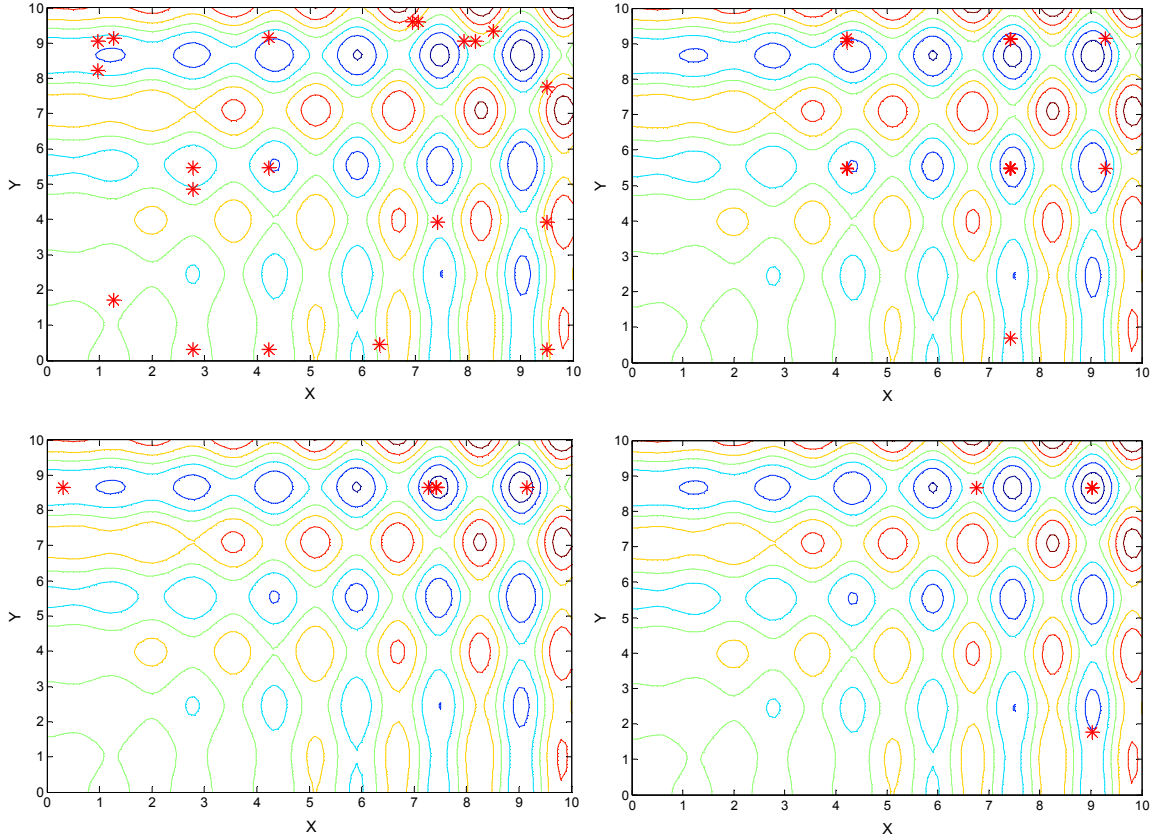


Şekil 3.3 F2 fonksiyonu yüzeyi (sol şekil) ve eş yükselti eğrileri (sağ şekil).

Şekil 3.3’de gösterilen fonksiyonun yüzey grafiğinde de görüleceği gibi çok sayıda benzer çukur ve tepe noktasına sahiptir. Fonksiyonun küresel minimum noktası $x=9,0318$ ve $y=8,6525$ değerleri için $z=-18,5463$ ’dedir.

BBO algoritmasına F2 fonksiyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşma yaptırılarak küresel minimum değeri buldurulmuştur. Şekil 3.4’de BBO algoritmasının F2

fonksiyonu optimizasyonu için muhtelif adımlardaki birey pozisyonlarının dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.4 F2 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.

Tablo 3.2’de BBO algoritmasının F2 fonksiyonu optimizasyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşması sonucunda her bir koşmada elde edilen, en iyi x ve y değerleri, ölçüt değerleri ve her bir koşma sonucunda bulunan çözümün yerel mi küresel mi olduğu gösterilmektedir.

Tablo 3.2 F2 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.

Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçüt	Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçüt
			x	y					x	y	
1		X	9,0623	8,7567	-18,3645	51		X	9,1177	8,6340	-18,0853
2		X	9,1113	8,8826	-17,2960	52		X	8,9731	8,7050	-18,2176
3		X	9,0336	8,6100	-18,4881	53		X	9,0415	8,5763	-18,3939
4		X	9,1515	8,6836	-17,5774	54		X	9,2614	8,6523	-15,1444
5	X		7,5520	8,6639	-16,5794	55		X	9,0065	8,6624	-18,4778
6	X		7,5018	8,6470	-16,9140	56	X		7,4906	8,6865	-16,9519
7		X	9,0409	8,7164	-18,5099	57		X	8,8184	8,7644	-15,1289
8		X	9,0291	8,5038	-18,0408	58		X	9,1453	8,6967	-17,7266
9		X	8,9223	8,7067	-17,5661	59		X	9,1056	8,8275	-17,7457
10		X	8,9668	8,5771	-18,0247	60		X	9,1654	8,6835	-17,4069
11		X	9,1665	8,4915	-16,8967	61		X	9,0595	8,7303	-18,4500
12		X	8,9251	8,5763	-17,4797	62		X	9,1529	8,5736	-17,4537
13		X	9,1433	8,6722	-17,7723	63		X	9,1282	8,6025	-17,8987
14		X	9,0571	8,8549	-17,8609	64		X	9,0318	8,6525	-18,5463
15		X	8,9118	8,6631	-17,4187	65		X	9,1126	8,7301	-18,0900
16		X	9,1986	8,6742	-16,7509	66		X	8,9296	8,6256	-17,6751
17		X	9,0916	8,5822	-18,2136	67		X	9,1745	8,6885	-17,2377
18		X	9,0719	8,5775	-18,3203	68	X		7,4155	9,0815	-13,6242
19		X	9,1628	8,3982	-16,1221	69		X	8,9753	8,7078	-18,2338
20		X	9,0427	8,6269	-18,5212	70		X	9,0596	8,7055	-18,4971
21		X	9,0513	8,8107	-18,1533	71		X	8,9372	8,7345	-17,7361
22		X	8,9434	8,6844	-17,9011	72		X	9,0497	8,3475	-16,6886
23		X	9,0669	8,6885	-18,4902	73		X	9,0159	8,6780	-18,5145
24		X	7,4702	8,5317	-16,6334	74		X	9,1218	8,7465	-17,9414
25		X	9,0407	8,6175	-18,5054	75	X		7,4557	8,7491	-16,8470
26		X	9,0703	8,7264	-18,4183	76		X	9,0082	8,6635	-18,4860
27		X	7,4427	8,6815	-16,9378	77		X	9,0863	8,5941	-18,2881
28		X	8,9980	8,6839	-18,4287	78		X	8,9543	8,5641	-17,8382
29		X	9,0368	8,7004	-18,5344	79		X	8,9432	8,8408	-17,3300
30		X	8,8815	8,7167	-16,7924	80		X	9,0417	8,6300	-18,5263
31		X	9,0566	8,6478	-18,5242	81	X		5,8718	8,4539	-14,5224
32		X	9,2325	8,6423	-15,9269	82		X	8,8835	8,6788	-16,8766
33		X	8,9566	8,4917	-17,4875	83		X	9,1113	8,7042	-18,1516
34		X	9,0763	8,6140	-18,3981	84	X		7,5378	8,7053	-16,6804
35		X	8,9317	8,7149	-17,6979	85		X	8,9236	8,7775	-17,3856
36		X	9,1645	8,9255	-16,1622	86	X		7,3555	9,0381	-13,6522
37		X	9,1748	8,7872	-16,9667	87		X	9,0509	8,6264	-18,5111
38		X	9,0895	8,6675	-18,3699	88		X	9,0373	8,7341	-18,4710
39		X	9,0842	8,6991	-18,3886	89		X	9,1220	8,7354	-17,9709
40	X		7,4769	8,6464	-16,9724	90		X	9,0179	8,6213	-18,4804
41		X	8,9893	8,4997	-17,8452	91		X	9,0442	8,7292	-18,4811
42	X		7,5021	8,6098	-16,8566	92		X	8,8493	8,7008	-16,0856
43		X	9,0519	8,6072	-18,4719	93		X	9,1192	8,7927	-17,7917
44		X	9,0659	8,7895	-18,2189	94		X	9,2810	8,6644	-14,5677
45		X	9,1465	8,6871	-17,7173	95		X	9,0615	8,5708	-18,3381
46		X	9,1284	8,4778	-17,3014	96		X	8,9630	8,5710	-17,9636
47	X		7,4266	8,4420	-15,9274	97		X	9,0633	8,7263	-18,4467
48	X		7,5264	8,6352	-16,7709	98		X	9,0559	8,7723	-18,3252
49	X		7,4414	8,5483	-16,6655	99	X		7,4670	8,6159	-16,9321
50		X	9,0473	8,7998	-18,2165	100	X		7,4544	8,6237	-16,9331

Tablo 3.2’de gösterilen F2 fonksiyonu için elde edilen sonuçlara göre, BBO algoritmasının 100 koşmada 15 kez yerel minimuma takıldığı, kalan 85 koşmada ise küresel minimum noktasını bulduğu gözlemlenmiştir.

F2 fonksiyonu yapısı itibariyle, küresel minimum noktasına benzer birden çok yerel minimum noktası içermektedir. Algoritmanın fonksiyon üzerindeki birey aramaları neticesinde benzer yerel minimum noktalarına 15 kez takıldığı ve çıkamadığı gözlemlenmiştir.

F2 fonksiyonu için yapılan bu gözlemler neticesinde, BBO algoritması kapsamlı küresel minimum arama özelliğinin koşmaların geneli itibariyle iyi olduğunu

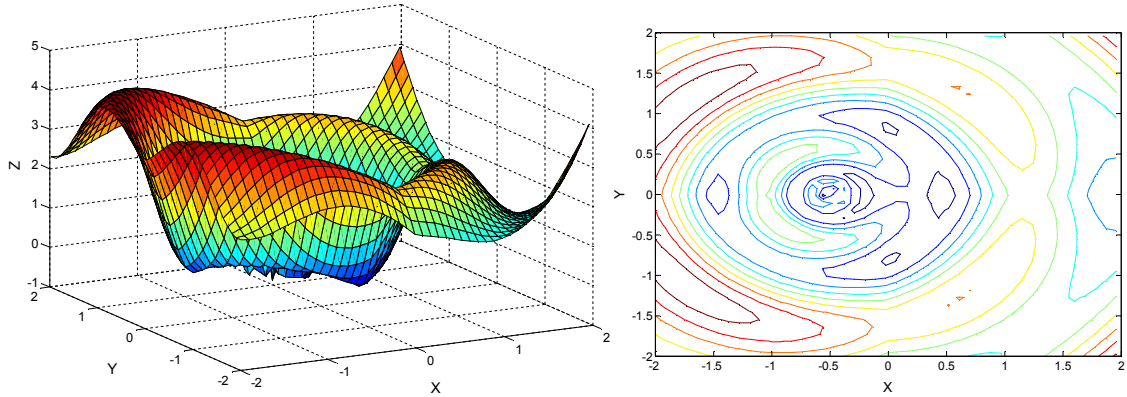
göstermiştir. Algoritmanın yerel minimum noktasına takıldığı ve çıkamadığı aramalarda, küresel minimumu bulamamasının nedeni olarak yerel minimum noktalarına benzer çok sayıda çukurun bulunması ve bireylerin bu bölgelerde detaylı arama yapamamasının etkisi olduğu söylenebilir. Benzer yerel minimum noktalarının sığ olmasının genel koşma sayısındaki başarıyı olumlu yönde etkilediği de gözlenmiştir. Sonuç olarak F1 fonksiyonu optimizasyonu için BBO algoritmasının %85 başarılı olduğu görülmüştür.

3.3. F3 Fonksiyonu

F3 fonksiyonu matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$z = (x^2 + y^2)^{0.25} \times \sin\{30[(x + 0.5)^2 + y^2]^{0.1}\} + |x| + |y| \quad (3.3)$$

Şekil 3.5’de fonksiyonun yüzeyi ve eş yükselti eğrileri verilmiştir. BBO algoritması ile bu fonksiyonun küresel minimum noktasının bulunması üzerinde çalışılmıştır.

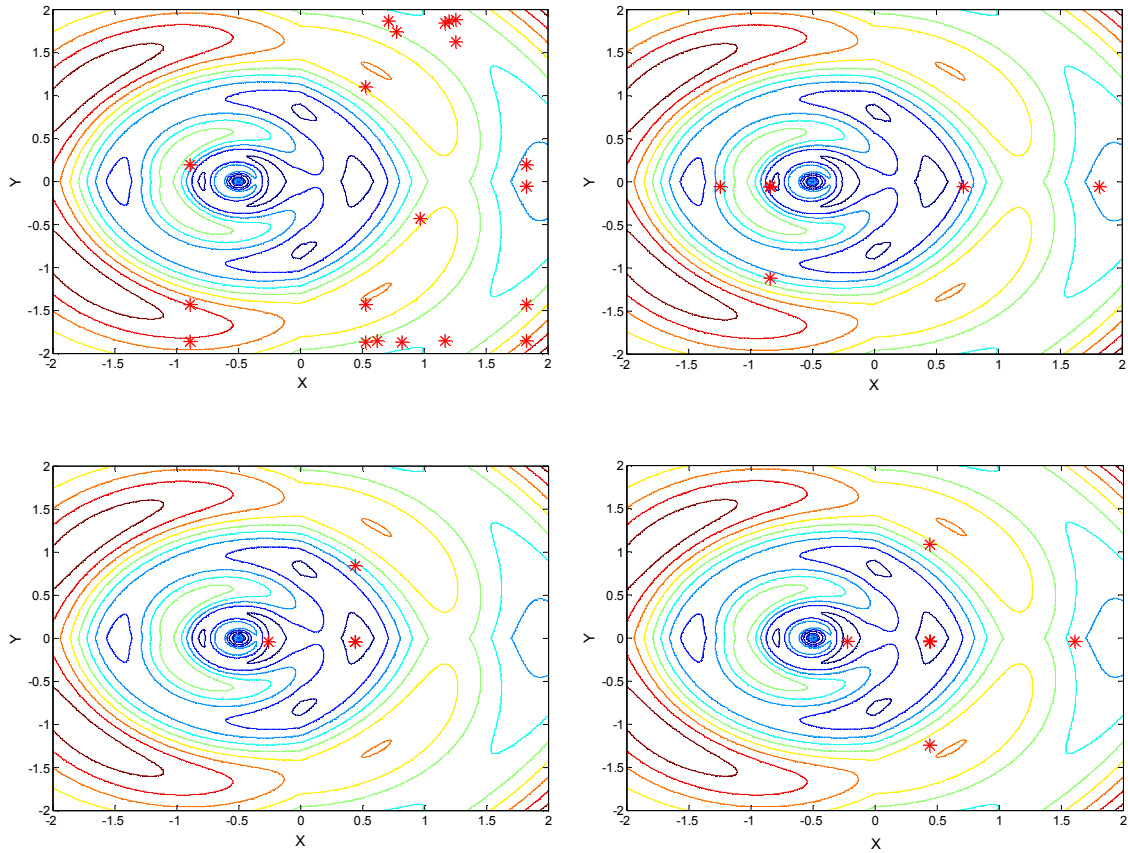


Şekil 3.5 F3 fonksiyonu yüzeyi (sol şekil) ve eş yükselti eğrileri (sağ şekil).

Şekil 3.5’de gösterilen fonksiyonun yüzey grafiğinde de görüleceği gibi birden fazla çukur ve tepe noktasına sahiptir. Fonksiyonun küresel minimum noktası $x=-0,2018$ ve $y=-0,001$ değerleri için $z=-0,2463$ ’dedir.

BBO algoritmasına F3 fonksiyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşma yaptırılarak küresel minimum değeri buldurulmuştur. Şekil 3.6’da BBO algoritmasının F3

fonksiyonu optimizasyonu için muhtelif adımlardaki birey pozisyonlarının dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.6 F3 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.

Tablo 3.3’de BBO algoritmasının F3 fonksiyonu optimizasyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşması sonucunda her bir koşmada elde edilen, en iyi x ve y değerleri, ölçüt değerleri ve her bir koşma sonucunda bulunan çözümün yerel mi küresel mi olduğu gösterilmektedir.

Tablo 3.3 F3 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.

Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçütü	Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçütü
			x	y					x	y	
1		X	-0,235610	-0,181340	-0,098268	51		X	0,003977	0,839770	-0,072230
2		X	-0,319590	-0,217270	-0,063071	52	X		-0,263040	-0,200990	-0,101580
3	X		0,023650	0,841820	-0,047344	53	X		-0,228340	-0,025248	-0,183030
4	X		0,452000	0,002811	-0,211040	54		X	-0,026863	0,836570	-0,048350
5		X	0,397980	-0,002998	-0,157470	55	X		0,056757	0,793780	-0,041143
6		X	-0,196270	0,005805	-0,239720	56	X		-0,219130	-0,014715	-0,216010
7		X	-0,272680	-0,170920	-0,108470	57	X		0,432670	0,123190	-0,100230
8		X	0,098503	0,742900	-0,017372	58		X	0,444760	0,002777	-0,208100
9		X	-0,222030	0,028439	-0,199430	59	X		-0,311880	0,229270	-0,080607
10		X	-0,191640	0,021948	-0,219990	60		X	-0,206330	-0,002918	-0,243490
11		X	-0,195410	-0,011749	-0,233360	61	X		0,172840	-0,675040	0,020385
12		X	-0,183500	0,013923	-0,215250	62	X		-0,208860	-0,042847	-0,208820
13		X	-0,201820	-0,066664	-0,190020	63	X		0,189120	-0,673890	0,028173
14	X		-0,166410	-0,012221	-0,174370	64		X	0,006162	0,788420	-0,069248
15	X		0,083291	0,714210	-0,005365	65		X	0,421070	0,111660	-0,099477
16		X	0,459270	-0,000999	-0,214460	66	X		-0,205410	-0,002403	-0,244400
17		X	-0,201830	-0,001082	-0,246320	67		X	0,197320	-0,006621	-0,239560
18	X		-0,223150	0,055987	-0,183860	68	X		0,427360	-0,013879	-0,184690
19		X	0,321730	-0,020960	0,035177	69	X		-0,199820	0,004584	-0,242560
20	X		-0,234110	0,085870	-0,154840	70	X		0,463150	-0,015097	-0,200870
21		X	0,005211	-0,825680	-0,077069	71		X	-0,362760	-0,250450	-0,035734
22	X		-0,347390	0,250370	-0,054001	72		X	-0,086692	-0,883660	0,028088
23	X		-0,530670	-0,055860	-0,143820	73		X	-0,213480	0,048349	-0,201960
24		X	-0,449890	-0,034589	-0,180850	74	X		-0,198650	0,009429	-0,237490
25	X		-0,348940	0,259460	-0,050859	75	X		0,404690	0,004097	-0,166770
26	X		0,414710	0,003376	-0,181090	76	X		0,520360	-0,056407	-0,117470
27		X	-0,004092	0,904540	0,012599	77	X		0,466390	-0,055733	-0,162690
28	X		-0,279840	-0,226010	-0,074185	78		X	0,435290	0,007660	-0,197380
29	X		0,488990	-0,027358	-0,180590	79		X	-0,234430	0,111480	-0,155960
30		X	0,001693	0,831760	-0,078392	80	X		-0,196310	-0,007380	-0,238220
31		X	-0,297140	0,237890	-0,067912	81	X		-0,038914	-0,814290	-0,023642
32	X		-0,198980	0,011446	-0,235700	82		X	-0,215570	0,052958	-0,197170
33	X		0,421010	0,054269	-0,142230	83		X	-0,183640	-0,002766	-0,226620
34		X	0,293960	-0,548360	0,054891	84	X		0,463060	-0,057824	-0,161030
35		X	-0,190330	0,021821	-0,218470	85	X		-0,002400	0,828520	-0,078216
36	X		-0,206460	0,028979	-0,220300	86		X	-0,192300	-0,020664	-0,221970
37	X		-0,276900	-0,208630	-0,100150	87	X		0,019526	-0,789290	-0,064888
38		X	-0,445770	-0,027473	-0,188200	88	X		-0,189840	-0,051416	-0,189500
39		X	0,012039	0,766650	-0,049999	89		X	-0,222160	0,049083	-0,188530
40	X		-0,208120	0,129970	-0,132540	90		X	-0,286400	0,208380	-0,100340
41	X		-0,177540	-0,057446	-0,156600	91		X	-0,178540	-0,022042	-0,196750
42		X	0,500100	-0,025040	-0,173740	92		X	-0,157080	0,031296	-0,123490
43		X	-0,161920	0,022069	-0,149930	93		X	-0,269180	0,177310	-0,116890
44		X	-0,274520	0,190990	-0,111970	94		X	-0,208340	0,056843	-0,199360
45		X	-0,217510	-0,072991	-0,185450	95		X	0,433760	0,136860	-0,091588
46		X	-0,218130	-0,056088	-0,192410	96	X		-0,033706	-0,827300	-0,038240
47		X	-0,271330	0,216880	-0,082585	97	X		0,460600	-0,077166	-0,144130
48	X		-0,247580	0,110040	-0,125270	98	X		-0,012192	-0,808260	-0,062696
49	X		-0,292100	-0,203130	-0,096169	99	X		-0,216030	-0,046977	-0,199890
50		X	0,214440	-0,627280	0,036267	100		X	0,224210	-0,593950	0,043361

Tablo 3.3’de gösterilen F3 fonksiyonu için elde edilen sonuçlara göre, BBO algoritmasının 100 koşmada 47 koşma sonucunda yerel minimumda takıldığı, 53 koşma sonucunda ise küresel minimum noktasını bulduğu gözlemlenmiştir.

F3 fonksiyonu yapısı itibariyle, küresel minimum noktasına benzer birden çok yerel minimum noktası içermektedir. Bu noktalar derin çukurlardan oluşmaktadır. Algoritmanın fonksiyon üzerindeki birey aramaları neticesinde benzer yerel minimum noktalarına takıldığı ve çıkamadığı gözlemlenmiştir.

F3 fonksiyonu için yapılan bu gözlemler neticesinde, BBO algoritması kapsamlı küresel minimum arama özelliğinin zayıf olduğunu göstermiştir. Algoritmanın yerel

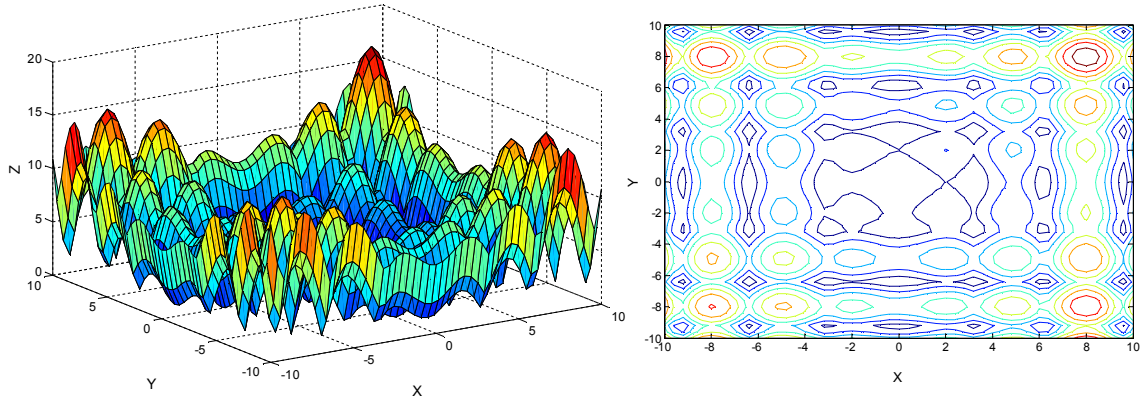
minimum noktasında takılmasının nedeni olarak, küresel minimum noktasına benzer çok sayıda yerel minimum noktası olması, bireylerin bu bölgelerde detaylı arama yapamayarak takılması ve çıkamaması şeklinde açıklanabilir. Sonuç olarak F3 fonksiyonu optimizasyonu için BBO algoritmasının geliştirilmesiyle kapsamlı arama kabiliyetinin yükseltilebileceği görülmüştür.

3.4. F4 Fonksiyonu : Alpine

F4 fonksiyonu matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$z = \sum_{i=1}^n |x_i \sin(x_i) + 0.1x_i| \quad (3.4)$$

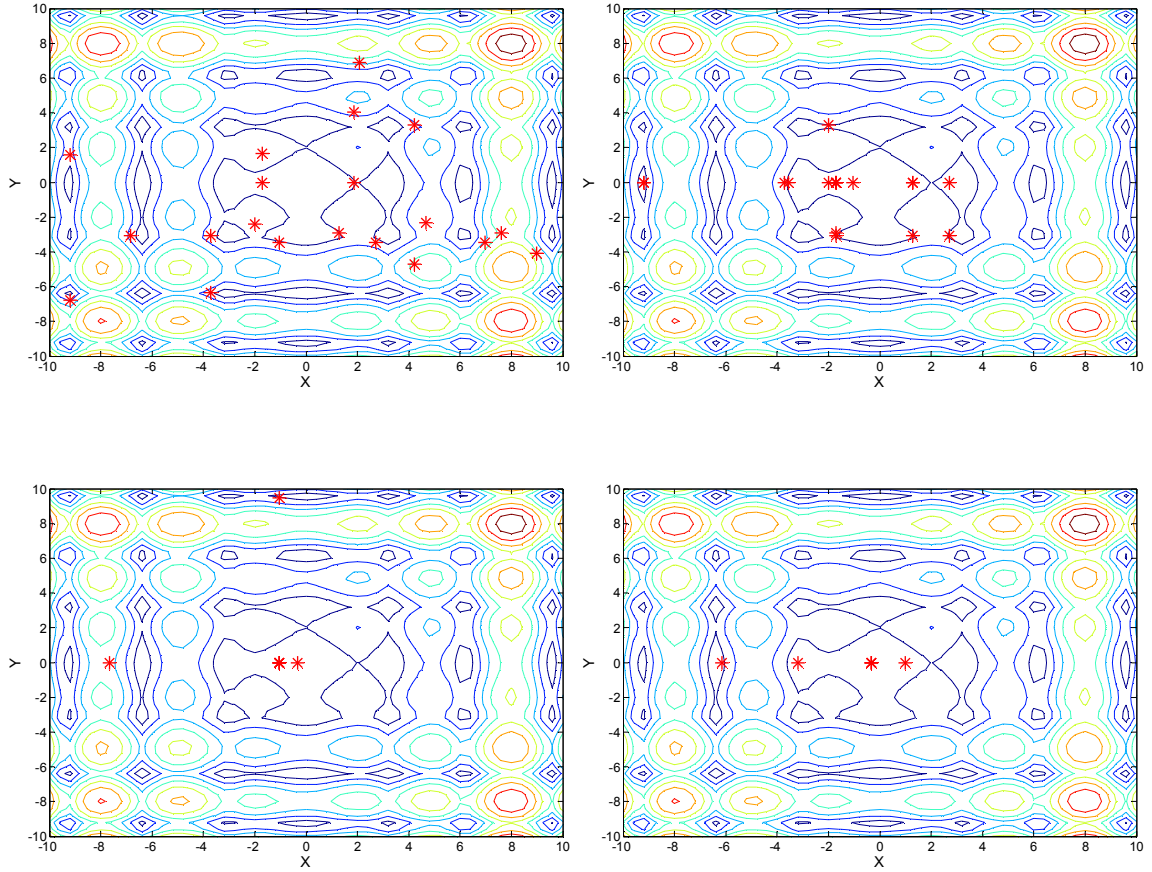
Şekil 3.7’de fonksiyonun yüzeyi ve eş yükselti eğrileri verilmiştir. BBO algoritması ile bu fonksiyonun küresel minimum noktasının bulunması üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 3.7 F4 fonksiyonu yüzeyi (sol şekil) ve eş yükselti eğrileri (sağ şekil).

Şekil 3.7’de gösterilen fonksiyonun yüzey grafiğinde de görüleceği gibi birden fazla çukur ve tepe noktasına sahiptir. Fonksiyonun küresel minimum noktası $x=0$ ve $y=0$ değerleri için $z=0$ ’dır.

BBO algoritmasına F4 fonksiyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşma yaptırılarak küresel minimum değeri buldurulmuştur. Şekil 3.8’de BBO algoritmasının F4 fonksiyonu optimizasyonu için muhtelif adımlardaki birey pozisyonlarının dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.8 F4 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.

Tablo 3.4’de BBO algoritmasının F4 fonksiyonu optimizasyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşması sonucunda her bir koşmada elde edilen, en iyi x ve y değerleri, ölçüt değerleri ve her bir koşma sonucunda bulunan çözümün yerel mi küresel mi olduğu gösterilmektedir.

Tablo 3.4 F4 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.

Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçütü	Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçütü
			x	y					x	y	
1		X	0,100220	-0,089825	0,000930	51		X	-0,068588	-0,001821	0,002337
2		X	0,012317	-0,011749	0,002420	52		X	-0,081142	-0,084911	0,002827
3		X	0,005418	0,013923	0,002157	53		X	-0,107210	-0,007607	0,001454
4		X	-0,120920	-0,066664	0,004720	54		X	0,054061	-0,099437	0,008400
5		X	0,000257	-0,012221	0,001099	55		X	-0,072001	-0,040453	0,004430
6		X	0,083291	-0,172600	0,027641	56		X	-0,097588	0,181540	0,051181
7		X	-0,063033	-0,084176	0,003673	57		X	0,002594	-0,019311	0,001824
8		X	-0,001082	-0,065591	0,002367	58		X	-0,100530	0,070910	0,012151
9		X	-0,082260	-0,101220	0,001573	59		X	-0,048060	-0,006621	0,003115
10		X	-0,005421	-0,047751	0,003009	60		X	0,108560	-0,101510	0,001042
11		X	0,081778	-0,088290	0,015902	61		X	-0,011008	0,112650	0,024909
12		X	-0,058228	0,011143	0,003673	62		X	-0,015097	-0,090219	0,002175
13		X	0,060867	-0,060897	0,012173	63		X	-0,072329	-0,086223	0,003203
14		X	-0,023357	-0,113550	0,003301	64		X	0,029103	-0,086692	0,004920
15		X	-0,127660	0,037257	0,008600	65		X	-0,065904	-0,088099	0,003309
16		X	-0,097702	-0,135000	0,004909	66		X	-0,094862	0,007057	0,001256
17		X	0,014534	0,009258	0,002676	67		X	-0,105400	0,004097	0,000976
18		X	0,007901	-0,010516	0,001794	68		X	-0,001924	-0,101880	0,000362
19		X	-0,019429	-0,003246	0,001880	69		X	-0,017519	-0,039179	0,003828
20		X	-0,029869	-0,008655	0,002885	70		X	-0,005335	0,007660	0,001303
21		X	0,047002	-0,052232	0,009405	71		X	0,001801	0,000385	0,000222
22		X	0,032674	-0,024712	0,006195	72		X	-0,003993	-0,020374	0,002006
23		X	-0,008784	-0,091871	0,001560	73		X	-0,112610	-0,000417	0,001435
24		X	-0,298770	-0,091926	0,058821	74		X	-0,044041	0,047679	0,009505
25		X	0,074431	0,001423	0,013118	75		X	0,009585	0,003897	0,001455
26		X	-0,018772	-0,011718	0,002559	76		X	-0,149520	-0,035101	0,009599
27		X	-0,105340	-0,015785	0,001872	77		X	-0,100630	-0,067608	0,002240
28		X	-0,075809	0,011491	0,003121	78		X	-0,030999	-0,071381	0,004186
29		X	-0,097367	0,034971	0,004991	79		X	-0,996370	0,014622	0,001729
30		X	0,012039	-0,016672	0,002738	80		X	0,014129	-0,051416	0,004112
31		X	-0,022741	0,089489	0,018703	81		X	-0,082158	-0,079959	0,003083
32		X	-0,017310	-0,024785	0,003296	82		X	-0,018506	0,002931	0,001810
33		X	-0,077264	-0,076373	0,003573	83		X	-0,075902	-0,022042	0,003553
34		X	0,112370	0,036946	0,028898	84		X	-0,047255	-0,095299	0,002955
35		X	0,016089	-0,100310	0,001882	85		X	-0,074414	-0,084860	0,003203
36		X	0,016089	-0,100310	0,001882	86		X	-0,006845	-0,112420	0,002007
37		X	-0,098140	-0,154820	0,008589	87		X	0,145480	-0,108440	0,036529
38		X	-0,096876	0,009254	0,001328	88		X	-0,074068	-0,089475	0,002878
39		X	-0,154670	0,018586	0,010565	89		X	-0,013470	-0,100360	0,001185
40		X	-0,099876	-0,001206	0,000148	90		X	0,008613	-0,102920	0,001218
41		X	-0,073439	-0,039794	0,004352	91		X	-0,110340	-0,015665	0,002437
42		X	-0,050918	-0,011053	0,003483	92		X	-0,025055	-0,019263	0,003433
43		X	-0,108580	-0,121270	0,003453	93		X	-0,075975	0,000580	0,001889
44		X	-0,000125	-0,002344	0,000241	94		X	0,007089	-0,003917	0,001135
45		X	-0,085633	0,126180	0,029736	95		X	-0,100750	-0,010615	0,001007
46		X	-0,105130	0,000104	0,000529	96		X	-0,091781	-0,103760	0,001137
47		X	-0,012040	-0,085200	0,002329	97		X	-0,006283	-0,024218	0,002424
48		X	-0,179370	0,031778	0,018251	98		X	-0,100760	-0,174860	0,012994
49		X	0,012031	-0,013964	0,002549	99		X	0,071595	-0,194460	0,030412
50		X	-0,003342	0,009218	0,001330	100		X	-0,018713	-0,125680	0,004707

Tablo 3.4'de gösterilen F4 fonksiyonu için elde edilen verilere göre, BBO algoritmasının 100 koşma ardından yerel minimuma takılmadığı, 100 koşma sonucunda küresel minimum noktasını bulduğu gözlemlenmiştir.

F4 fonksiyonu yapısı itibariyle birden çok yerel minimum noktası içermektedir. Bu noktaları sığ ve sık çukurlardan oluşmaktadır. Bu nedenle fonksiyon üzerinde BBO algoritmasının aramaları sırasında benzer yerel minimum noktalarına takılmadığı ve küresel minimum noktasını her koşma sonucunda bulduğu gözlemlenmiştir.

F4 fonksiyonu için yapılan bu gözlemler neticesinde, BBO algoritması küresel minimuma benzer yerel minimum noktalarının sığ çukurlardan oluşması durumunda

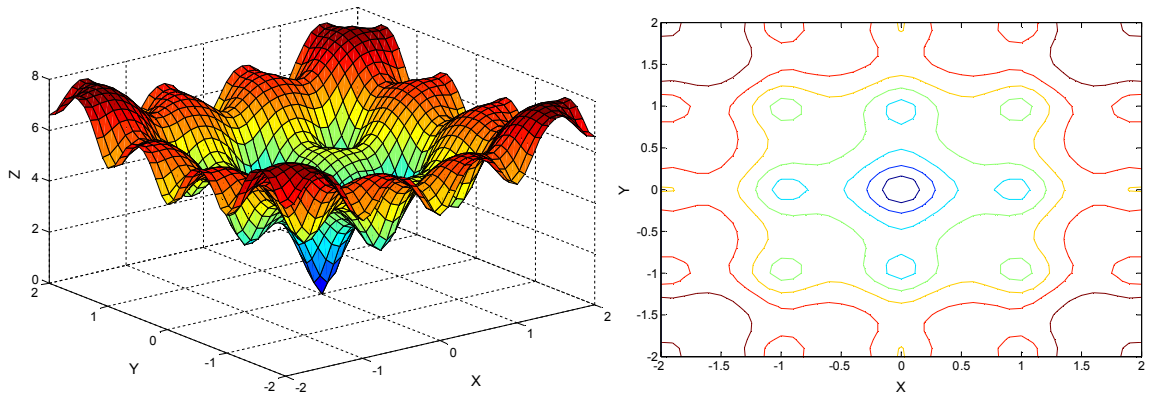
kapsamlı küresel minimum arama özelliğinin kuvvetli olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak F4 fonksiyonu optimizasyonu için BBO algoritmasının kararlı çalıştığı görülmüştür.

3.5. F5 Fonksiyonu : Ackley

F5 fonksiyonu matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde tanımlanır. Eşitlik $a=20$, $b=0,2$, $c=2\pi$ değerleri ile kullanılmıştır.

$$z = -a \exp \left[-b \sqrt{1/n \sum_{i=1}^n x_i} \right] - \exp \left[1/n \sum_{i=1}^n \cos(cx_i) \right] + a + \exp(1) \quad (3.5)$$

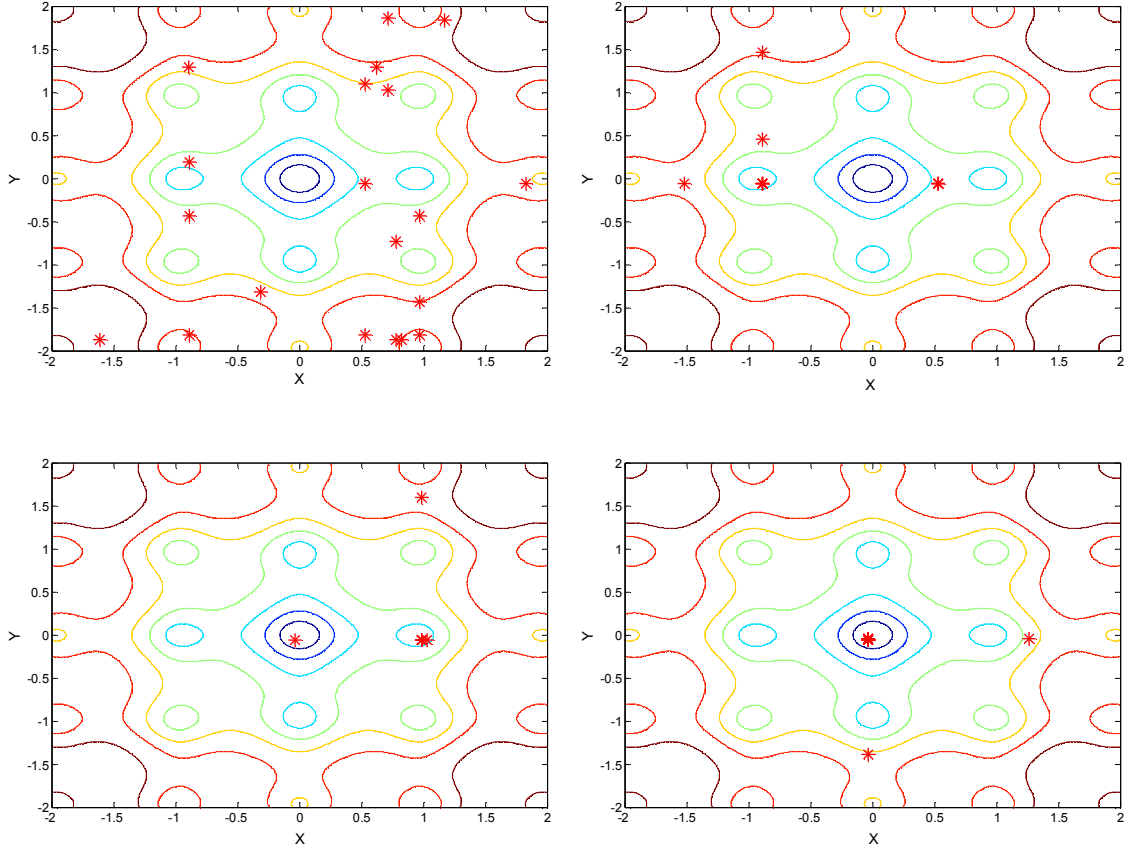
Şekil 3.9'da fonksiyonun yüzeyi ve eş yükselti eğrileri verilmiştir. BBO algoritması ile bu fonksiyonun küresel minimum noktasının bulunması üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 3.9 F5 fonksiyonu yüzeyi (sol şekil) ve eş yükselti eğrileri (sağ şekil).

Şekil 3.9'da gösterilen fonksiyonun yüzey grafiğinde de görüleceği gibi birden fazla çukur ve tepe noktasına sahiptir. Fonksiyonun küresel minimum noktası $x=0$ ve $y=0$ değerleri için $z=0$ 'dadır.

BBO algoritmasına F5 fonksiyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşma yaptırılarak küresel minimum değeri buldurulmuştur. Şekil 3.10'da BBO algoritmasının F5 fonksiyonu optimizasyonu için muhtelif adımlardaki birey pozisyonlarının dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.10 F5 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.

Tablo 3.5’de BBO algoritmasının F5 fonksiyonu optimizasyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşması sonucunda her bir koşmada elde edilen, en iyi x ve y değerleri, ölçüt değerleri ve her bir koşma sonucunda bulunan çözümün yerel mi küresel mi olduğu gösterilmektedir.

Tablo 3.5 F5 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu

Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçüt	Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçüt
			x	y					x	y	
1			0,007486	-0,069278	0,321370	51			0,019870	0,000177	0,066682
2		X	0,031286	-8,101201	0,114340	52		X	0,012329	0,040295	0,165830
3		X	0,013608	0,052983	0,232560	53		X	-0,027140	-0,025248	0,141100
4		X	0,014527	0,002811	0,047671	54		X	-0,026863	0,000104	0,095083
5		X	-0,000279	0,004600	0,013600	55		X	-0,051093	-0,011986	0,220190
6		X	0,050210	-0,011349	0,214690	56		X	0,031881	-0,124540	0,751590
7		X	0,003483	0,003092	0,013749	57		X	-0,025387	-0,013964	0,104170
8		X	-0,059936	0,039817	0,336620	58		X	-0,003342	0,014546	0,048135
9		X	0,028439	0,031578	0,167710	59		X	-0,031667	-0,001822	0,116280
10		X	0,152020	0,049018	1,015600	60		X	-0,018673	-0,054964	0,251640
11		X	0,012317	-0,011749	0,055846	61		X	0,025133	-0,002918	0,088253
12		X	0,009490	-0,069558	0,324680	62		X	0,054061	0,001127	0,228950
13		X	-0,008461	0,023518	0,087247	63		X	-0,061517	-0,040453	0,347360
14		X	0,079846	-0,012221	0,393360	64		X	-0,080515	0,009944	0,395660
15		X	-0,054692	-0,042324	0,318950	65		X	0,002594	0,048616	0,199600
16		X	-0,050667	-0,023200	0,238460	66		X	0,020024	-0,002403	0,067838
17		X	-0,001082	0,040026	0,155380	67		X	-0,034043	-0,028870	0,178610
18		X	-0,082260	-0,069783	0,592280	68		X	0,004340	-0,000109	0,012780
19		X	-0,002615	-0,047751	0,195030	69		X	-0,104000	-0,147120	1,211400
20		X	0,046874	-0,156070	1,042600	70		X	0,014121	-0,008929	0,054673
21		X	0,020834	0,011143	0,081630	71		X	-0,063990	-0,044406	0,375360
22		X	0,018081	0,063301	0,297800	72		X	0,029103	-0,113510	0,660580
23		X	-0,045005	-0,089253	0,530640	73		X	-0,065904	-0,014300	0,307560
24		X	-0,141380	-0,066248	0,989490	74		X	-0,040735	0,012130	0,167650
25		X	-0,032803	-0,056465	0,294930	75		X	0,013674	0,003792	0,045488
26		X	-0,020364	0,009258	0,076546	76		X	-0,034160	0,089821	0,501460
27		X	0,007901	-0,034680	0,133950	77		X	-0,017519	-0,009653	0,067198
28		X	-0,019429	-0,003246	0,066015	78		X	-0,057395	0,002147	0,247950
29		X	-0,029869	0,021810	0,140690	79		X	0,001801	-0,088525	0,446310
30		X	0,001693	0,015104	0,049128	80		X	-0,011170	-0,009054	0,046164
31		X	-0,057865	0,005339	0,251840	81		X	-0,038914	-0,000417	0,149900
32		X	0,015979	0,026543	0,113020	82		X	0,093373	-0,044041	0,555010
33		X	0,039600	0,047238	0,273010	83		X	0,009585	0,003897	0,032115
34		X	-0,026264	0,028753	0,150130	84		X	0,073238	-0,035101	0,397230
35		X	-0,051959	0,021821	0,242010	85		X	-0,042297	0,077341	0,445300
36		X	-0,055432	0,001039	0,236620	86		X	0,061509	-0,032533	0,321390
37		X	0,069684	-0,032951	0,369610	87		X	0,016770	-0,001823	0,055271
38		X	-0,097367	0,034971	0,555820	88		X	0,013500	0,059220	0,267210
39		X	0,012039	0,022500	0,089437	89		X	-0,032939	-0,082158	0,447290
40		X	0,007329	-0,022741	0,082713	90		X	-0,012231	0,015754	0,066978
41		X	0,002842	0,037518	0,143680	91		X	-0,035001	0,016452	0,148790
42		X	-0,046465	0,011689	0,195560	92		X	-0,002718	-0,007759	0,025053
43		X	-0,081153	-0,067409	0,573930	93	X		-0,134430	0,243480	2,067100
44		X	-0,019196	0,013404	0,080763	94		X	0,017290	-0,020307	0,094286
45		X	0,063615	0,009682	0,288640	95		X	0,020624	-0,086086	0,446670
46		X	0,013548	0,100140	0,536440	96		X	0,129180	-2,820400	0,754320
47		X	-0,020042	0,132510	0,794640	97		X	0,074002	0,028608	0,384370
48		X	-0,038762	0,065104	0,361230	98		X	0,008613	-0,102470	0,549460
49		X	-0,021472	-0,018045	0,100170	99		X	0,010209	0,000568	0,031702
50		X	0,074603	-0,011053	0,358000	100		X	0,044274	-0,019263	0,197590

Tablo 3.5’de gösterilen F5 fonksiyonu için elde edilen verilere göre, BBO algoritmasının 100 koşma ardından 1 kez yerel minimuma takıldığı, 99 koşma sonucunda küresel minimum noktasını bulduğu gözlemlenmiştir.

F5 fonksiyonu yapısı itibariyle derin çukur içeren küresel minimum noktasına sahiptir. Fonksiyon çok sayıda çukura sahiptir ancak bu çukur noktaları küresel minimum noktası kadar derinlik içermemektedir. Bu nedenle fonksiyon üzerinde BBO algoritmasının aramaları sırasında benzer yerel minimum noktalarına takılmadığı, bir koşma dışında küresel minimum noktasını bulduğu gözlemlenmiştir.

F5 fonksiyonu için yapılan bu gözlemler neticesinde, BBO algoritması küresel minimuma benzer yerel minimum noktalarının sığ çukurlardan oluşması durumunda

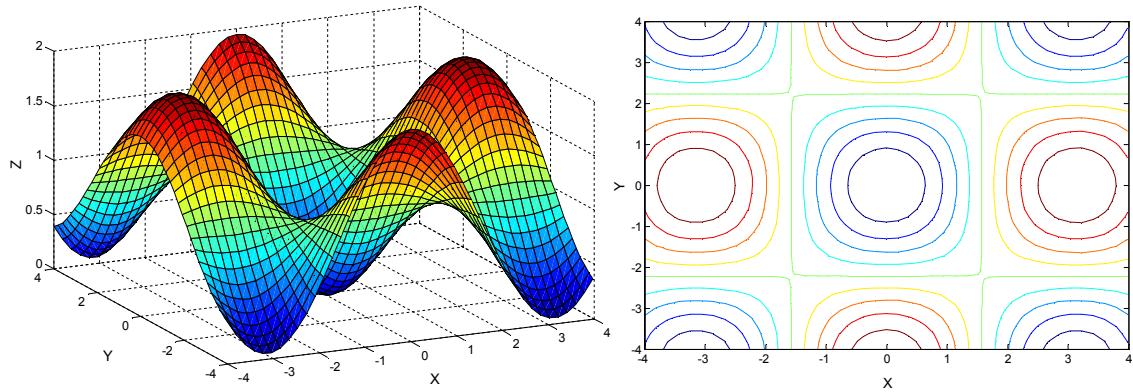
kapsamlı küresel minimum arama özelliğinin kuvvetli olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak F5 fonksiyonu optimizasyonu için BBO algoritmasının %99 başarılı olduğu görülmüştür.

3.6. F6 Fonksiyonu : Griewangk

F6 fonksiyonu matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$z = 1/4000 \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1 \quad (3.6)$$

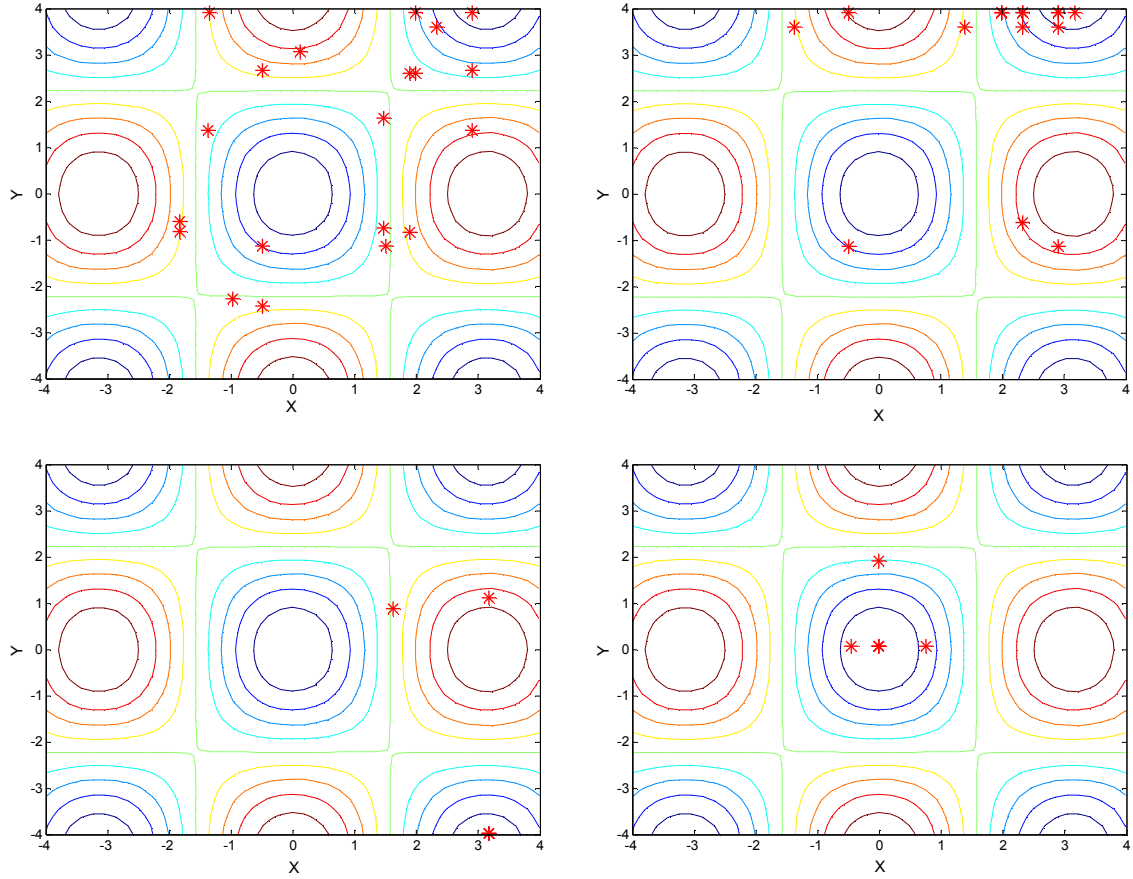
Şekil 3.11'de fonksiyonun yüzeyi ve eş yükselti eğrileri verilmiştir. BBO algoritması ile bu fonksiyonun küresel minimum noktasının bulunması üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 3.11 F6 fonksiyonu yüzeyi (sol şekil) ve eş yükselti eğrileri (sağ şekil).

Şekil 3.11'de gösterilen fonksiyonun yüzey grafiğinde de görüleceği gibi çok sayıda çukur ve tepe noktasına sahiptir. Fonksiyonun küresel minimum noktası $x=0$ ve $y=0$ değerleri için $z=0$ 'dadır.

BBO algoritmasına F6 fonksiyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşma yaptırılarak küresel minimum değeri buldurulmuştur. Şekil 3.12'de BBO algoritmasının F6 fonksiyonu optimizasyonu için muhtelif adımlardaki birey pozisyonlarının dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.12 F6 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.

Tablo 3.6'da BBO algoritmasının F6 fonksiyonu optimizasyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşması sonucunda her bir koşmada elde edilen, en iyi x ve y değerleri, ölçüt değerleri ve her bir koşma sonucunda bulunan çözümün yerel mi küresel mi olduğu gösterilmektedir.

Tablo 3.6 F6 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu

Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçüt	Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçüt
			x	y					x	y	
1			0,0847250	-0,0029982	0,0035911	51			0,0764290	0,0132830	0,0029647
2		X	-0,1142300	0,0611080	0,0074482	52		X	-0,0770890	-0,0120400	0,0030076
3		X	0,0111630	0,1709200	0,0073640	53		X	-0,0169190	0,0288020	0,0003508
4		X	0,0030918	-0,0461090	0,0005368	54		X	0,0120310	-0,0678480	0,0012241
5		X	-0,0719410	0,0227680	0,0027173	55		X	-0,0647870	-0,0018212	0,0020999
6		X	0,0617660	-0,0414320	0,0023366	56		X	-0,0186730	-0,0274730	0,0003633
7		X	-0,0226800	-0,0633930	0,0012626	57		X	-0,0240930	-0,0029175	0,0002925
8		X	0,0094904	-0,0111040	0,0007591	58		X	0,0752480	-0,0748910	0,0042305
9		X	-0,0272610	0,1147600	0,0036644	59		X	0,0030481	-0,0182040	0,0082928
10		X	-0,0969270	-0,0122210	0,0047333	60		X	0,0132670	0,0247040	0,0002408
11		X	-0,0423240	-0,0146810	0,0009499	61		X	-0,0016606	0,0246950	0,0001540
12		X	0,0434130	-0,0313160	0,0011878	62		X	0,0010176	0,0329770	0,0002727
13		X	0,0078916	0,0134020	0,0007610	63		X	-0,0288700	0,0476700	0,0009853
14		X	-0,0822600	-0,0872020	0,0052790	64		X	0,0043397	-0,0260060	0,0001787
15		X	0,0162190	-0,0026148	0,0001333	65		X	0,1139100	-0,0264610	0,0066577
16		X	0,0397790	0,0047628	0,0007972	66		X	-0,0064946	-0,0089290	0,0041052
17		X	0,0768320	0,0219070	0,0030713	67		X	-0,0414670	0,0392590	0,0012454
18		X	0,0057195	-0,0397640	0,0004120	68		X	-0,0071540	0,0087284	0,0044668
19		X	-0,1870100	0,0285780	0,0176460	69		X	0,0166200	-0,0423060	0,0005860
20		X	-0,0488180	-0,2580900	0,0177950	70		X	0,0218690	-0,0046566	0,0002447
21		X	-0,0219710	-0,0517140	0,0009105	71		X	-0,0831500	0,0285440	0,0036599
22		X	-0,0271160	0,0149340	0,0004236	72		X	0,0074053	-0,0288970	0,0002364
23		X	-0,0260680	-0,0346800	0,0006408	73		X	-0,0183750	-0,0405580	0,0005805
24		X	-0,0578150	0,0692500	0,0028695	74		X	-0,0312660	0,1001900	0,0029988
25		X	0,0218100	0,2007700	0,0103060	75		X	0,0018009	0,1656400	0,0068598
26		X	0,0016928	0,0079120	0,0017099	76		X	0,0034109	0,0647970	0,0010563
27		X	-0,0633770	-0,1592500	0,0083359	77		X	-0,1126100	-0,0004168	0,0063373
28		X	-0,0345440	0,0053391	0,0006040	78		X	-0,0076932	-0,0205250	0,0001350
29		X	0,0346310	-0,0134680	0,0006453	79		X	-0,0372520	0,0038974	0,0006979
30		X	0,0030642	0,0542690	0,0007416	80		X	-0,0220890	0,0242180	0,0003908
31		X	-0,0014231	-0,0193380	0,0094593	81		X	-0,0632120	0,0555040	0,0027675
32		X	0,0010388	-0,0448770	0,0005045	82		X	0,0028518	-0,0414330	0,0004336
33		X	-0,0147260	-0,0554320	0,0008772	83		X	-0,0267260	-0,0854860	0,0021849
34		X	-0,0329510	-0,0835230	0,0022874	84		X	-0,0399730	0,0030267	0,0008015
35		X	-0,0707250	0,0420430	0,0029424	85		X	0,0406460	0,0632240	0,0018257
36		X	0,0120390	-0,1098500	0,0030905	86		X	-0,0482170	-0,0329390	0,0014340
37		X	-0,0139750	0,0375180	0,0004499	87		X	0,0328810	0,0128610	0,0005822
38		X	-0,0433280	0,0393890	0,0013269	88		X	-0,0466210	-0,0220420	0,0012086
39		X	0,0406550	0,0806270	0,0024517	89		X	0,0622740	0,0510650	0,0025906
40		X	0,0483020	-0,0076105	0,0011814	90		X	-0,0715870	-0,0627240	0,0035444
41		X	0,0117110	0,0096823	0,0092064	91		X	-0,0137030	0,0485250	0,0006831
42		X	-0,0501330	-0,0400990	0,0016589	92		X	0,0837300	-0,0726900	0,0048224
43		X	-0,0438030	0,0943920	0,0031864	93		X	0,0295890	-0,0219930	0,0005589
44		X	-0,0285450	-0,0065773	0,0004184	94		X	0,0351830	-0,0173510	0,0006945
45		X	-0,0465950	0,0965890	0,0034171	95		X	0,0399720	-0,0221550	0,0009219
46		X	-0,0018389	-0,0051578	0,0008349	96		X	0,0390860	-0,0348700	0,0010682
47		X	0,0326210	0,1307200	0,0048033	97		X	-0,1460000	-0,0192630	0,0107360
48		X	0,0039774	0,0384130	0,0003771	98		X	-0,0175500	0,0070886	0,0001667
49		X	0,0402950	-0,0413660	0,0012400	99		X	-0,1007500	-0,0085924	0,0050917
50		X	-0,0204410	-0,0271400	0,0003933	100		X	0,0495270	0,0002993	0,0012268

Tablo 3.6. da gösterilen F6 fonksiyonu için elde edilen verilere göre, BBO algoritmasının 100 koşma ardından yerel minimuma takılmadığı, 100 koşma sonucunda küresel minimum noktasını bulduğu gözlemlenmiştir.

F6 fonksiyonu yapısı itibariyle küresel minimum noktasına benzeyen yerel minimum noktalarına sahip değildir. Bu nedenle fonksiyon üzerinde BBO algoritmasının aramaları sırasında yerel minimum noktalarına takılmadığı küresel minimum noktasını her koşma sonucunda bulduğu gözlemlenmiştir.

F6 fonksiyonu için yapılan bu gözlemler neticesinde, BBO algoritması küresel minimuma benzer yerel minimum noktaları bulunmadığında kapsamlı küresel minimum

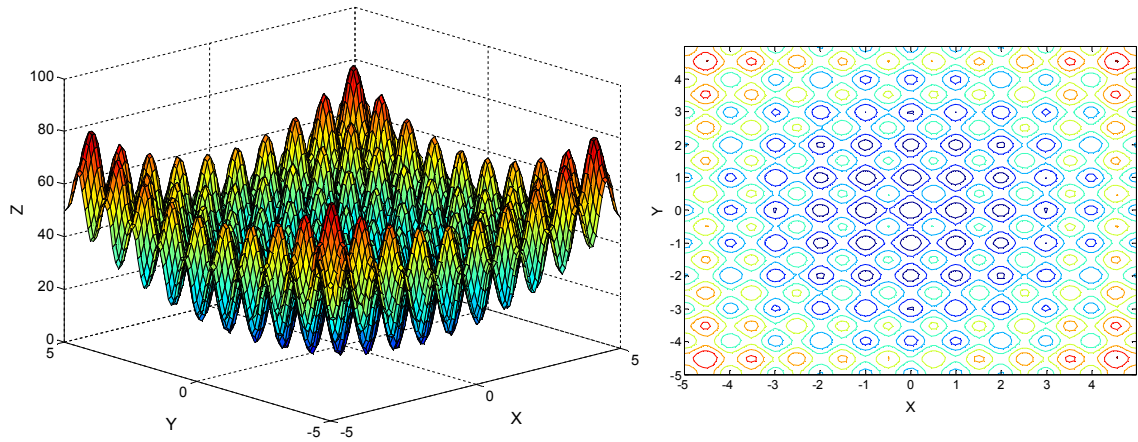
arama özelliğinin kuvvetli olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak F6 fonksiyonu optimizasyonu için BBO algoritmasının kararlı çalıştığı görülmüştür.

3.7. F7 Fonksiyonu : Rastrigin

F7 fonksiyonu matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$z = 10n + \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i)] \quad (3.7)$$

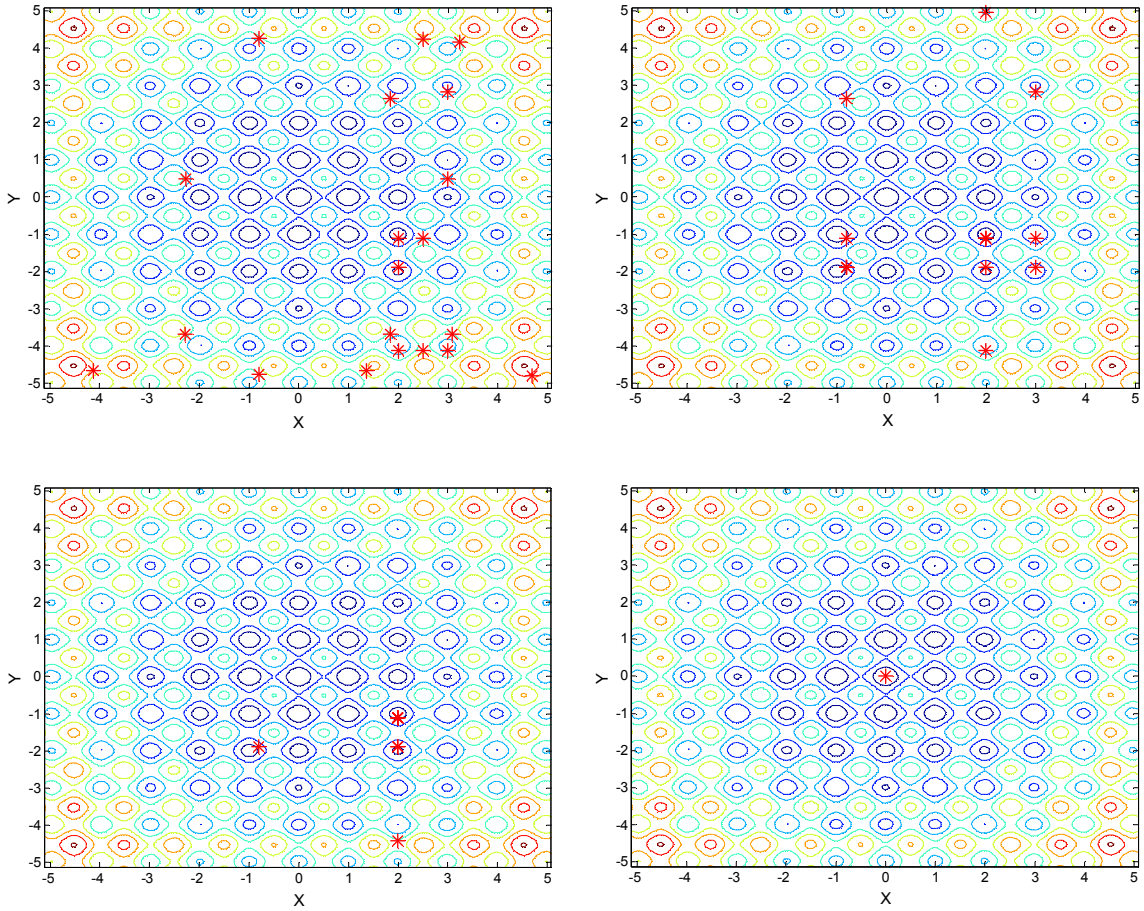
Şekil 3.13'de fonksiyonun yüzeyi ve eş yükselti eğrileri verilmiştir. BBO algoritması ile bu fonksiyonun küresel minimum noktasının bulunması üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 3.13 F7 fonksiyonu yüzeyi (sol şekil) ve eş yükselti eğrileri (sağ şekil).

Şekil 3.13'de gösterilen fonksiyonun yüzey grafiğinde de görüleceği gibi irili ufaklı çok sayıda çukur noktaya sahiptir. Fonksiyonun küresel minimum noktası $x=0$ ve $y=0$ değerleri için $z=0$ 'dadır.

BBO algoritmasına F7 fonksiyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşma yaptırılarak küresel minimum değeri buldurulmuştur. Şekil 3.14'de BBO algoritmasının F7 fonksiyonu optimizasyonu için muhtelif adımlardaki birey pozisyonlarının dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.14 F7 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.

Tablo 3.7’de BBO algoritmasının F7 fonksiyonu optimizasyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşması sonucunda her bir koşmada elde edilen, en iyi x ve y değerleri, ölçüt değerleri ve her bir koşma sonucunda bulunan çözümün yerel mi küresel mi olduğu gösterilmektedir.

Tablo 3.7 F7 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.

Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçüt	Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçüt
			x	y					x	y	
1	X		0,0312860	-0,0081012	0,1935700	51		X	0,0123290	0,0402950	0,3505600
2		X	0,0136080	0,0529830	0,5885500	52	X		-0,0271400	-0,0252480	0,2719900
3		X	0,0145270	0,0028111	0,0434070	53	X		-0,0268630	0,0001038	0,1428300
4		X	-0,0002793	0,0015328	0,0004816	54		X	-0,0510930	-0,0119860	0,5419700
5		X	0,0502100	-0,0113490	0,5215900	55		X	0,0318810	1,0258000	1,3841000
6		X	0,0111630	0,0030918	0,0266090	56		X	0,0288020	-0,0139640	0,2028000
7		X	-0,0599360	0,0398170	1,0172000	57		X	-0,0033422	0,0145460	0,0441630
8		X	0,0284390	0,0315780	0,3572100	58	X		-0,0316670	-0,0018212	0,1989500
9	X		-1,0060000	0,0490180	1,4923000	59		X	-0,0186730	-0,0549640	0,6625300
10		X	0,0123170	-0,0117490	0,0574560	60		X	0,0251330	-0,0029175	0,1267500
11		X	0,0094904	-0,0446830	0,4113900	61		X	0,0540610	0,0011271	0,5745500
12		X	-0,0084605	0,0235180	0,1237300	62		X	-0,0615170	-0,0404530	1,0644000
13	X		1,0086000	-0,0122210	1,0613000	63		X	0,9887900	0,0099439	1,0221000
14		X	-0,0546920	-0,0423240	0,9409500	64		X	0,0025936	1,0067000	1,0238000
15		X	-0,0506670	-0,0232000	0,6116400	65		X	0,0200240	-0,0024031	0,0805890
16		X	-0,0010817	0,0400260	0,3164100	66	X		-0,0340430	-0,0175460	0,2900700
17	X		0,9812400	-0,0697830	1,9830000	67		X	0,0043397	-0,0001091	0,0037384
18		X	0,0162190	-0,0041963	0,0556360	68	X		0,0472910	-0,9994600	1,4394000
19	X		0,0397790	-0,9664400	1,4678000	69		X	0,0141210	-0,0595190	0,7342200
20		X	0,0208340	0,0111430	0,1106100	70		X	-0,0639900	-0,0444060	1,1902000
21		X	0,0331720	0,0633010	1,0021000	71	X		0,0291030	-0,9831000	1,1904000
22	X		1,0092000	1,0377000	2,3906000	72		X	-0,0659040	-0,0143000	0,8900500
23	X		0,9975900	-0,0662480	1,8546000	73		X	-0,0407350	0,0121300	0,3565800
24		X	-0,0328030	-0,0564650	0,8387000	74	X		0,0136740	0,0040974	0,0404010
25		X	-0,0203640	0,0092583	0,0991580	75	X		-0,0341600	-0,9819200	1,2593000
26		X	0,0079014	-0,0346800	0,2500500	76		X	-0,0175190	-0,0391790	0,3638200
27		X	-0,0194290	-0,0032462	0,0768880	77		X	-0,0573950	0,0021466	0,6474400
28		X	-0,0298690	0,0218100	0,2707000	78		X	0,0018009	0,9611000	1,2215000
29		X	0,0016928	0,0151040	0,0457950	79		X	-0,0111700	-0,0090536	0,0409990
30		X	-0,0578650	0,0053391	0,6626800	80		X	-0,0389140	-0,0004168	0,2989700
31		X	0,0159790	0,0265430	0,1900600	81	X		-1,0071000	-0,0440410	1,4067000
32		X	0,0346310	0,0472380	0,6764800	82		X	0,0095850	0,0038974	0,0212350
33		X	-0,9933000	0,0287530	1,1591000	83		X	-0,0593190	-0,0351010	0,9335400
34	X		0,0091613	-0,0014231	0,0170480	84	X		0,0240660	0,0773410	1,2783000
35		X	-0,0554320	0,0010388	0,6037100	85		X	0,0615090	-0,0325330	0,9505900
36		X	0,0696840	-0,0329510	1,1628000	86		X	0,0167700	0,0223830	0,1549700
37		X	-0,9916800	0,0349710	1,2387000	87		X	0,0135000	0,0592200	0,7239400
38	X		0,0120390	0,0225000	0,1290100	88		X	-0,0329390	0,9938600	1,2097000
39		X	0,0073294	-0,0227410	0,1130800	89		X	-0,0122310	0,0157540	0,0788670
40		X	0,0028422	0,0375180	0,2795700	90		X	-0,0350010	0,0164520	0,2957300
41		X	-0,0464650	0,0116890	0,4524100	91		X	-0,0027183	-0,0077591	0,0134070
42		X	0,9939100	-0,9832900	2,0171000	92		X	-0,9831000	-0,9708100	2,1330000
43		X	-0,0191960	0,0134040	0,1086400	93		X	0,0172900	-0,0203070	0,1409500
44		X	0,0055314	0,0096823	0,0246620	94	X		0,0206240	0,9687500	1,2149000
45		X	0,0135480	1,0066000	1,0580000	95		X	1,0027000	-0,0028204	1,0068000
46	X		-0,0200420	0,9275000	1,9596000	96	X		-1,0000000	0,0286080	1,1620000
47	X		-0,0626960	0,0651040	1,5991000	97	X		0,0086133	1,0063000	1,0354000
48		X	-0,0214720	-0,0180450	0,1558600	98		X	-0,0102090	0,0005679	0,0207350
49		X	-0,9961400	-0,0110530	1,0195000	99		X	0,0442740	-0,0192630	0,4599200
50		X	-0,9861300	0,0001775	1,0104000	100		X	-0,0303760	0,0005804	0,1825800

Tablo 3.7’de gösterilen F7 fonksiyonu için elde edilen verilere göre, BBO algoritmasının 100 koşma ardından 24 koşmada yerel minimuma takıldığı, 76 koşma sonucunda küresel minimum noktasını bulduğu gözlemlenmiştir.

F7 fonksiyonu yapısı itibariyle bir adet küresel minimum noktası içermektedir. Fonksiyonda küresel minimum noktasına benzeyen derin çukurlardan meydana gelmeyen irili ufaklı çok sayıda dar yerel minimum çukurları bulunmaktadır. Algoritmanın yerel minimuma takıldığı koşmalarda, ilk iterasyondan itibaren yerel minimuma takıldıkları ve son iterasyona kadar küresel minimum noktasını bulmak için detaylı arama yapamadıkları görülmüştür. Bunun nedeni olarak küresel minimum noktasına benzer yerel minimum noktalarının dar olması gösterilebilir.

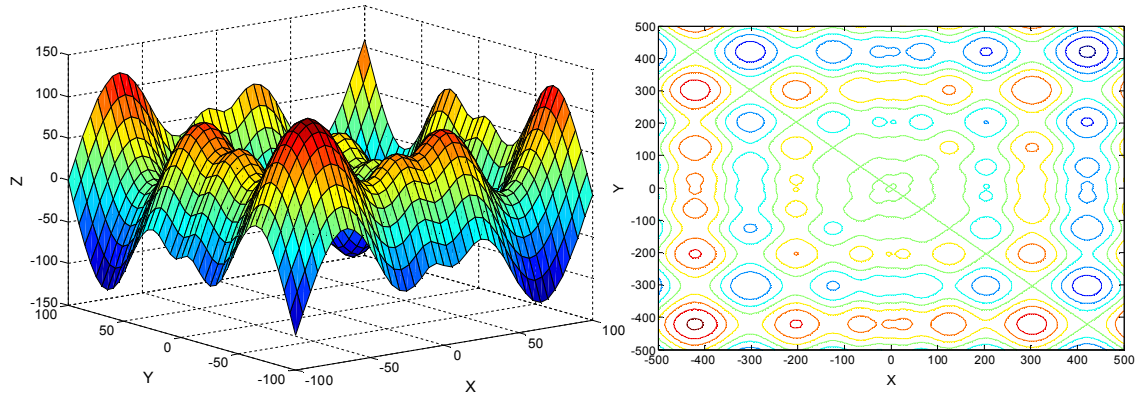
F7 fonksiyonu için yapılan bu gözlemler neticesinde, BBO algoritması küresel minimum noktasının bulunamadığı koşullarında, fonksiyon küresel minimuma çok yakın dar yerel minimum noktaları içerdiğinden kapsamlı küresel minimum arama özelliğinin zayıf olduğunu göstermiştir. F7 fonksiyonu optimizasyonu için BBO algoritmasının geliştirilmesiyle kapsamlı arama kabiliyetinin yükseltilebileceği görülmüştür. Sonuç olarak F7 fonksiyonu optimizasyonu için BBO algoritmasının %76 başarılı olduğu görülmüştür.

3.8. F8 Fonksiyonu : Schwefel

F8 fonksiyonu matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$z = \sum_{i=1}^n \left[-x_i \sin(\sqrt{|x_i|}) \right] \quad (3.8)$$

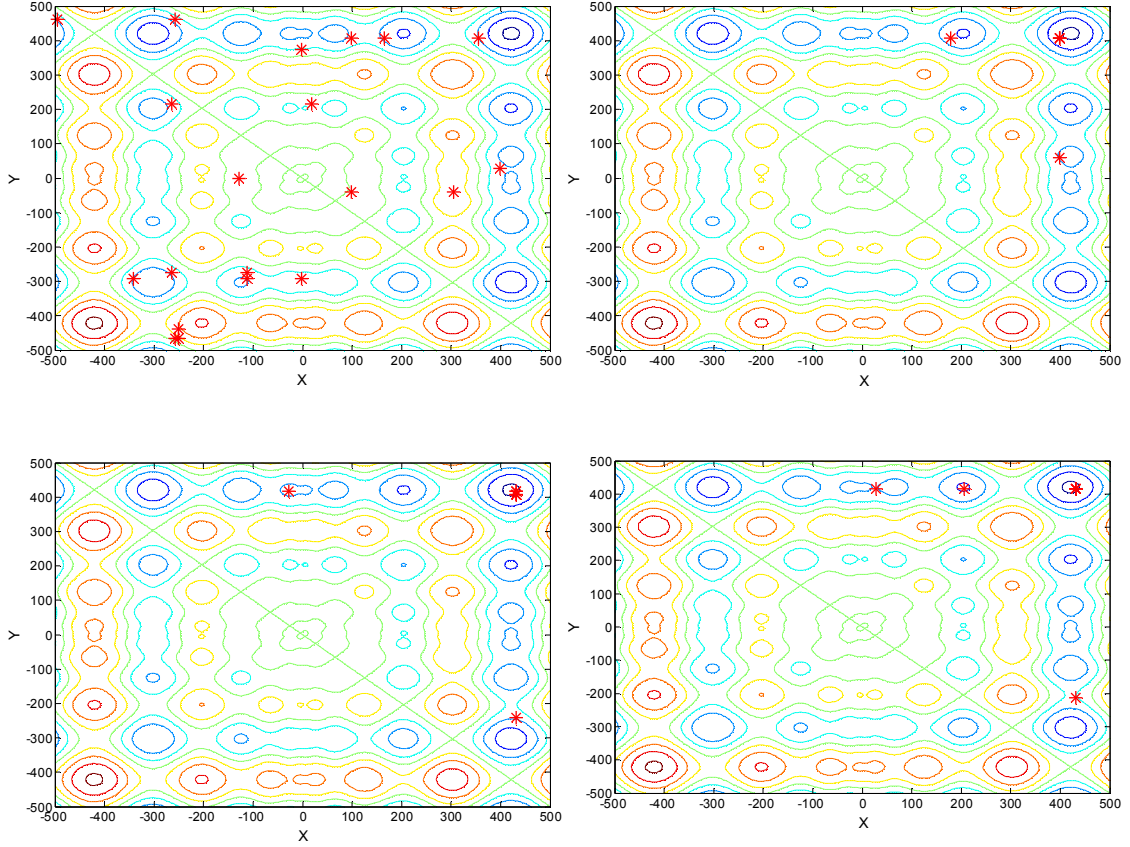
Şekil 3.15’de fonksiyonun yüzeyi ve eş yükselti eğrileri verilmiştir. BBO algoritması ile bu fonksiyonun küresel minimum noktasının bulunması üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 3.15 F8 fonksiyonu yüzeyi (sol şekil) ve eş yükselti eğrileri (sağ şekil).

Şekil 3.15’de gösterilen fonksiyonun yüzey grafiğinde de görüleceği gibi küresel minimum noktası $x=422,6618$ ve $y=421,7778$ değerleri için $z=-837,5213$ ’dedir.

BBO algoritmasına F8 fonksiyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşma yaptırılarak global minimum değeri buldurulmuştur. Şekil 3.16’da BBO algoritmasının F8 fonksiyonu optimizasyonu için muhtelif adımlardaki birey pozisyonlarının dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.16 F8 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.

Tablo 3.8’de BBO algoritmasının F8 fonksiyonu optimizasyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşması sonucunda her bir koşmada elde edilen, en iyi x ve y değerleri, ölçüt değerleri ve her bir koşma sonucunda bulunan çözümün yerel mi küresel mi olduğu gösterilmektedir.

Tablo 3.8 F8 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.

Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçüt	Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçüt
			x	y					x	y	
1		X	415,0259	415,7355	-830,0834	51		X	440,0666	409,2323	-775,2534
2	X		-310,9272	405,2827	-680,1159	52		X	417,6648	432,2595	-820,5373
3		X	417,8418	432,7012	-819,4056	53		X	427,4816	420,8976	-832,6107
4		X	439,9209	425,0097	-791,0555	54		X	413,3110	419,9362	-830,4755
5	X		433,4779	-308,0449	-695,9795	55		X	421,9619	408,3656	-818,0561
6		X	437,6069	414,6008	-798,1970	56		X	423,6572	421,1559	-837,0487
7		X	420,8833	421,9354	-837,8469	57		X	399,9004	429,7366	-773,9668
8		X	429,6495	427,4592	-823,1435	58		X	398,0117	422,8322	-773,3771
9		X	431,9413	425,5087	-820,1983	59		X	419,9628	408,5541	-818,6343
10		X	409,5951	420,3523	-821,7729	60		X	420,2845	426,0752	-834,6142
11		X	432,6967	417,7693	-819,3612	61		X	444,6358	415,2967	-764,5457
12		X	428,4647	422,8740	-830,4167	62		X	426,8229	404,8441	-801,4645
13		X	414,8330	415,8724	-829,9689	63		X	421,5563	446,6610	-756,5019
14		X	414,4796	413,0014	-824,7171	64		X	399,4316	414,5356	-776,0897
15		X	419,5132	424,8703	-835,7764	65		X	420,7097	428,3293	-831,1202
16		X	393,6849	420,9568	-748,5317	66		X	418,0710	423,7104	-835,9587
17		X	399,2526	426,2293	-776,8753	67		X	419,1363	427,5510	-832,0733
18		X	426,8666	419,6287	-833,3477	68		X	413,4132	427,9626	-824,6304
19		X	421,5070	419,1597	-837,5166	69		X	418,0906	413,2795	-829,5059
20		X	423,4693	430,8388	-824,8969	70		X	431,6122	419,8045	-823,5227
21		X	427,1813	404,9070	-801,1655	71		X	422,6618	421,7778	-837,5213
22		X	428,5039	407,2890	-807,5347	72		X	409,3912	440,3841	-774,2077
23		X	425,5429	416,5449	-832,8609	73		X	421,3442	428,1393	-831,4588
24	X		427,7055	-299,7991	-712,8598	74		X	421,4435	447,7826	-749,4701
25		X	408,9910	421,7848	-819,9932	75		X	444,8366	422,6713	-767,0690
26		X	426,0746	434,9486	-810,1203	76	X		424,2054	-309,6840	-711,7125
27		X	429,1793	417,8943	-828,2703	77		X	420,9611	425,0065	-835,9070
28		X	422,9151	418,2585	-836,5619	78		X	413,2083	396,2709	-756,5355
29		X	419,3780	417,1278	-835,7892	79		X	415,6743	421,3391	-834,4236
30		X	428,1568	415,9357	-828,2587	80		X	430,0549	420,2412	-827,4880
31		X	420,9691	417,1388	836,1189	81	X		411,7660	-303,0776	-708,8858
32		X	420,2035	442,8724	778,2743	82		X	400,0747	403,2915	-745,9926
33		X	429,2706	427,8083	-823,3667	83		X	423,5247	419,7112	-836,9415
34		X	421,2461	400,5993	-787,1057	84		X	421,3607	399,1843	-779,9978
35		X	393,5376	417,2937	-745,9062	85		X	405,4543	424,9134	-806,1790
36		X	440,1634	427,1512	-787,1540	86		X	414,2168	417,1574	-830,4124
37		X	449,9123	422,4782	-735,1133	87		X	414,5455	410,7821	-819,8095
38		X	435,0759	424,3350	-811,5351	88		X	413,6989	409,4524	-814,7843
39		X	419,8654	412,6695	-829,1790	89		X	406,6793	439,6567	-768,9841
40		X	410,2944	401,3747	-776,5874	90		X	415,4130	422,7010	-833,7065
41		X	424,7125	438,4620	-797,9077	91		X	413,4426	445,3285	-757,4632
42		X	418,3084	427,0040	-832,4755	92		X	431,7186	413,5630	-816,5261
43		X	430,1778	438,5196	-788,7345	93		X	421,4779	429,6557	-828,4149
44		X	423,6332	404,4211	-803,2145	94		X	409,8349	431,7490	-807,8484
45		X	424,7789	394,4590	-751,4911	95		X	433,1969	424,5055	-817,5702
46		X	417,4449	425,9873	-833,2219	96		X	437,5598	430,1247	-792,9134
47		X	426,1196	408,0723	-813,9094	97		X	417,3064	450,8174	-727,4423
48		X	425,2477	421,3770	-835,6327	98		X	415,2067	417,6308	-832,3893
49		X	445,2414	423,5468	-764,2416	99		X	421,2669	425,5668	-835,2849
50		X	426,8483	428,2163	-826,9723	100		X	431,9798	416,2875	-819,9374

Tablo 3.8. de gösterilen F8 fonksiyonu için elde edilen verilere göre, BBO algoritmasının 100 koşma ardından 5 kez yerel minimuma takıldığı, kalan 95 koşmada ise küresel minimum noktasını bulduğu gözlemlenmiştir.

F8 fonksiyonu yapısı itibariyle, küresel minimum noktasına benzer derin yerel minimum noktaları içermektedir. Algoritmanın fonksiyon üzerindeki aramaları sonucu da yerel minimum noktasına 5 kez takıldığı ve çıkamadığı görülmüştür.

F8 fonksiyonu için yapılan bu gözlemler neticesinde, BBO algoritması kapsamlı küresel minimum arama özelliğinin kuvvetli olduğunu göstermiştir. Algoritmanın yerel minimum noktasına takıldığı ve çıkamadığı aramalarda, küresel minimumu bulamamasının nedeni olarak yerel minimum noktalarına ait çukurların küresel

minimum noktasına yakın derinlikte olması ve bireylerin bu bölgede detaylı arama yapamamasının etkisi olduğu şeklinde açıklanabilir. Sonuç olarak F8 fonksiyonu optimizasyonu için BBO algoritmasının %95 başarılı olduğu kararlı görülmüştür.

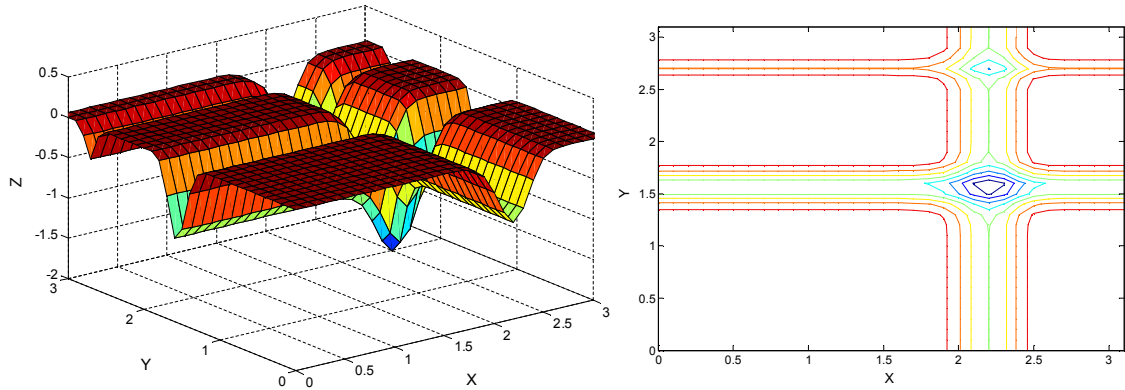
3.9. F9 Fonksiyonu : Michalewicz

F9 fonksiyonu matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$z = -\sum_{i=1}^n \sin(x_i) \left[\sin\left(\frac{i \cdot x_i^2}{\pi}\right) \right]^{2m} \quad (3.9)$$

$m = 10$ olarak alınmıştır.

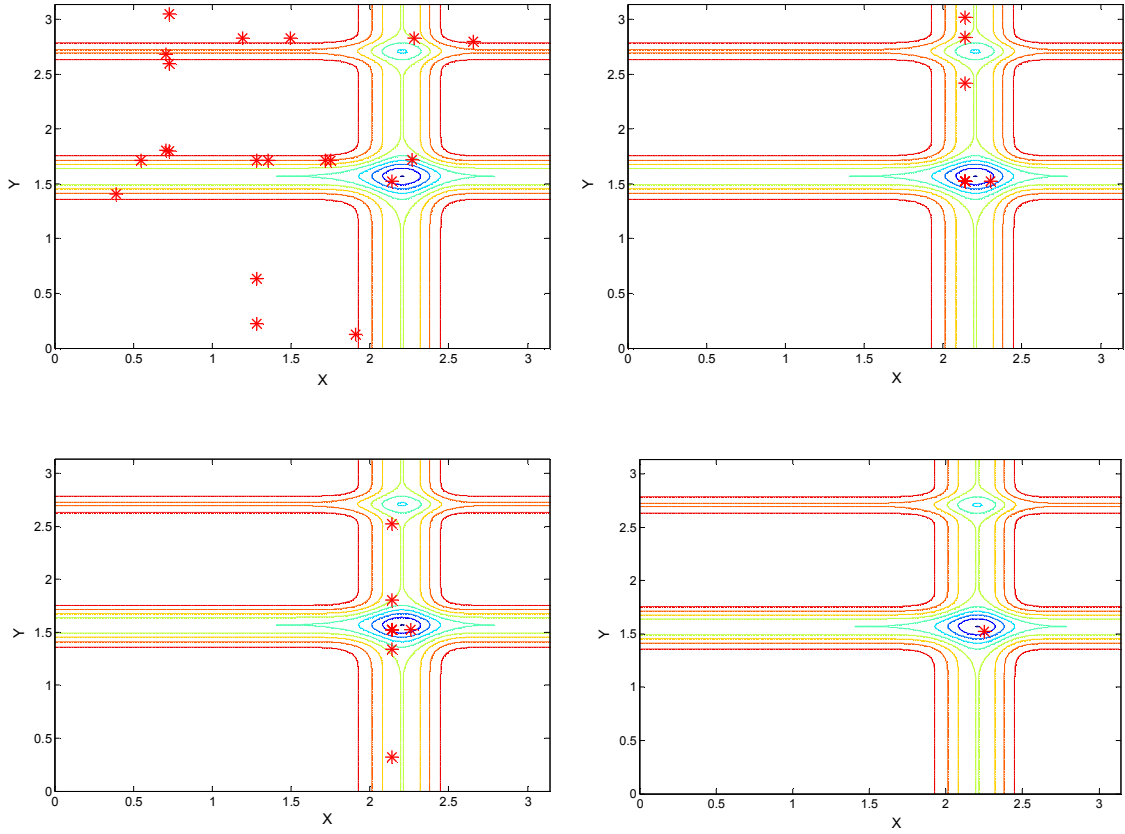
Şekil 3.17’de fonksiyonun yüzeyi ve eş yükselti eğrileri verilmiştir. BBO algoritması ile bu fonksiyonun küresel minimum noktasının bulunması üzerinde çalışılmıştır.



Şekil 3.17 F9 fonksiyonu yüzeyi (sol şekil) ve eş yükselti eğrileri (sağ şekil).

Şekil 3.17’de gösterilen fonksiyonun yüzey grafiğinde de görüleceği gibi bir adet küresel çukur noktaya sahiptir. Fonksiyonun küresel minimum noktası $x=2,1995$ ve $y=1,5687$ değerleri için $z=-1,8009$ ’dur.

BBO algoritmasına F9 fonksiyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşma yaptırılarak global minimum değeri buldurulmuştur. Şekil 3.18’de BBO algoritmasının F9 fonksiyonu optimizasyonu için muhtelif adımlardaki birey pozisyonlarının dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.18 F9 fonksiyonu muhtelif iterasyonlardaki birey dağılımları.

Tablo 3.9’da BBO algoritmasının F9 fonksiyonu optimizasyonu üzerinde 50 iterasyon 100 koşması sonucunda her bir koşmada elde edilen, en iyi x ve y değerleri, ölçüt değerleri ve her bir koşma sonucunda bulunan çözümün yerel mi küresel mi olduğu gösterilmektedir.

Tablo 3.9 F9 fonksiyonu 50 iterasyon 100 koşma sonucu elde edilen veri tablosu.

Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçüt	Koşma No	Yerel Minimum	Küresel Minimum	En Son İterasyonda Bulunan Çözüm		Son İterasyon Ölçüt
			x	y					x	y	
1		X	2,1731	1,4118	-1,1786	51		X	2,1875	1,5433	-1,7679
2		X	2,1880	1,5335	-1,7440	52		X	2,2229	1,6010	-1,7579
3		X	2,2871	1,5791	-1,6872	53		X	2,2511	1,5550	-1,7537
4		X	2,2017	1,5822	-1,7960	54		X	2,2393	1,5709	-1,7797
5		X	2,1868	1,6189	-1,7049	55		X	2,1580	1,6187	-1,6783
6		X	2,1796	2,7073	-1,2045	56		X	2,1942	1,5333	-1,7459
7		X	2,2329	1,4550	-1,3882	57		X	2,2049	1,6409	-1,6131
8		X	2,2962	1,5997	-1,6325	58		X	2,2128	1,5133	-1,6784
9		X	2,2119	1,5618	-1,7968	59		X	2,2172	1,5694	-1,7979
10		X	2,1890	1,5383	-1,7570	60		X	2,2075	1,5524	-1,7875
11		X	2,2083	1,5660	-1,7999	61		X	2,0668	1,5120	-1,4349
12		X	2,2155	1,5621	-1,7957	62		X	2,2234	1,5648	-1,7930
13		X	2,2349	1,6609	-1,4894	63		X	2,2267	1,5565	-1,7839
14		X	2,1850	1,5184	-1,6941	64		X	2,1595	1,5902	-1,7565
15		X	2,1980	1,5671	-1,8004	65		X	2,2439	1,5902	-1,7587
16		X	2,1841	2,7114	-1,2084	66		X	2,2179	1,5967	-1,7704
17		X	2,2058	1,5779	-1,7991	67		X	2,2416	1,6068	-1,7245
18		X	2,2064	1,6148	-1,7237	68		X	2,2027	1,5656	-1,8002
19		X	2,1995	1,5687	-1,8009	69		X	2,1550	1,5668	1,7649
20		X	2,1665	1,5543	-1,7695	70		X	2,1968	1,5092	-1,6632
21		X	2,1702	1,5847	-1,7765	71		X	2,2436	1,5680	-1,7740
22		X	2,2238	1,5292	-1,7281	72		X	2,1880	1,5594	-1,7925
23		X	2,1344	1,5501	-1,7135	73		X	2,1659	1,5937	-1,7585
24		X	2,2601	1,5916	-1,7311	74		X	2,2434	1,5596	-1,7696
25		X	2,1803	1,5363	-1,7471	75		X	2,1910	1,5740	-1,7986
26		X	2,2599	1,5923	-1,7302	76		X	2,2013	1,5600	-1,7966
27		X	2,2086	1,5436	-1,7717	77		X	2,2778	1,5570	-1,7048
28		X	2,1831	1,5443	-1,7675	78		X	2,2666	1,6332	-1,5846
29		X	2,1919	1,5682	-1,7991	79		X	2,1288	1,5711	-1,7193
30		X	2,1564	1,5493	-1,7493	80		X	2,1301	1,5920	-1,7038
31		X	2,2362	1,5514	-1,7683	81		X	2,1939	1,5705	-1,8000
32		X	2,1631	1,5478	-1,7555	82		X	2,1934	1,5648	-1,7984
33		X	2,1883	1,6079	-1,7423	83		X	2,1656	1,5618	-1,7761
34		X	2,2052	1,5459	-1,7768	84		X	2,1727	1,5881	-1,7746
35		X	2,1684	1,5697	-1,7824	85		X	2,2112	1,5095	-1,6637
36		X	2,1914	1,5716	-1,7991	86		X	2,1939	1,5298	-1,7359
37		X	2,2176	1,5798	-1,7945	87		X	2,1820	1,5715	-1,7943
38		X	2,2059	1,6336	-1,6478	88		X	2,1924	1,5823	-1,7941
39		X	2,1965	1,5670	-1,8001	89		X	2,1920	1,6556	-1,5337
40		X	2,2013	1,5893	-1,7873	90		X	2,2041	1,5449	-1,7750
41		X	2,1874	1,5714	-1,7974	91		X	2,1611	1,5809	-1,7697
42		X	2,2023	1,6017	-1,7625	92		X	2,1692	1,5834	-1,7768
43		X	2,1979	1,6341	-1,6451	93		X	2,2759	1,5320	-1,6588
44		X	2,2611	1,5648	-1,7454	94		X	2,1993	1,5215	-1,7101
45		X	2,2261	1,5705	-1,7925	95		X	2,1909	1,5628	-1,7964
46		X	2,1808	1,4937	-1,5880	96		X	2,1454	1,5731	-1,7503
47		X	2,2049	1,5544	-1,7905	97		X	2,2069	1,5724	-1,8009
48		X	2,1368	1,5542	-1,7241	98		X	2,1946	1,5572	-1,7928
49		X	2,1894	1,5593	-1,7931	99		X	2,1952	1,5895	-1,7861
50		X	2,1995	1,5395	-1,7630	100		X	2,2468	1,6015	-1,7318

Tablo 3.9.da gösterilen F9 fonksiyonu için elde edilen verilere göre, BBO algoritmasının 100 koşma ardından yerel minimuma takılmadığı, her koşma sonucunda küresel minimum noktasını bulduğu gözlemlenmiştir.

F9 fonksiyonu yapısı itibariyle küresel minimum noktası kadar derin olmayan paralel düz çukurlar içeren küresel minimum noktalarına sahiptir. Bu nedenle fonksiyon üzerinde BBO algoritmasının aramaları sırasında benzer yerel minimum noktalarına takılmadığı, her koşma sonrasında küresel minimum noktasını bulduğu gözlemlenmiştir.

F9 fonksiyonu için yapılan bu gözlemler neticesinde, BBO algoritması küresel minimuma benzer yerel minimum noktalarının sığ çukurlardan oluşması durumunda kapsamlı küresel minimum arama özelliğinin kuvvetli olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak F9 fonksiyonu optimizasyonu için BBO algoritmasının kararlı çalıştığı görülmüştür.

3.10. BBO Algoritmasının Test Fonksiyonları Üzerindeki Başarımı

Bölüm 3.'de BBO algoritmasının, test amacıyla kullandığımız literatürde sıkça kullanılan dokuz fonksiyonun 100'er koşma sonucundaki sonuçları incelenmiştir. Her bir fonksiyonda BBO algoritmasının 100'er kez koşturulması neticesinde, yerel minimuma kayma ve takılma sayıları, küresel minimumu bulma sayıları, fonksiyonların yapılarına göre küresel ve yerel minimum noktalarının özellikleri Tablo 3.10'da ayrıntılı şekilde gösterilmiştir.

Tablo 3.10 BBO algoritmasıyla tüm fonksiyonlar için elde edilen veri tablosu.

Fonksiyon	Fonksiyonun Genel Yapısı										100 Koşma Sonucu Alınan Veriler	
	Küresel Minimum Noktası Derin Çukur		Küresel Minimum Noktası Sığ Çukur		Küresel Minimum Noktasına Benzer Yerel Minimum Noktaları		Yerel Minimum Noktası Derin Çukur		Yerel Minimum Noktası Sığ Çukur		Yerel Minimuma Takılma Sayısı	Küresel Minimum Bulma Sayısı
	Çukur Geniş İniyor	Çukur Dar İniyor	Çukur Geniş İniyor	Çukur Dar İniyor	Az Sayıda	Çok Sayıda	Çukur Geniş İniyor	Çukur Dar İniyor	Çukur Geniş İniyor	Çukur Dar İniyor		
F1 Fonksiyonu : Peaks	X				X				X		5	95
F2 Fonksiyonu		X				X		X			15	85
F3 Fonksiyonu		X			X			X			47	53
F4 Fonksiyonu : Alpine				X		X				X	0	100
F5 Fonksiyonu : Ackley	X				X				X		1	99
F6 Fonksiyonu : Griewangk	X				X		X				0	100
F7 Fonksiyonu : Rastrigin		X				X		X			24	76
F8 Fonksiyonu : Schwefel	X				X		X				5	95
F9 Fonksiyonu : Michalewicz	X				X		X				0	100

BBO algoritmasının F4, F6 ve F9 fonksiyonları üzerindeki koşmalarında, yerel minimuma takılmadığı her koşma neticesin de küresel minimumu bulduğu gözlemlenmiştir. Bu üç fonksiyonun sonuçlarına göre BBO algoritması, fonksiyonun küresel minimum noktasının yapısının tek başına sonucu etkilemediğini göstermiştir. Fonksiyonun takılmasına neden olabilecek yerel minimum noktalarının çok fazla olmaması durumunda bireylerin takılmadığı veya takılsa bile bu noktalardan çıkabildiği gözlemlenmiştir. Bu durumda yerel minimum noktalarının derin veya dar olmasının fonksiyonların koşma neticesindeki başarımlarını etkilemediği de söylenebilir. Sonuç olarak F4,F6 ve F9 fonksiyonlarının BBO algoritmasındaki küresel minimum bulma başarımlarının kuvvetli olduğu görülmüştür.

BBO algoritmasının F5 fonksiyonu üzerindeki koşmalarında, 1 koşma neticesin de yerel minimuma takıldığı kalan 99 koşma sonucunda ise küresel minimumu bulduğu gözlemlenmiştir. F1 ve F8 fonksiyonları üzerindeki koşmalarda, 5 koşma neticesin de yerel minimuma takıldığı kalan 95 koşma sonucunda ise küresel minimumu buldukları gözlemlenmiştir. Bu üç fonksiyon incelendiğinde genel yapılarının benzer olduğu görülmektedir. Küresel minimum noktaları derin, benzer yerel minimum noktalarının derin fakat az sayıda oldukları görülmektedir. Bu durumda yerel minimum noktalarının derin veya dar olmasının fonksiyonların koşma neticesindeki başarımların etkilemediği de söylenebilir. Sonuç olarak F1, F5 ve F8 fonksiyonlarının BBO algoritmasındaki küresel minimum bulma başarımlarının kuvvetli olduğu görülmüştür.

BBO algoritmasının F2 fonksiyonu üzerindeki koşmalarında, 15 koşma neticesin de yerel minimuma takıldığı kalan 85 koşma sonucunda ise küresel minimumu bulduğu gözlemlenmiştir. F2 fonksiyonun genel yapısı incelendiğinde küresel minimum noktasının derin, benzer yerel minimum noktalarının çok ve derin olduğu görülmektedir. F2 fonksiyonun yerel minimum noktalarının küresel minimum noktasına benzer olması nedeniyle 15 koşma sonucunda takıldığı ve takılıp çıkamadığı söylenebilir. BBO algoritması F2 fonksiyonun optimizasyonundaki başarımının algoritmanın detaylı arama yeteneğinin geliştirilmesiyle daha iyi sonuç verebilecek forma getirebileceği düşünölmüştür. Sonuç olarak mevcut durum ve diğer fonksiyon sonuçları düşünöldüğünde F2 fonksiyonunda BBO algoritmasının küresel minimum bulma başarımının iyi olduğu görülmüştür.

BBO algoritmasının F7 fonksiyonu üzerindeki koşmalarında, 24 koşma neticesinde yerel minimuma takıldığı kalan 76 koşma sonucunda ise küresel minimumu bulduğu gözlemlenmiştir. F7 fonksiyonun genel yapısı incelendiğinde küresel minimum noktasının sığ, benzer yerel minimum noktalarının çok ve dar olduğu görölmektedir. F2 fonksiyonun yerel minimum noktalarının, küresel minimuma çok sayıda benzer noktası olması nedeniyle 24 koşma sonucunda takıldığı, benzer bu noktaların sığ olması nedeniyle de takılıp çıkamadığı görölmüştür. BBO algoritması F7 fonksiyonun optimizasyonundaki başarımının algoritmanın detaylı arama yeteneğinin geliştirilmesiyle daha iyi sonuç verebilecek forma getirilebileceği düşünölmüştür. Sonuç olarak mevcut durum ve diğer fonksiyon sonuçları düşünöldüğünde F2 fonksiyonunun BBO algoritmasındaki küresel minimum bulma başarımının kabul edilebilir düzeyde iyi olduğu görölmüştür.

BBO algoritmasının F3 fonksiyonu üzerindeki koşmalarında, 47 koşma neticesinde yerel minimuma takıldığı kalan 53 koşma sonucunda ise küresel minimumu bulduğu gözlemlenmiştir. F3 fonksiyonun genel yapısı incelendiğinde küresel minimum noktasının derin, benzer yerel minimum noktalarının az ve derin olduğu görölmektedir. F3 fonksiyonun yerel minimum noktalarının, küresel minimuma benzer az sayıda ve derin noktası olması nedeniyle 47 koşma sonucunda takıldığı, benzer bu noktaların derin olması nedeniyle de takılıp çıkamadığı görölmüştür. BBO algoritması F3 fonksiyonun optimizasyonundaki başarımının algoritmanın detaylı arama yeteneğinin geliştirilmesiyle daha iyi sonuç verebilecek forma getirilebileceği düşünölmüştür. Sonuç olarak mevcut durum için F3 fonksiyonunun BBO algoritmasındaki küresel minimum bulma başarımının orta seviyede olduğu görölmüştür.

4. BULANIK SİSTEM MODELLEMESİNDE KULLANILAN ANFIS ÇIKARIM SİSTEMİ VE ÖRNEK DİNAMİK SİSTEMLER

Bu bölümde, BBO algoritmasının bulanık sistem modellemedeki başarımının incelenmesi maksadıyla kullanılan örnek dinamik sistem problemleri (ÖDSP), bulanık mantık yapısı ve ANFIS bulanık çıkarım sistemi kısaca anlatılmıştır.

4.1 Örnek Dinamik Sistem Problemleri (ÖDSP)

BBO algoritmasının bulanık sistem modelleme üzerindeki başarımının incelenmesi amacıyla dinamik sistemler üzerinde çalışılmıştır. Şekil 4.1’de literatürde sıkça kullanılan ve tez çalışmamızda BBO algoritması üzerinde uyguladığımız örnek dinamik sistem problemleri (ÖDSP) verilmiştir. Tablo 4.1’de problemlerin matematiksel eşitlikleri, eğitim ve test setlerinde kullanılan harici giriş dizileri gösterilmektedir. Bu çalışmada kullanılan ÖDSP’ler ve harici giriş dizileri Özlem Yıldırım’ın Yüksek Lisans Tez çalışmasında da kullanılmıştır (Yıldırım, 2012).

BBO algoritmasının bulanık sistem modellemesi üzerinde, örnek dinamik sistem problemleri (ÖDSP) modellenirken, Şekil 4.1’de verilen ANFIS yapısı kullanılmıştır. Her bir örnek dinamik sistem problemi (ÖDSP) için ANFIS yapısı oluşturulurken Tablo 4.2’de tanımlanan ANFIS parametreleri kullanılmıştır.

Örnek dinamik sistem problemlerinin (ÖDSP) modellenmesi aşamasında (Yıldırım, 2012)’de oluşturulan eğitim ve veri setleri kullanılmıştır. Oluşturulan eğitim setleri kullanılarak her bir ÖDSP için BBO algoritması koşturulmuş ve elde edilen sonuçlar kaydedilmiştir. Tüm ÖDSP’ler için eğitimlerin tamamlanmasının ardından, eğitim başarımının test edilebilmesi için farklı harici giriş dizileri kullanılarak test setleri hazırlanmıştır. Son aşamada elde edilen test setleri ile BBO algoritması tarafından eğitilen ANFIS sistem modelleri test edilmiştir. ÖDSP için Şekil 4.1’de eğitim aşamasında kullanılan $u(k)$ giriş dizileri, Şekil 4.2’de test aşamasında kullanılan $u(k)$ giriş dizileri verilmiştir.

Tablo 4.1 BBO algoritmasının bulanık sistem modellemesinde kullanılan ÖDSP'ler, eğitim ve test setlerinde kullanılan harici giriş dizileri.

Bulanık Sistem Modellemesinde Kullanılan Örnek Dinamik Sistem Problemleri			
No	Örnek Dinamik Sistem Problemleri (ÖDSP)	ÖDSP İçin Kullanılan Eğitim Seti	ÖDSP İçin Kullanılan Test Seti
1	$y(k) = \frac{y(k-1).y(k-2).(y(k-1)+2.5)}{1+y^2(k-1)+y^2(k-2)} + u(k)$ <p style="text-align: right;">(Narendra,1990)</p>	$u(k) = \cos \frac{2\pi k}{100}$	$u(k) = \sin \frac{2\pi k}{25}$
2	$y(k+1) = \frac{y(k)}{1+y^2(k)} + u^3(k)$ <p style="text-align: right;">(Narendra,1990)</p>	$u(k) = \cos \frac{2\pi k}{100}$	$u(k) = \sin \frac{2\pi k}{25}$
3	$y(k+1) = y(k) + u(k).e^{-3 y(k) }$ <p style="text-align: right;">(Babuska,2012)</p>	[-1 1] aralığında rastgele genlikli	[-1 1] aralığında rastgele genlikli
4	$y(k+1) = \frac{24+y(k)}{30} y(k) - 0.8 \frac{u^2(k)}{1+u^2(k)} y(k-1) + 0.5u(k)$ <p style="text-align: right;">(Oussar,1998)</p>	[-5 5] aralığında rastgele genlikli	[-5 5] aralığında rastgele genlikli
5	$y(k+1) = 0.5 \left(\frac{y(k)}{1+y^2(k)} + [(1+u(k)).u(k).(1-u(k))] \right)$ <p style="text-align: right;">(Sastry,1994)</p>	[-2 2] aralığında rastgele genlikli	[-2 2] aralığında rastgele genlikli

Tablo 4.2 BBO algoritmasının bulanık sistem modellemesinde kullanılan ÖDSP girişleri, ÜF, kural ve optimize edilecek parametre sayısı.

No	Her Bir ÖDSP İçin Girişler	Giriş Üyelik Fonksiyonu (ÜF)	Kural Sayıları	Optimize Edilecek Parametre Sayısı (D)
1	$u(k), y(k-2), y(k-1)$	2, 2, 2	8	36
2	$u(k), y(k), y(k-1)$	2, 2, 2	8	36
3	$u(k), y(k)$	2, 2	4	20
4	$u(k), y(k), y(k-1)$	2, 2, 2	8	36
5	$u(k), y(k)$	2, 2	4	20

4.2 Bulanık Mantık

Bulanık mantık, bulanık küme teorisine dayanan ve klasik küme gösteriminin genişletilmesiyle oluşturulan matematiksel bir yapıdır. Bulanık mantık ve bu mantığa bağlı kuralları kullanan bulanık küme teorisi Lotfi A.Zadeh tarafından geliştirilmiştir (Zadeh, 1965). Lotfi A.Zadeh'in bulanık mantık ve bulanık küme teorisini yayınladığı 1965 tarihli makalesinin ardından belirsizlik içeren sistemlerin incelenmesi ve çözümü yeni bir boyut kazanmıştır (Yıldırım, 2012).

Bulanık yapılar, bulanık kümeler yardımıyla giriş değişkenlerinden çıkış değişkenlerine dönüşümü sağlayan sistemlerdir (Zadeh, 1965). Bu sistemler, bulanık mantık yapısı ile direkt ilintili sayısal karşılığı bulunmayan değişkenlerin konunun uzman görüş ve tecrübeleri yardımıyla modele aktarılabilmelerine olanak sağlamaktadır. Ayrıca eksik veya yetersiz bilgilerle de işlem yapabilme özelliğine sahiptirler.

Bulanık sistemlerin hesaplanmasında, bulanık küme teorisi, bulanık “eğer-öyleyse” kuralları ve bulanık mantık yapıları kullanılır. Bulanık mantık kullanılarak modelleme de üç temel kural bulunmaktadır. Bunlar bulanıklaştırma, kural çıkarma ve durulama aşamalarıdır. Bulanıklaştırma aşamasında mevcut girişler bulanıklaştırılır. Yani sistem girişlerine, uygun giriş üyelik fonksiyonları belirlenir. Kural çıkarma aşamasında, belirlenen bu fonksiyonların “eğer-öyleyse” kuralları kullanılarak, bulanık kümelerin diğer kümelerle ilişkilendirilmesi sağlanır. Durulama aşamasında ise bulanık çıkış değerinin kesin çıkış değerine dönüştürülmesi sağlanır.

Bulanık sistemlerin modellenmelerinde, bulanık girişimli çeşitli yapılar kullanılmaktadır. Bunların arasında da en çok kullanılanları Mamdani, Tsukamoto ve Sugeno bulanık çıkarım modelleridir. Mamdani bulanık çıkarım modeli diğer iki modelin temelini oluşturmaktadır.

Sugeno bulanık çıkarım modeli ilk kez 1985 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Sugeno bulanık çıkarım sistemi, giriş ve çıkış veri kümelerine göre bulanık kuralların oluşturulmasında sistematik bir yaklaşım sağlar. Parametrelerinin optimize edilebilmesinin kolay olması nedeniyle diğer sistemlere göre daha avantajlıdır (Subaşı vd., 2010). Bu çalışmada Sugeno tipi uyarlanabilir yapay sinir ağı tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanılmıştır.

4.3 Uyarlanabilir Yapay Sinir Ağı Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

Bulanık sistemlerin etkinliklerinin artırılmasında uyarlama tekniklerinin katkısını sağlamaya yönelik değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bunların en önemlilerinden biri 1993 yılında Jang tarafından geliştirilen uyarlanabilir yapay sinir ağı tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)'dir. ANFIS, Sugeno tipi bulanık çıkarım modelini kullanan her biri belli bir işlevi gerçekleştirmek üzere tasarlanmış beş katmandan oluşan bir yapıdır (Jang, 1993).

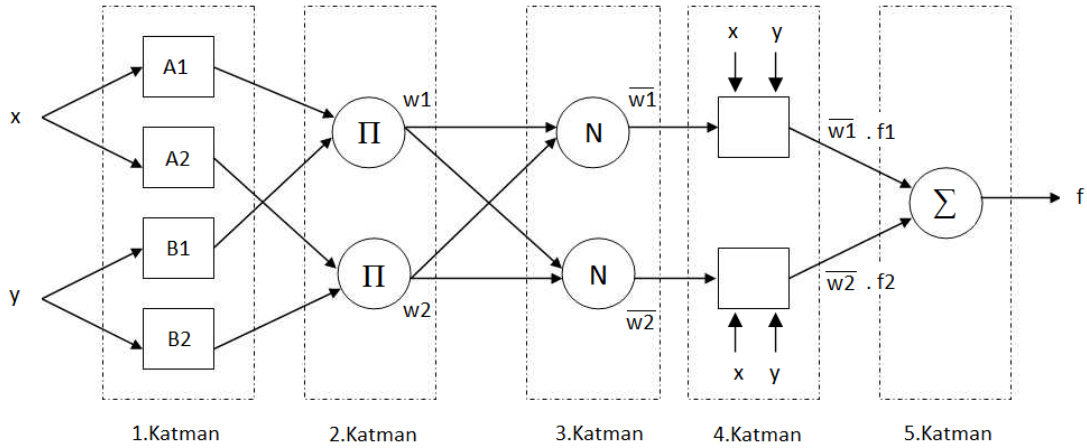
ANFIS bulanık çıkarım sistemi, Sugeno tipi bulanık sistemlerin sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısı olarak temsil edilmesi esasına dayanmaktadır. Bu ağ yapısı, her biri belli bir fonksiyonu gerçekleştirmek üzere katmanlar halinde yerleştirilmiş düğümlerin birleşiminden oluşmuştur (Tsoukalas ve Uhrig, 1996).

ANFIS yapısındaki bulanık çıkarım sisteminin mimarisini kolaylıkla anlayabilmek için, x ve y olmak üzere iki girişi ve f gibi bir çıkışı olduğunu kabul

edelim. Bu kabul ile birinci derece Sugeno bulanık çıkarım modeli için, (4.1)'de gösterilen iki bulanık “eğer-öyleyse” kural kümesi bulunmuş olur.

$$\text{Kural1: Eğer } x = A_1 \text{ ve } y = B_1 \text{ ise Öyleyse } f_1 = p_1x + q_1y + r_1 \quad (4.1)$$

$$\text{Kural2: Eğer } x = A_2 \text{ ve } y = B_2 \text{ ise Öyleyse } f_2 = p_2x + q_2y + r_2$$



Şekil 4.1 Birinci derece Sugeno bulanık çıkarımına eşdeğer ANFIS mimarisi.

Şekil 4.1'de iki giriş, iki kural ve bir çıkışlı birinci derece Sugeno bulanık çıkarım modeline eşdeğer ANFIS mimarisi gösterilmiştir. Aşağıda Şekil 4.1'de verilen ANFIS bulanık çıkarım sisteminin beş katmanı kısaca açıklanmıştır (Jang, 1993).

1.Katman:

Bu katmanda yer alan her bir i düğümü, çıkışları (4.2)'deki gibi tanımlanan adaptif bir düğüm noktasıdır.

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad i=1,2 \text{ için} \quad (4.2)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i=3,4 \text{ için}$$

(21)'de ifade edilen eşitliklere göre x (veya y) düğümün girişini, A_i (veya B_{i-2}) işlem yapılan düğüm noktasına ait bulanık kümeyi ifade etmektedir. Bu katmandaki çıkışlar, kural kümelerinin şart yada öncül kısımlarına ait üyelik değerlerini oluştururlar. A_i ve B_i düğüm noktaları için söz konusu üyelik fonksiyonları, uygun bir şekilde

değişkenlere atanmış herhangi bir üyelik fonksiyonu olabilir. Her bir x ve y girişlerimize bağlı olarak toplam dört adet düğüm noktası bulunur. Her bir düğüm noktası için çan eğrisi fonksiyonu kullanılır.

A_i düğüm noktası için genelleştirilen çan eğrisi fonksiyonu (4.3)'deki şekilde ifade edilir.

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}} \quad (4.3)$$

(4.3)'de ifade edilen eşitlikte yer alan $\{a_i, b_i, c_i\}$ kümesi değişkenler kümesidir.

1.Katmanın değişkenleri, şart yada giriş değişkenleri olarak ifade edilirler.

2.Katman:

2.Katmanda bulunan her bir düğüm noktası, kendisine gelen tüm sinyallerin çarpımını çıkış olarak yansıtır. \prod ile ifade edilen sabit bir düğüm noktasıdır.

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), \quad i=1,2 \quad (4.4)$$

(4.4)'de düğüm noktasına ait çıkış ifadesi gösterilmiştir. Her bir düğüm noktasının çıkışı, her bir kural için gerçekleşme derecesini oluşturur. (4.4)'deki ifadede gösterilen çarpma işleminin yerine, bulanık (VE) işlemini icra eden başka t -norm işlemleride bu katmandaki düğüm noktaları için düğüm fonksiyonu olarak kullanılabilir.

3.Katman:

Bu katmanda yer alan her bir düğüm noktası, N ile ifade edilen sabit bir düğüm noktasıdır. Katmandaki i . düğüm i . kuralın gerçekleşme derecesinin, bütün kuralların gerçekleşme derecelerinin toplamına oranının ifadesidir. (4.5)'de bu ifadenin eşitliği gösterilmiştir.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i=1,2 \quad (4.5)$$

Katmanda yer alan her bir düğümün çıkışları, hesaplanmalarına uygun olarak normalize edilmiş gerçekleşme dereceleri olarak adlandırılmaktadırlar.

4.Katman:

Bu katmanda yer alan her bir i düğümü, düğüm fonksiyonu (4.6)'daki gibi ifade edilen adaptif bir düğüm yapısına sahiptir.

$$O_{4,i} = \overline{w}_i f_i = \overline{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (4.6)$$

Katmanda yer alan \overline{w}_i , 3.Katmanın çıkış ifadesidir. $\{p_i, q_i, r_i\}$ ifadeleri katmanda bulunan düğünlerin değişkenlerinden oluşan, değişkenler kümesidir. Bu katmanda bulunan değişkenler, sonuç veya çıkış değişkenleri olarak ifade edilirler.

5.Katman:

Son katmanımız olan 5.Katmanda \sum ile ifade edilen, kendisine gelen tüm sinyallerin tümünün toplamını alarak toplam çıkışı hesaplayan, sabit tek bir düğüm noktası yer alır. 5.Katmanın $f(\text{toplam çıkış})$ ifadesi (4.7)'de gösterilmiştir.

$$O_{5,1} = f = \sum_i \overline{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (4.7)$$

Böylelikle, tamamıyla Sugeno bulanık modelinin işleyişine sahip ANFIS bulanık çıkarım sistemi tabanlı, adaptif bir ağ yapısı inşa edilmiş olur (Jang, 1993).

5. SEZGİSEL ARAMA ALGORİTMA TABANLI BULANIK SİSTEM OPTİMİZASYONU

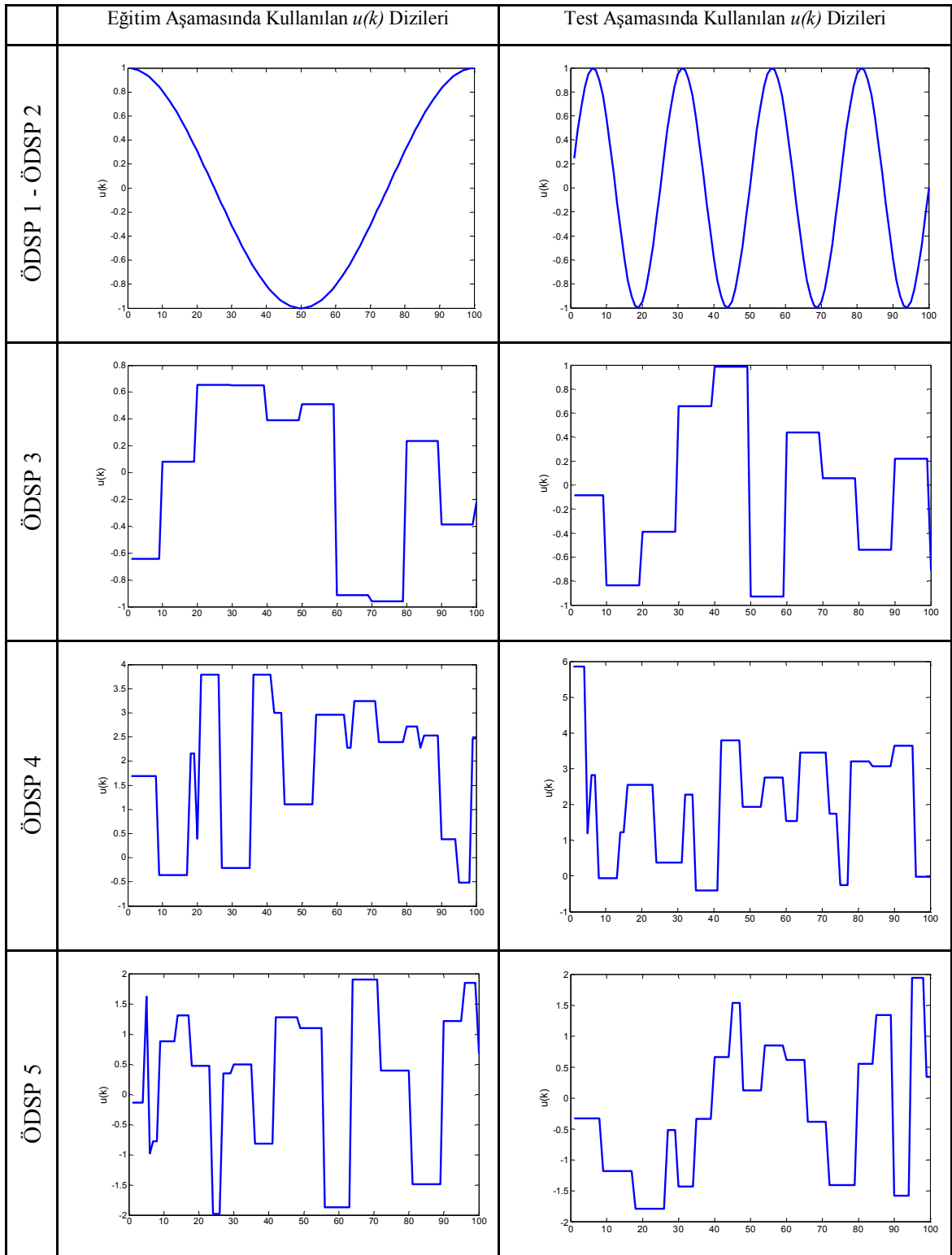
Bu bölümde, BBO algoritması literatürde sıklıkla kullanılan ABC, PSO ve DE algoritmalarıyla kıyaslanmış ve örnek dinamik sistem problemleri (ÖDSP)'leri üzerindeki başarımları incelenmiştir. Kıyaslama işlemi Tablo 4.1'de verilen beş adet dinamik sistem probleminin, bulanık çıkarım modellemesi üzerinde yapılmıştır. Tüm algoritmalar için yapılan çalışmalarda, algoritmaların popülasyon büyüklüğü, maksimum nesil sayısı ve optimize edilecek parametre sayıları aynı değerlerde kullanılmıştır.

Daha önce Özlem Yıldırım'ın, Yüksek Lisans Tez çalışmasında ABC, PSO ve DE algoritmalarının Tablo 4.1'de verilen örnek dinamik sistem problemleri (ÖDSP)'leri üzerinde elde ettiği sonuçlar kullanılarak BBO algoritmasıyla başarımların kıyaslamaları yapılmıştır. Sonuç olarak BBO algoritması ile birlikte toplam dört adet sezgisel algoritma başarımların kıyaslaması amacıyla kullanılmıştır (Yıldırım, 2012).

Kullanılan tüm algoritmalar, her bir örnek dinamik sistem problemleri (ÖDSP)'leri üzerinde rastgele oluşturulmuş başlangıç popülasyonları ile 50'şer kez ayrı ayrı koşturulmuştur. Her bir algoritmanın 50'şer kez koşturulması neticesinde elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak irdelenmiştir.

Tablo 4.1'de verilen örnek dinamik sistem problemleri (ÖDSP)'leri, kıyaslama için kullandığımız ABC, PSO ve DE algoritmaları kullanılarak ANFIS bulanık çıkarım sistemi ile modellenmiştir. Modellenen her bir örnek dinamik sistem problemleri (ÖDSP) için elde edilen sonuçlar en iyi, en kötü, başlangıç durumu ve son durum şeklinde gösterilmiştir. Verilen şekillerde mavi düz çizgi ile verilen değerler istenen sonuçları, kırmızı çizgiyle verilen değerler elde edilen sonuçları göstermektedir.

Şekil 5.1'de kullanılan beş ÖDSP'nin eğitim ve test aşamalarında kullanılan $u(k)$ dizileri verilmiştir.



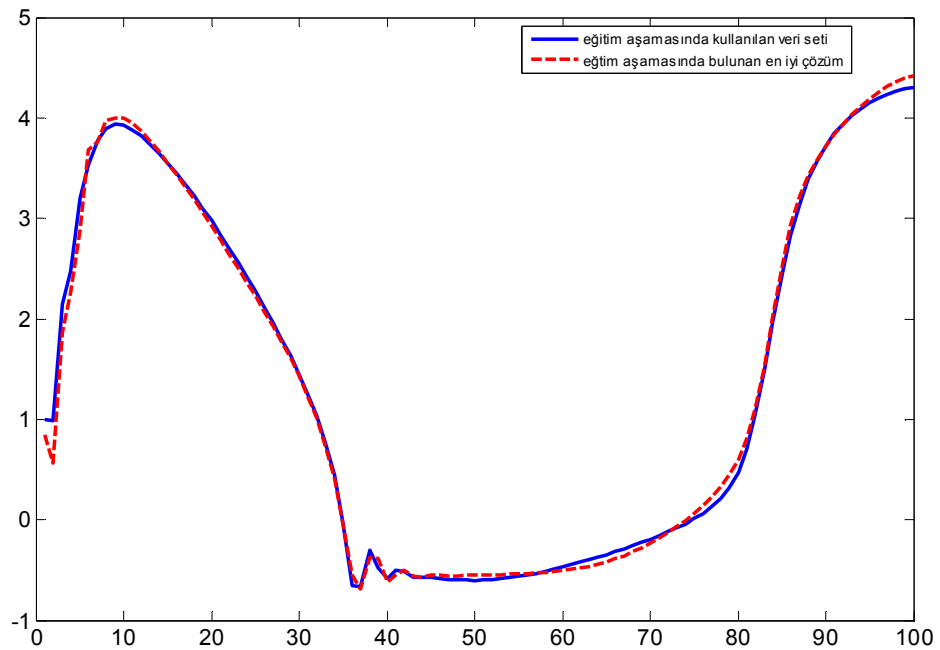
Şekil 5.1 ÖDSP'lerin eğitim ve test aşamalarında kullanılan $u(k)$ dizileri.

5.1 ÖDSP 1'in Tanınması ve Modellenmesi

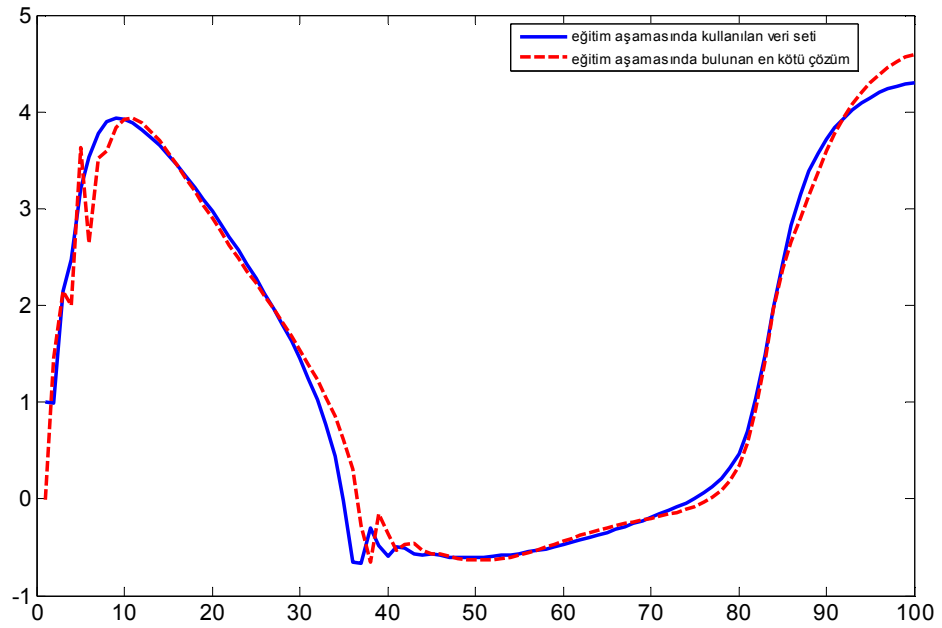
5.1.1 ÖDSP 1 için eğitim aşaması ve sonuçları

Bu bölümde, ÖDSP 1 için eğitim aşaması üzerinde çalışılmıştır. Öncelikle ÖDSP 1 için Şekil 5.1'de verilen $u(k)$ dizileri kullanılarak eğitim seti oluşturulmuştur.

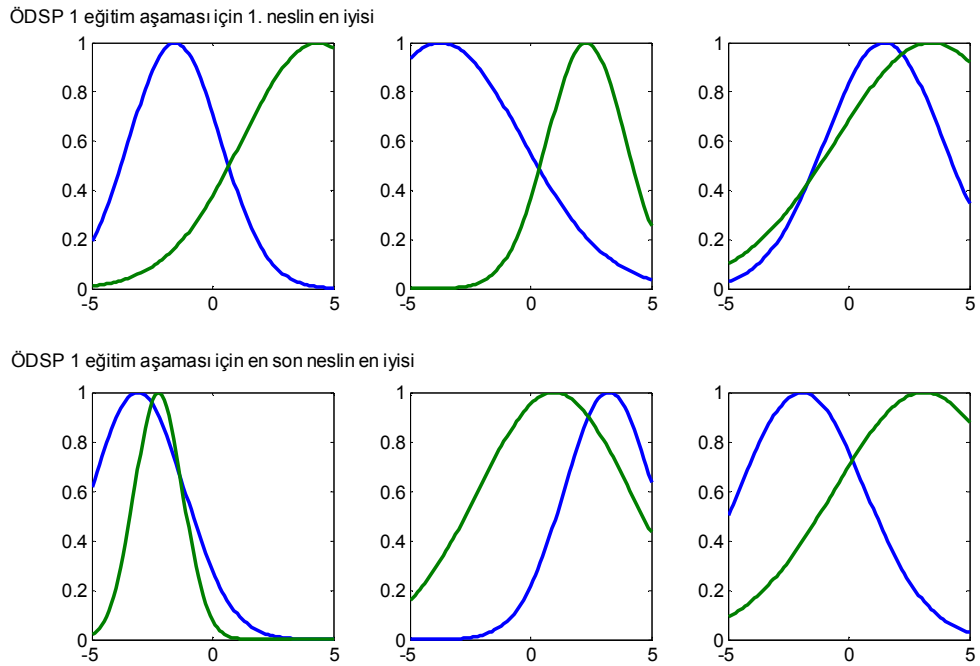
Bu uygulamalar sonucunda Şekil 5.2'da ÖDSP 1 eğitim aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en iyi çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.3'da ÖDSP 1 eğitim aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en kötü çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.4'de BBO algoritmasının ANFIS bulanık çıkarım sistemi ile ÖDSP 1 için eğitim aşamasında üyelik fonksiyonlarının (ÜF), 1. neslin ve son neslin en iyi bireylerin başlangıç ve son durumları gösterilmiştir. Şekil 5.5'de ÖDSP 1 için eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri verilmiştir. Şekil 5.6'de ÖDSP 1 için eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri gösterilmiştir.



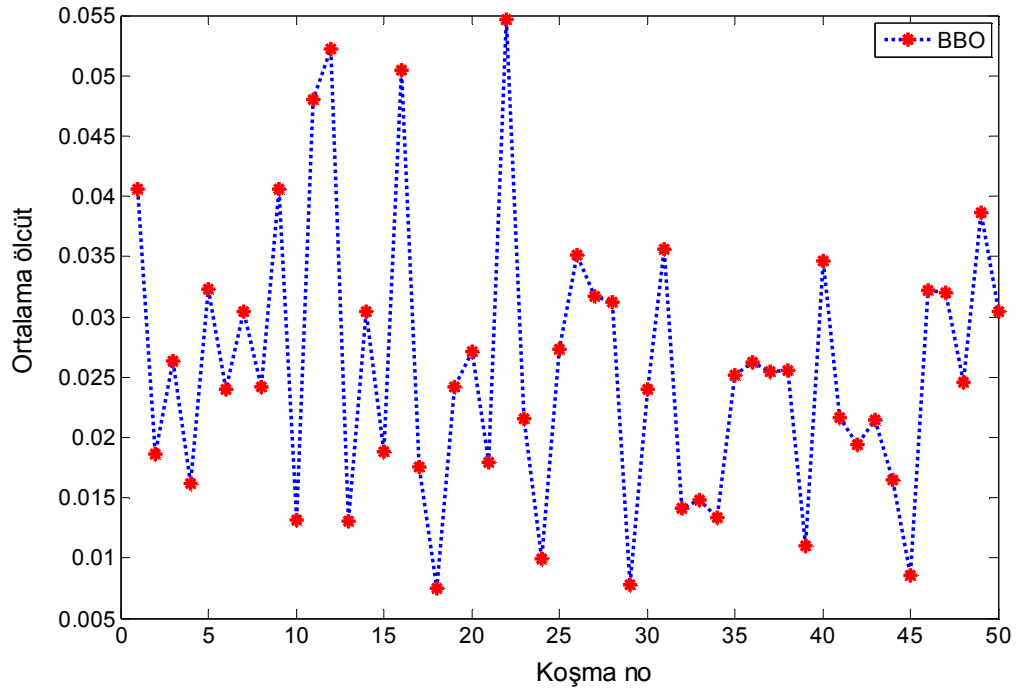
Şekil 5.2 ÖDSP 1 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.



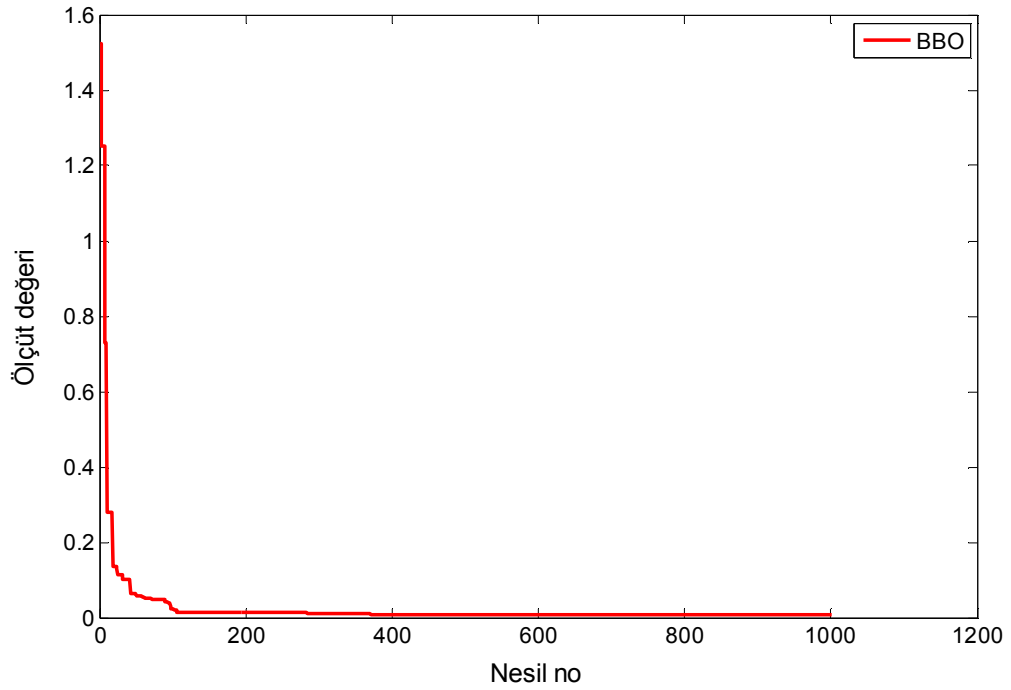
Şekil 5.3 ÖDSP 1 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.



Şekil 5.4 ÖDSP 1 eğitim aşamasında üyelik fonksiyonları (ÜF) başlangıç ve en son durumları.



Şekil 5.5 ÖDSP 1 eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri.

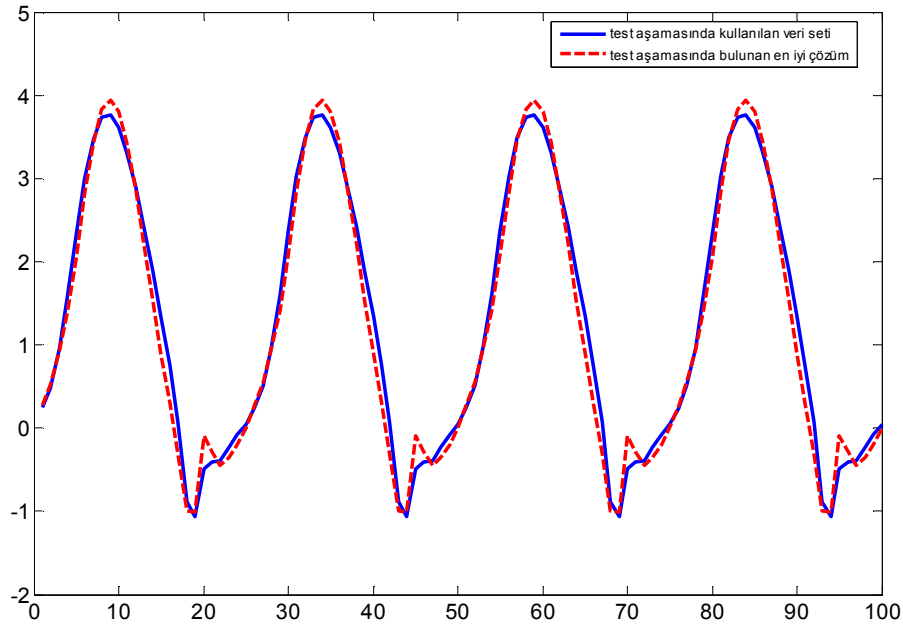


Şekil 5.6 ÖDSP 1 eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri.

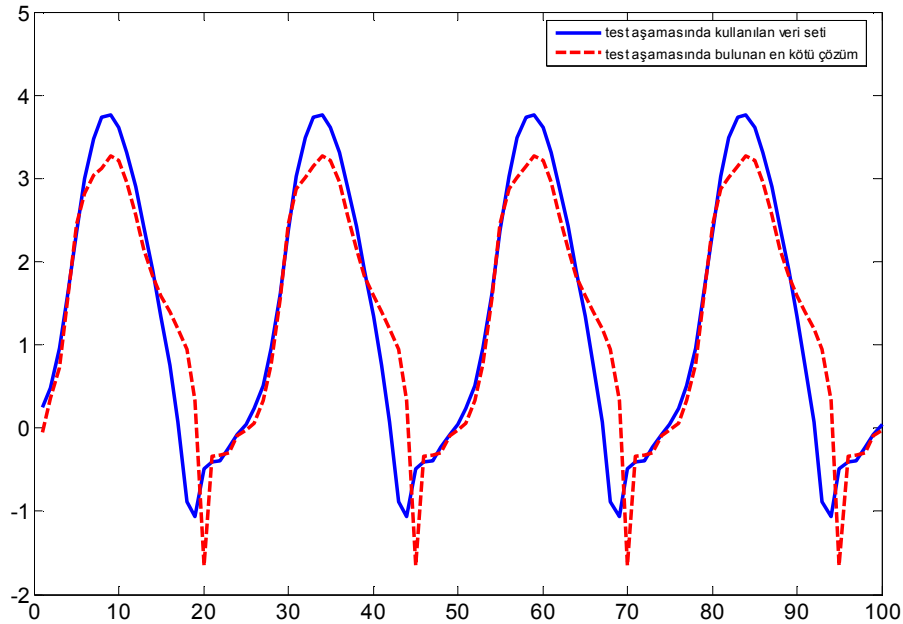
5.1.2 ÖDSP 1 için test aşaması ve sonuçları

Bu bölümde, ÖDSP 1 için test aşaması üzerinde çalışılmıştır. Öncelikle ÖDSP 1 için Şekil 5.1’de verilen $u(k)$ dizileri kullanılarak test seti oluşturulmuştur.

Bu uygulamalar sonucunda Şekil 5.7’de ÖDSP 1 test aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en iyi çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.8’de ÖDSP 1 test aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en kötü çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir.



Şekil 5.7 ÖDSP 1 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.



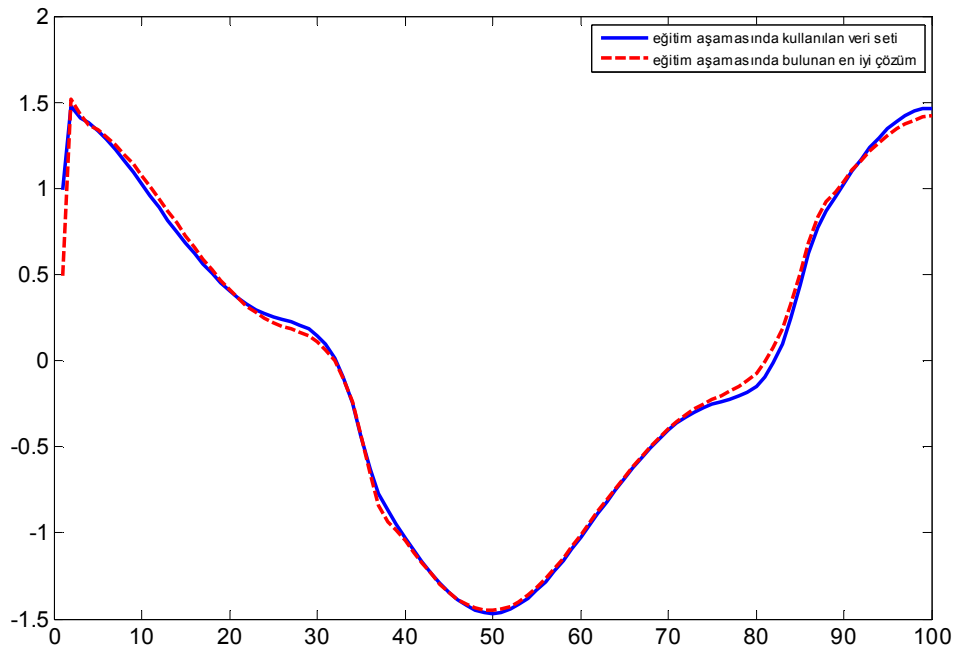
Şekil 5.8 ÖDSP 1 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.

5.2 ÖDSP 2'nin Tanınması ve Modellenmesi

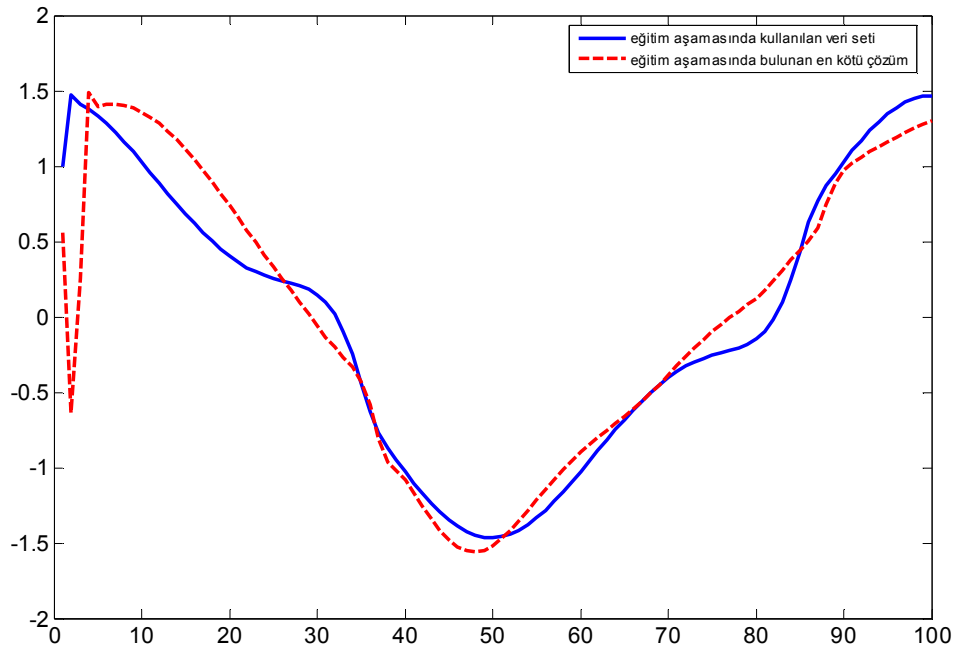
5.2.1 ÖDSP 2 için eğitim aşaması ve sonuçları

Bu bölümde, ÖDSP 2 için eğitim aşaması üzerinde çalışılmıştır. Öncelikle ÖDSP 2 için Şekil 5.1'de verilen $u(k)$ dizileri kullanılarak eğitim seti oluşturulmuştur.

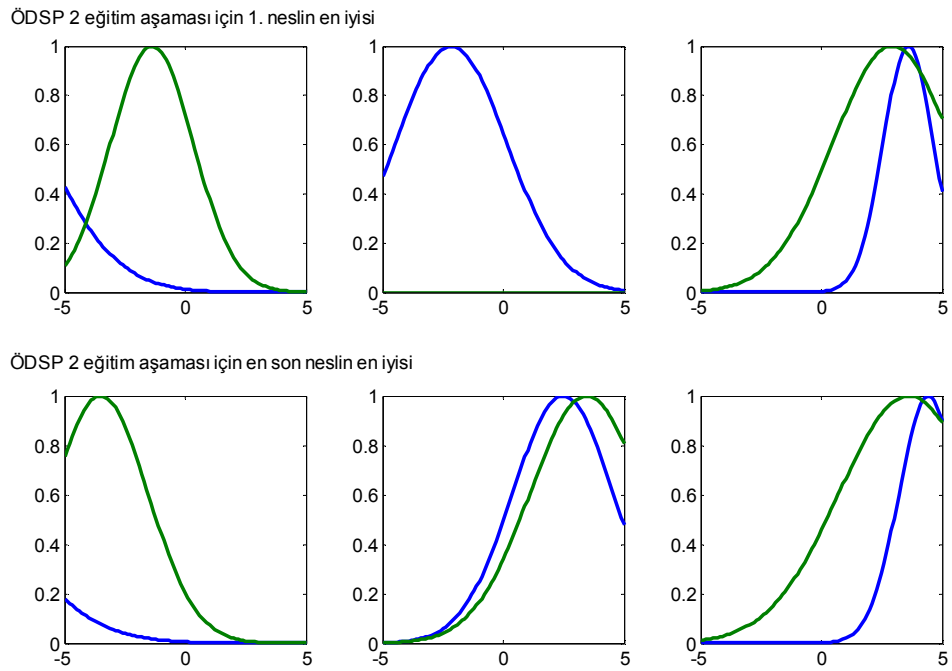
Bu uygulamalar sonucunda Şekil 5.9'da ÖDSP 2 eğitim aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en iyi çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.10'da ÖDSP 2 eğitim aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en kötü çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.11'de BBO algoritmasının ANFIS bulanık çıkarım sistemi ile ÖDSP 2 için eğitim aşamasında üyelik fonksiyonlarının (ÜF) 1. neslin ve son neslin en iyi bireylerin başlangıç ve son durumları gösterilmiştir. Şekil 5.12'de ÖDSP 2 için eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri verilmiştir. Şekil 5.13'de ÖDSP 2 için eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri gösterilmiştir.



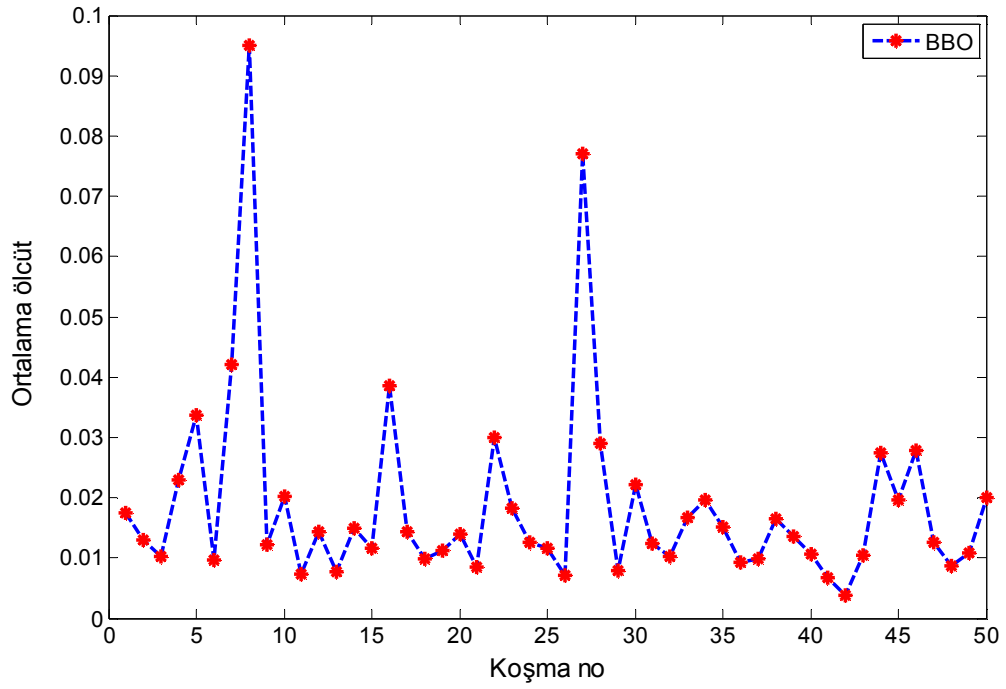
Şekil 5.9 ÖDSP 2 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.



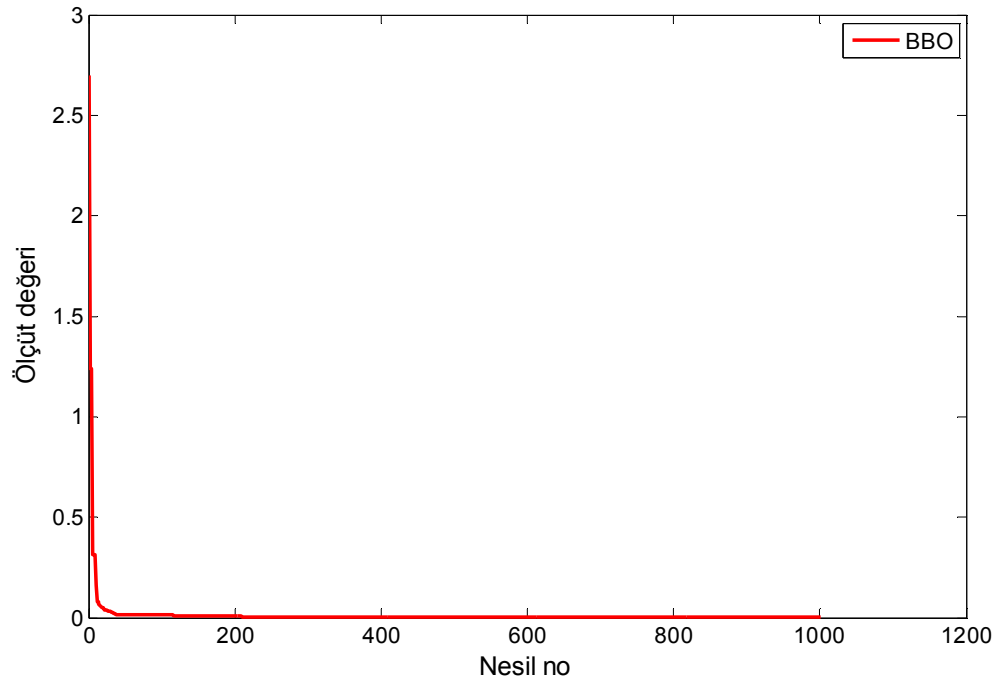
Şekil 5.10 ÖDSP 2 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.



Şekil 5.11 ÖDSP 2 eğitim aşamasında üyelik fonksiyonları (ÜF) başlangıç ve en son durumları.



Şekil 5.12 ÖDSP 2 eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri.

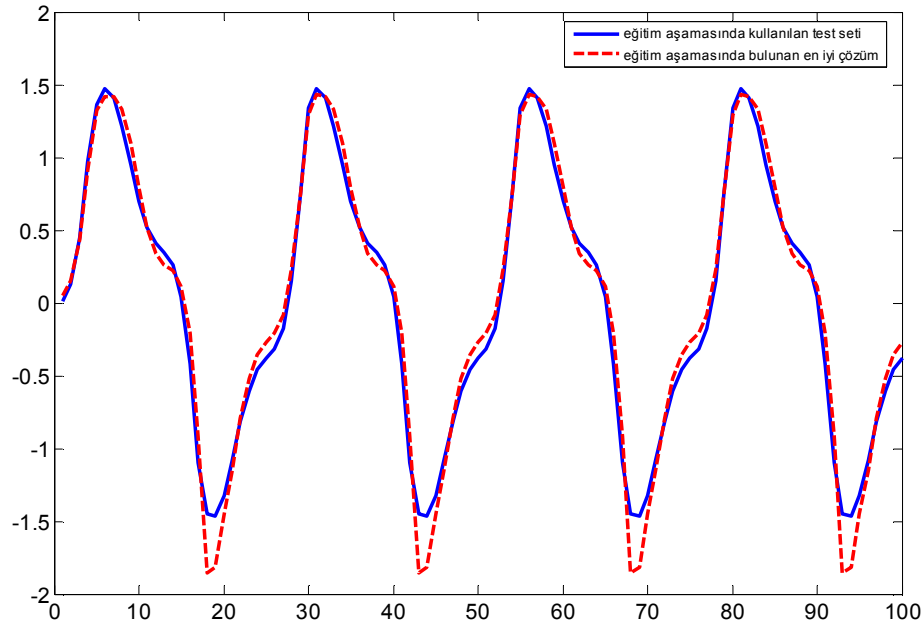


Şekil 5.13 ÖDSP 2 eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri.

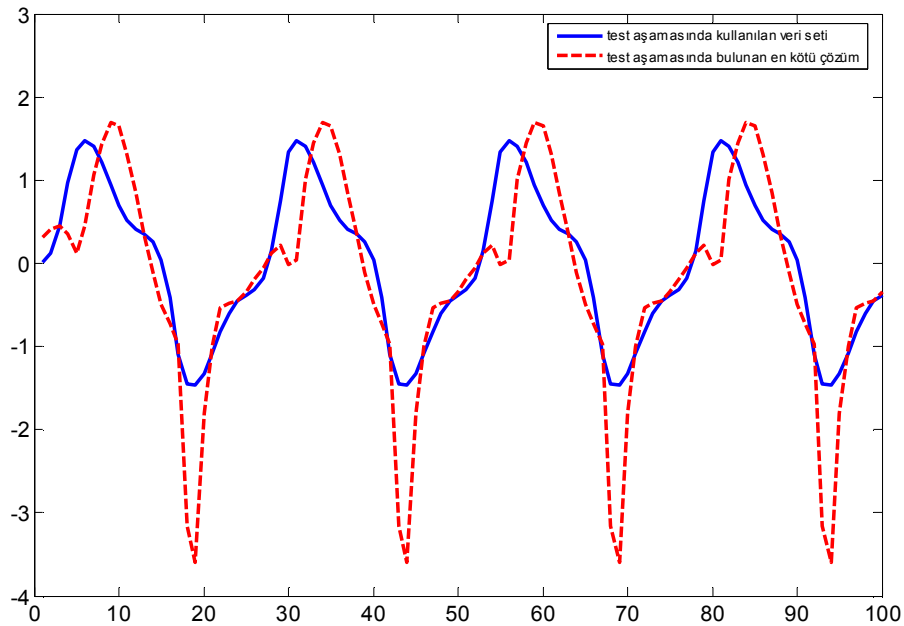
5.2.2 ÖDSP 2 için test aşaması ve sonuçları

Bu bölümde, ÖDSP 2 için test aşaması üzerinde çalışılmıştır. Öncelikle ÖDSP 2 için Şekil 5.1’de verilen $u(k)$ dizileri kullanılarak test seti oluşturulmuştur.

Bu uygulamalar sonucunda Şekil 5.14’de ÖDSP 2 test aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en iyi çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.15’de ÖDSP 2 test aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en kötü çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir.



Şekil 5.14 ÖDSP 2 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.



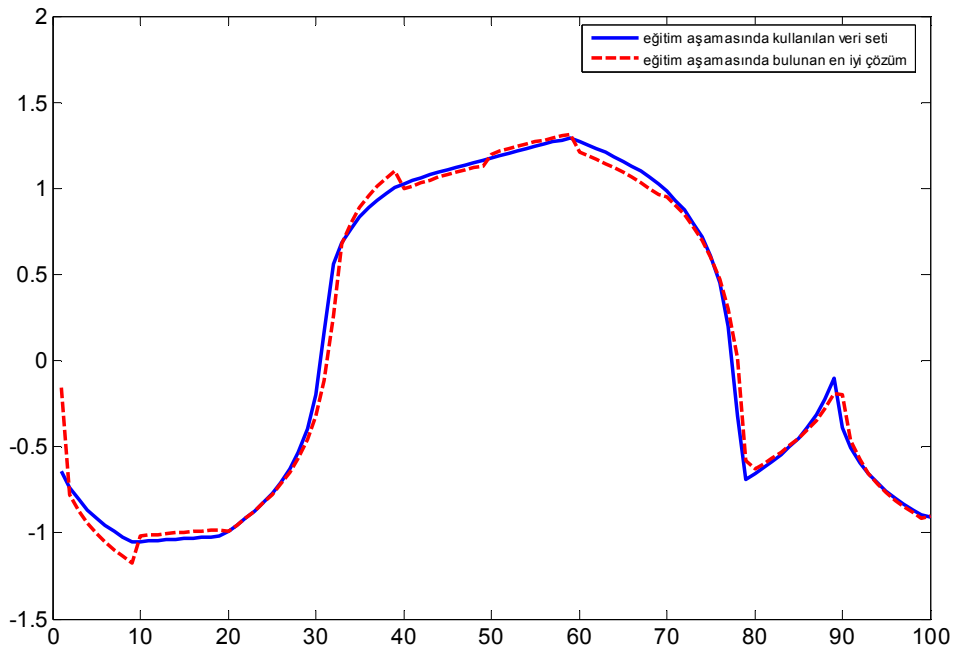
Şekil 5.15 ÖDSP 2 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.

5.3 ÖDSP 3'ün Tanınması ve Modellenmesi

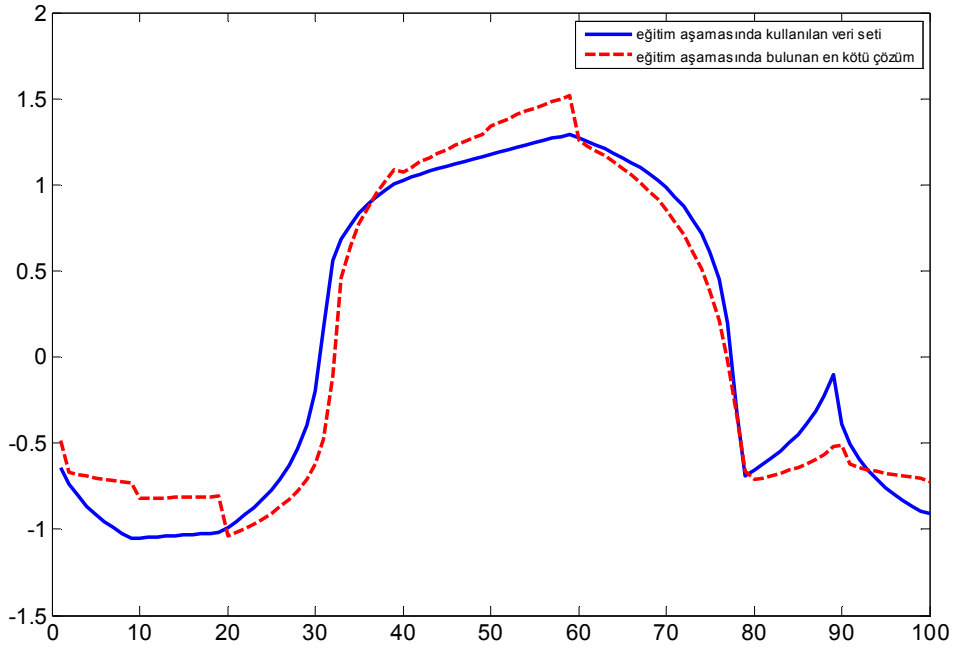
5.3.1 ÖDSP 3 için eğitim aşaması ve sonuçları

Bu bölümde, ÖDSP 3 için eğitim aşaması üzerinde çalışılmıştır. Öncelikle ÖDSP 3 için Şekil 5.1'de verilen $u(k)$ dizileri kullanılarak eğitim seti oluşturulmuştur.

Bu uygulamalar sonucunda Şekil 5.16'de ÖDSP 1 eğitim aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en iyi çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.17'de ÖDSP 3 eğitim aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en kötü çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.18'de BBO algoritmasının ANFIS bulanık çıkarım sistemi ile ÖDSP 3 için eğitim aşamasında üyelik fonksiyonlarının (ÜF) 1. neslin ve son neslin en iyi bireylerin başlangıç ve son durumları gösterilmiştir. Şekil 5.19'da ÖDSP 3 için eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri verilmiştir. Şekil 5.20'de ÖDSP 3 için eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri gösterilmiştir.

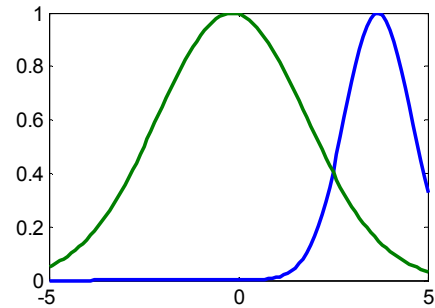
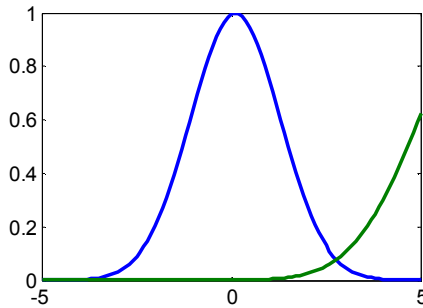


Şekil 5.16 ÖDSP 3 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.

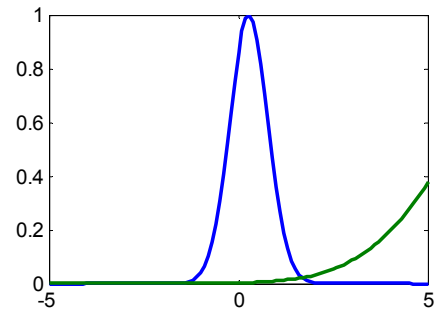
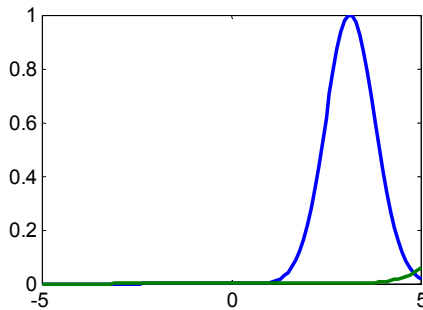


Şekil 5.17 ÖDSP 3 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.

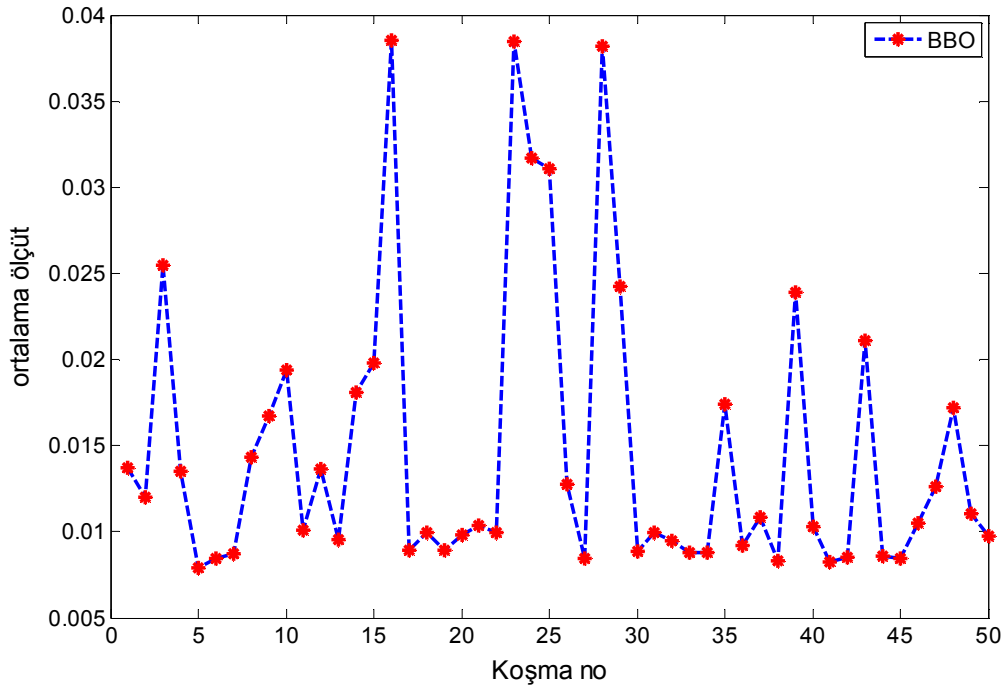
ÖDSP 3 eğitim aşaması için 1. neslin en iyisi



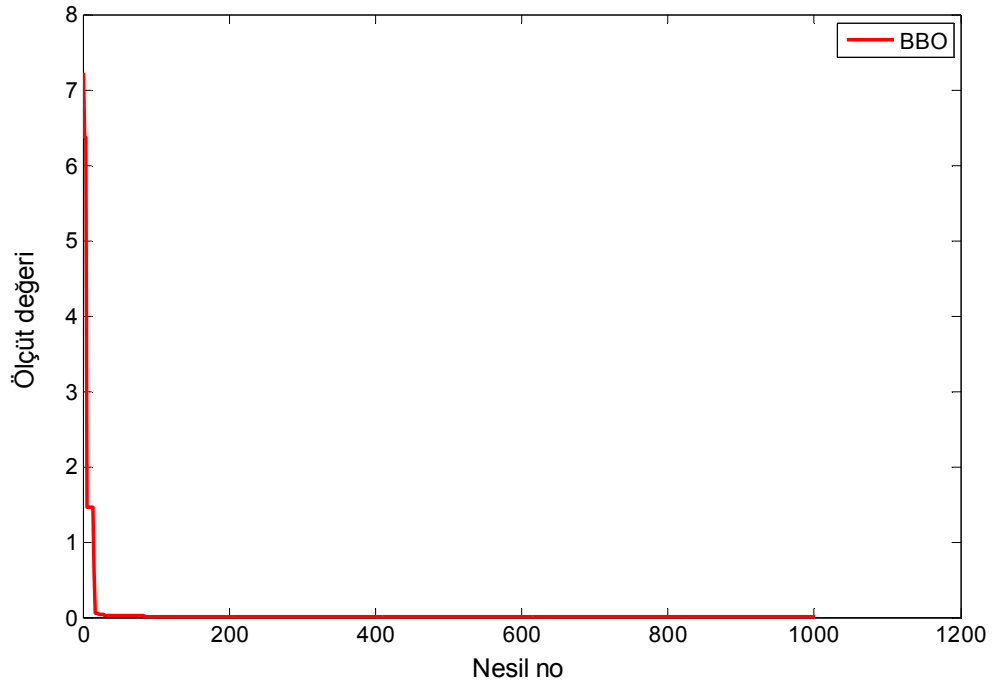
ÖDSP 3 eğitim aşaması için en son neslin en iyisi



Şekil 5.18 ÖDSP 3 eğitim aşamasında üyelik fonksiyonları (ÜF) başlangıç ve en son durumları.



Şekil 5.19 ÖDSP 3 eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri.

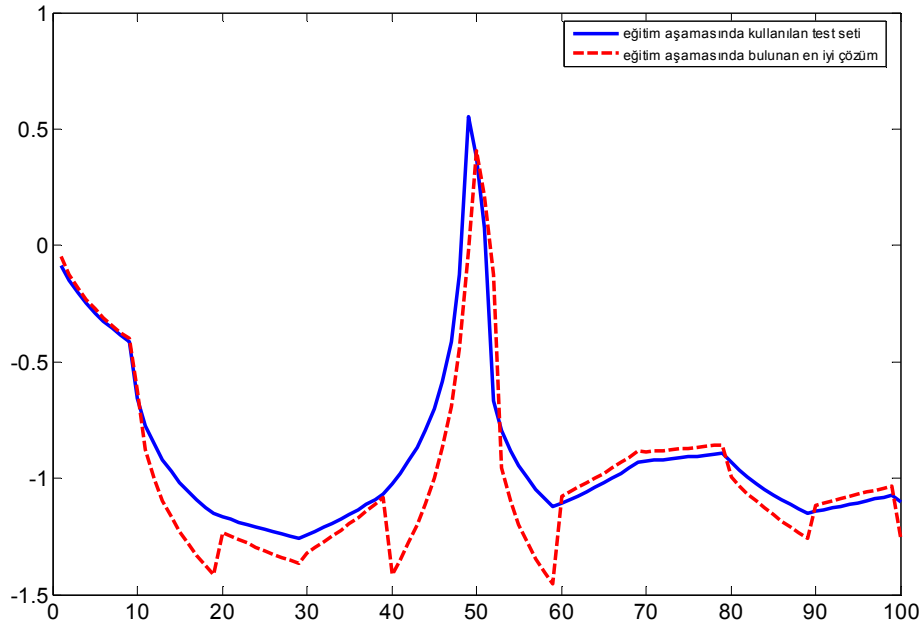


Şekil 5.20 ÖDSP 3 eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri.

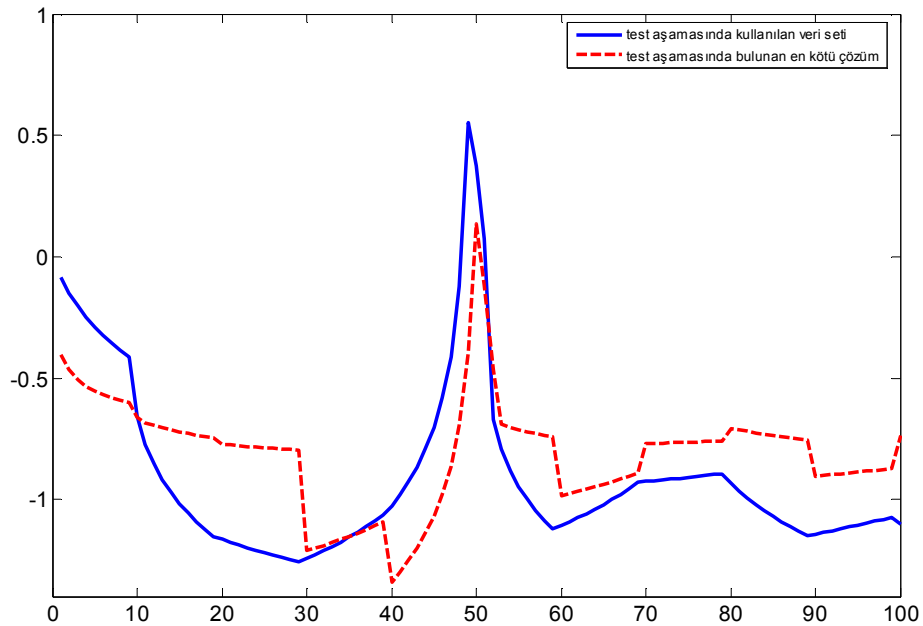
5.3.2 ÖDSP 3 için test aşaması ve sonuçları

Bu bölümde, ÖDSP 3 için test aşaması üzerinde çalışılmıştır. Öncelikle ÖDSP 3 için Şekil 5.1’de verilen $u(k)$ dizileri kullanılarak test seti oluşturulmuştur.

Bu uygulamalar sonucunda Şekil 5.21’de ÖDSP 3 test aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en iyi çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.22’de ÖDSP 3 test aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en kötü çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir



Şekil 5.21 ÖDSP 3 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.



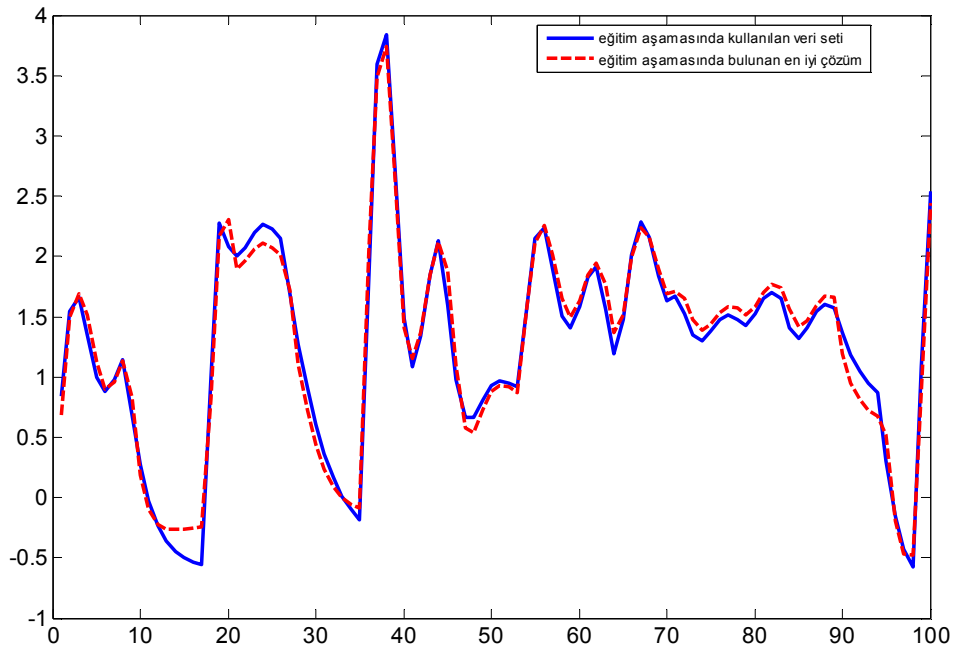
Şekil 5.22 ÖDSP 3 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.

5.4 ÖDSP 4'ün Tanınması ve Modellenmesi

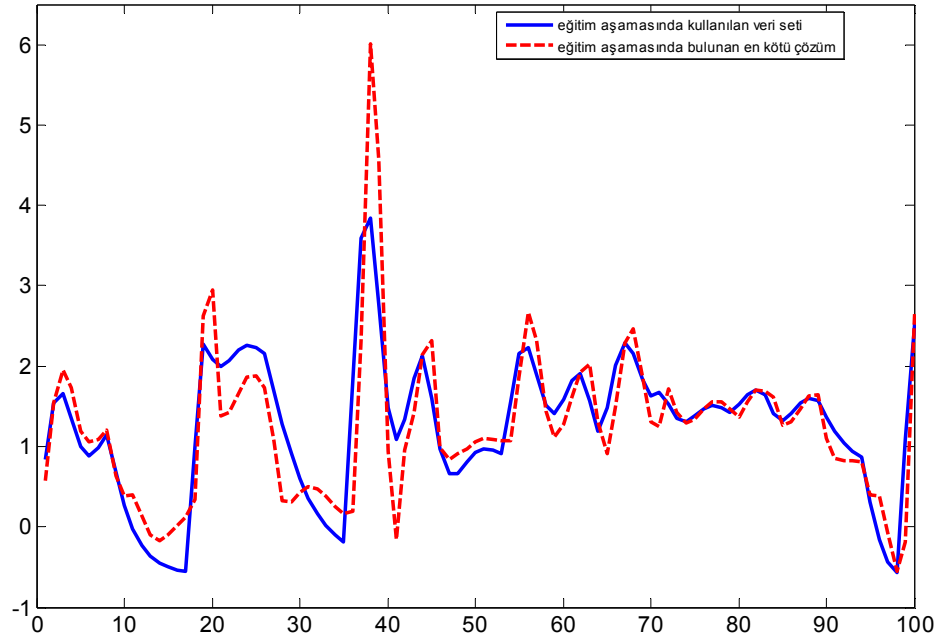
5.4.1 ÖDSP 4 için eğitim aşaması ve sonuçları

Bu bölümde, ÖDSP 4 için eğitim aşaması üzerinde çalışılmıştır. Öncelikle ÖDSP 4 için Şekil 5.1'de verilen $u(k)$ dizileri kullanılarak eğitim seti oluşturulmuştur.

Bu uygulamalar sonucunda Şekil 5.23'da ÖDSP 4 eğitim aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en iyi çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.24'da ÖDSP 4 eğitim aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en kötü çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.25'de BBO algoritmasının ANFIS bulanık çıkarım sistemi ile ÖDSP 4 için eğitim aşamasında üyelik fonksiyonlarının (ÜF) 1. neslin ve son neslin en iyi bireylerin başlangıç ve son durumları gösterilmiştir. Şekil 5.26'de ÖDSP 4 için eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri verilmiştir. Şekil 5.27'de ÖDSP 4 için eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri gösterilmiştir.

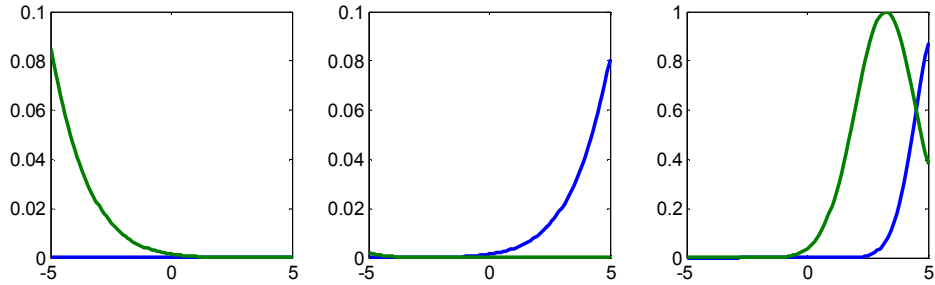


Şekil 5.23 ÖDSP 4 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.

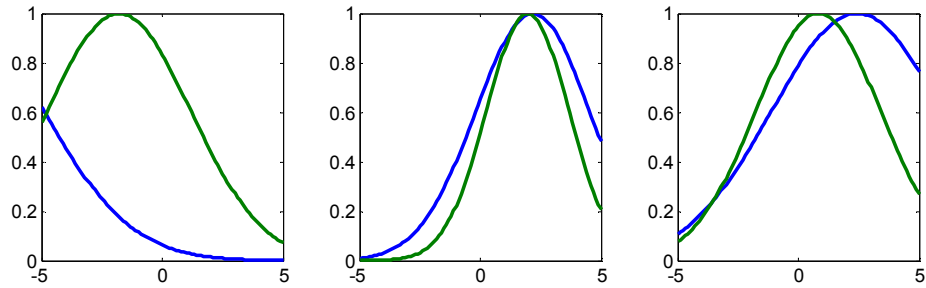


Şekil 5.24 ÖDSP 4 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.

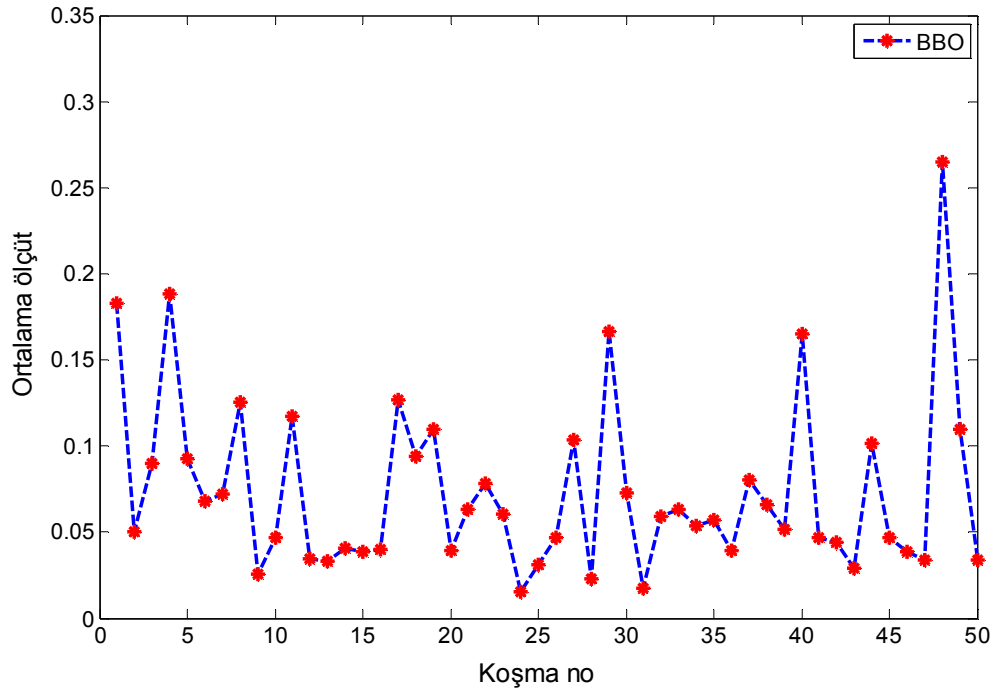
ÖDSP 4 eğitim aşaması için 1. neslin en iyisi



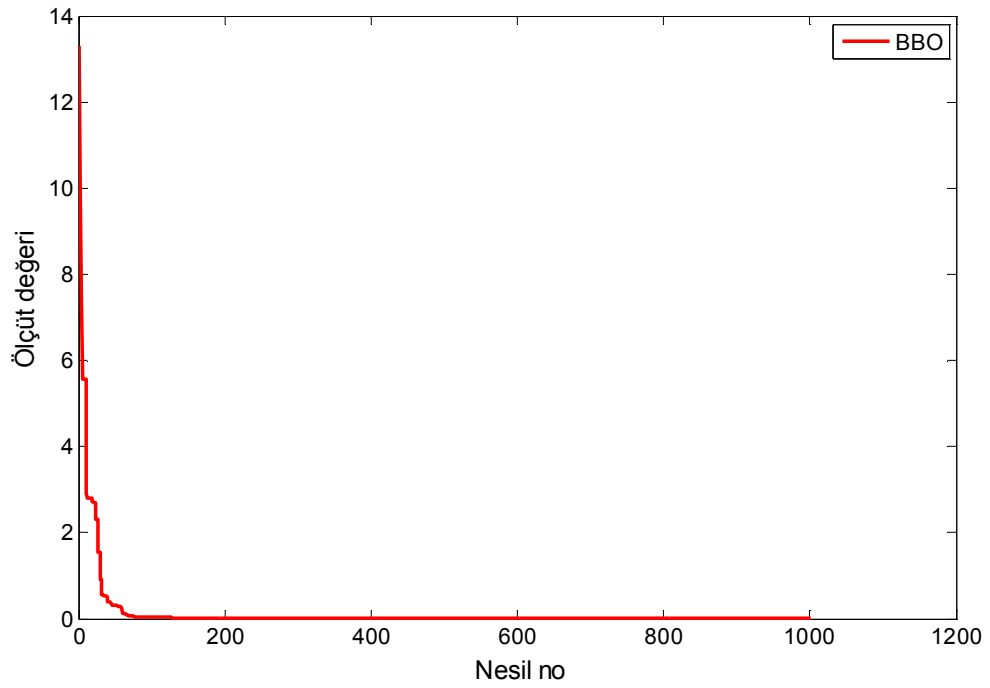
ÖDSP 4 eğitim aşaması için en son neslin en iyisi



Şekil 5.25 ÖDSP 4 eğitim aşamasında üyelik fonksiyonları (ÜF) başlangıç ve en son durumları.



Şekil 5.26 ÖDSP 4 eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri.

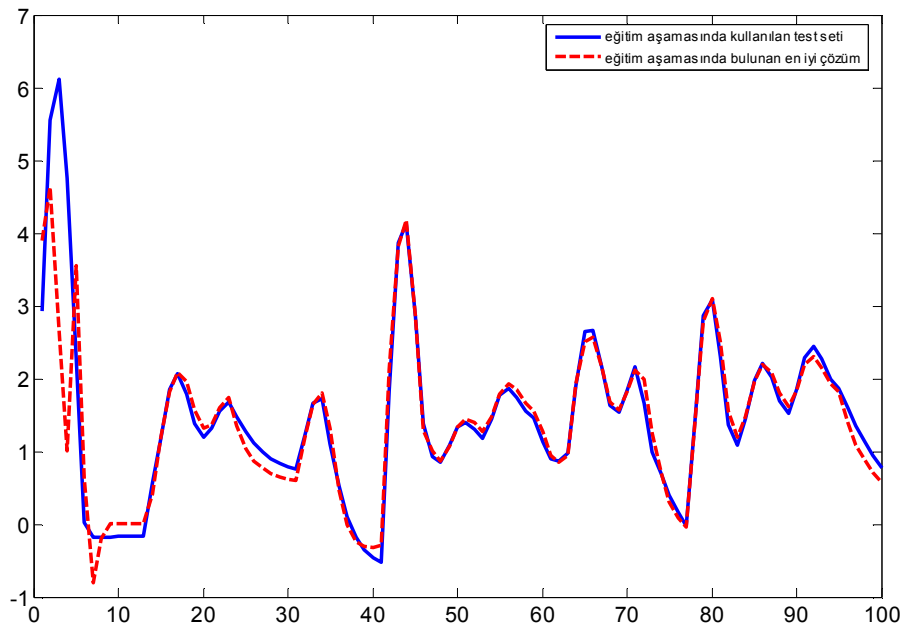


Şekil 5.27 ÖDSP 4 eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri.

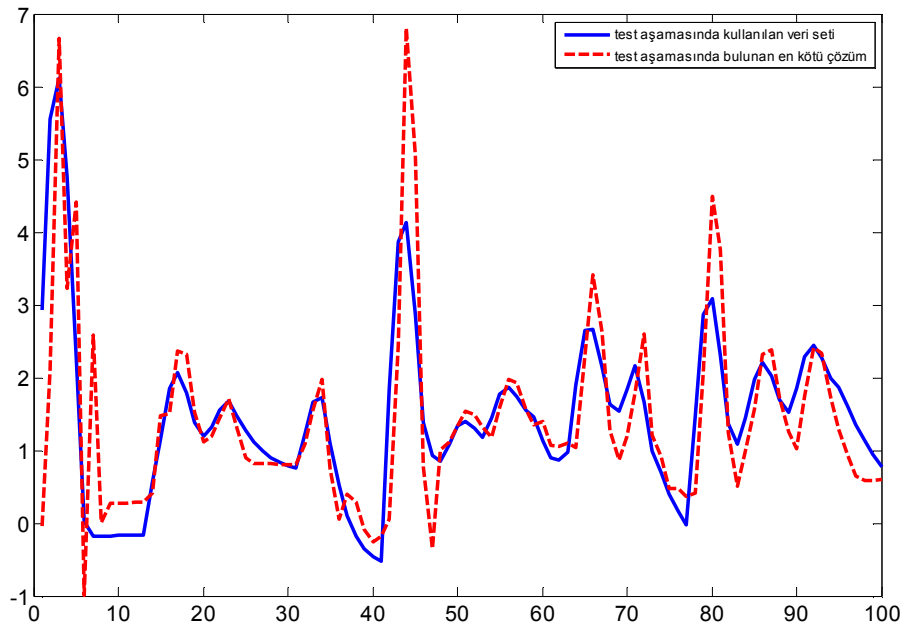
5.4.2 ÖDSP 4 için test aşaması ve sonuçları

Bu bölümde, ÖDSP 4 için test aşaması üzerinde çalışılmıştır. Öncelikle ÖDSP 4 için Şekil 5.1’de verilen $u(k)$ dizileri kullanılarak test seti oluşturulmuştur.

Bu uygulamalar sonucunda Şekil 5.28’de ÖDSP 4 test aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en iyi çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.29’de ÖDSP 4 test aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en kötü çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir



Şekil 5.28 ÖDSP 4 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.



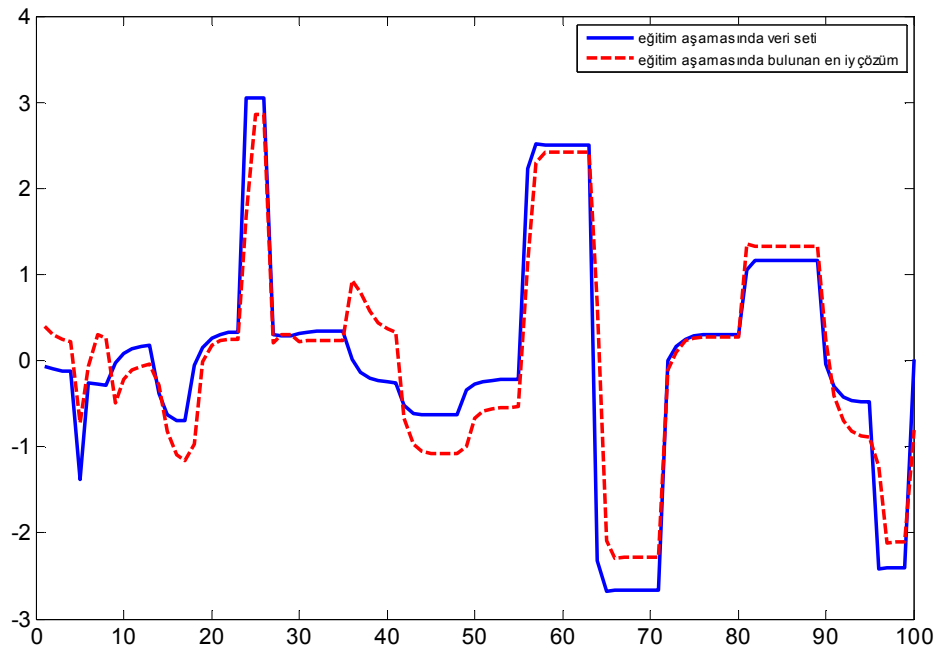
Şekil 5.29 ÖDSP 4 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.

5.5 ÖDSP 5'in Tanınması ve Modellenmesi

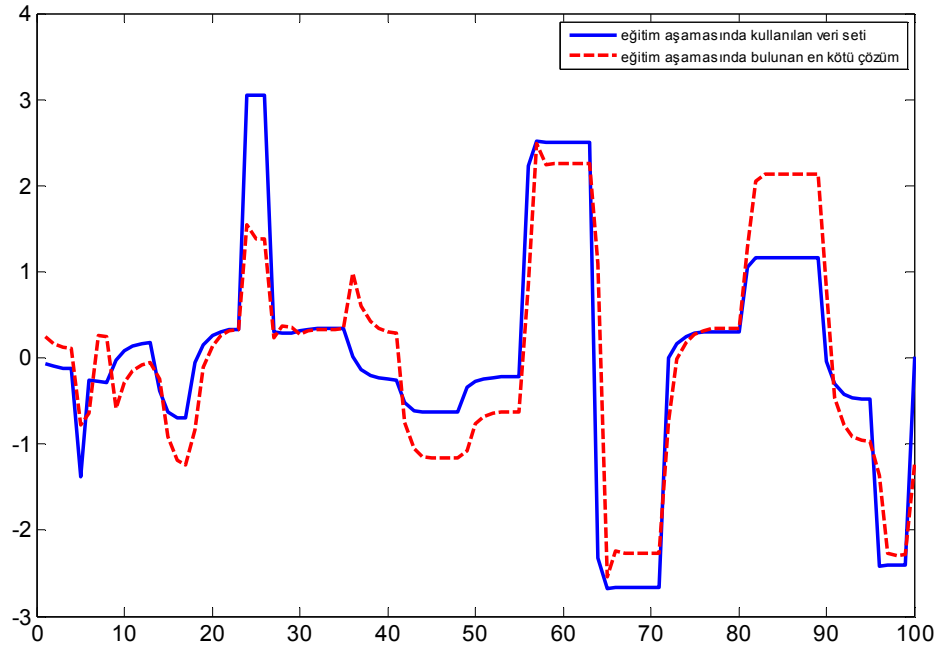
5.5.1 ÖDSP 5 için eğitim aşaması ve sonuçları

Bu bölümde, ÖDSP 5 için eğitim aşaması üzerinde çalışılmıştır. Öncelikle ÖDSP 5 için Şekil 5.1'de verilen $u(k)$ dizileri kullanılarak eğitim seti oluşturulmuştur.

Bu uygulamalar sonucunda Şekil 5.30'da ÖDSP 5 eğitim aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en iyi çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.31'da ÖDSP 5 eğitim aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en kötü çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.32'de BBO algoritmasının ANFIS bulanık çıkarım sistemi ile ÖDSP 5 için eğitim aşamasında üyelik fonksiyonlarının (ÜF) 1. neslin ve son neslin en iyi bireylerin başlangıç ve son durumları gösterilmiştir. Şekil 5.33'de ÖDSP 5 için eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri verilmiştir. Şekil 5.34'de ÖDSP 5 için eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri gösterilmiştir.

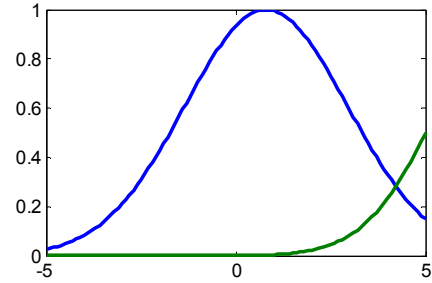
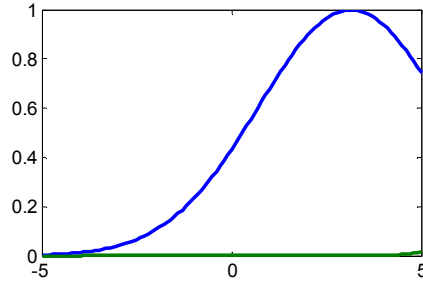


Şekil 5.30 ÖDSP 5 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.

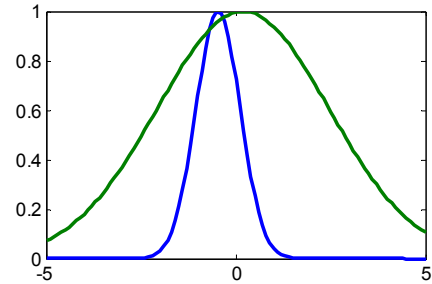
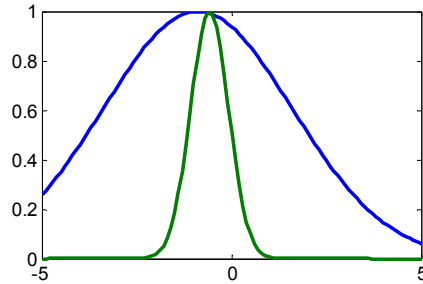


Şekil 5.31 ÖDSP 5 için eğitim aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.

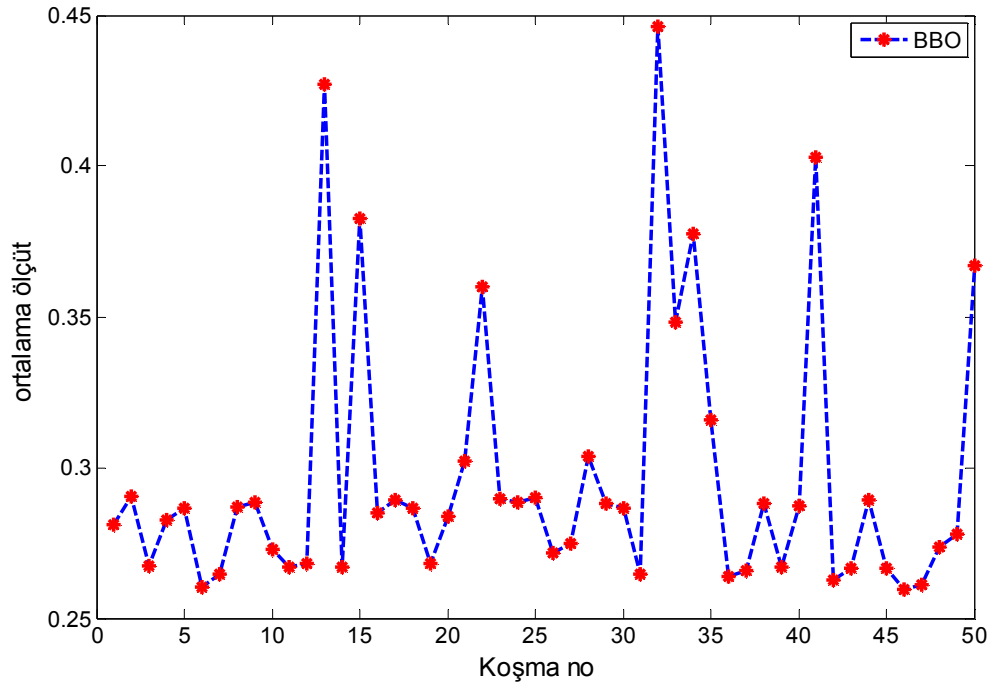
ÖDSP 5 eğitim aşaması için 1. neslin en iyisi



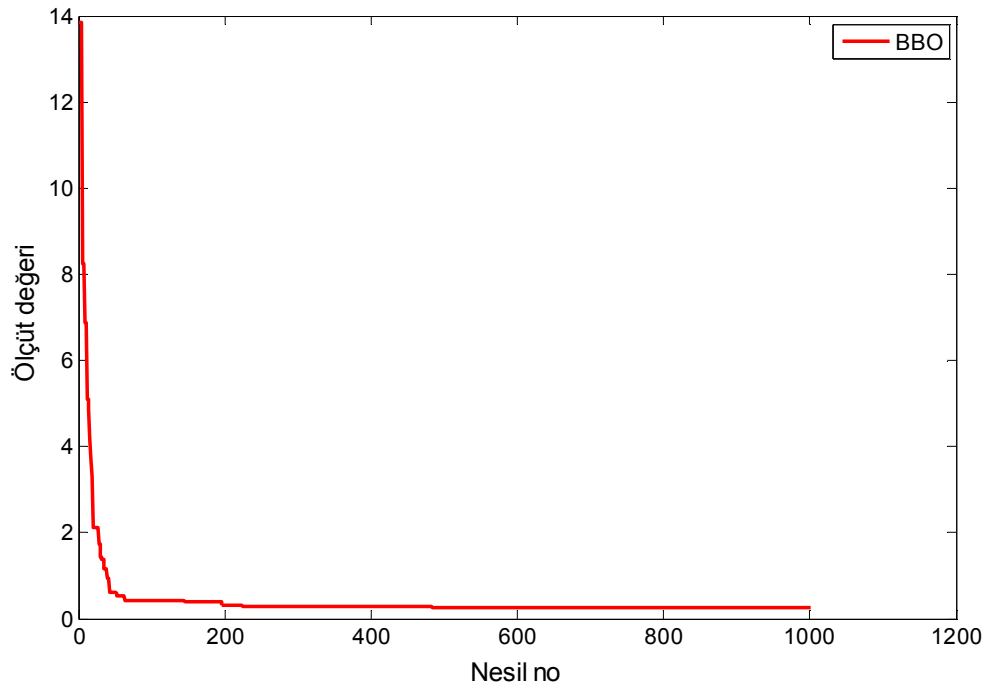
ÖDSP 5 eğitim aşaması için en son neslin en iyisi



Şekil 5.32 ÖDSP 5 eğitim aşamasında üyelik fonksiyonları (ÜF) başlangıç ve en son durumları.



Şekil 5.33 ÖDSP 4 eğitim aşamasında tüm koşmalar sonucunda elde edilen ortalama ölçüt değerleri.

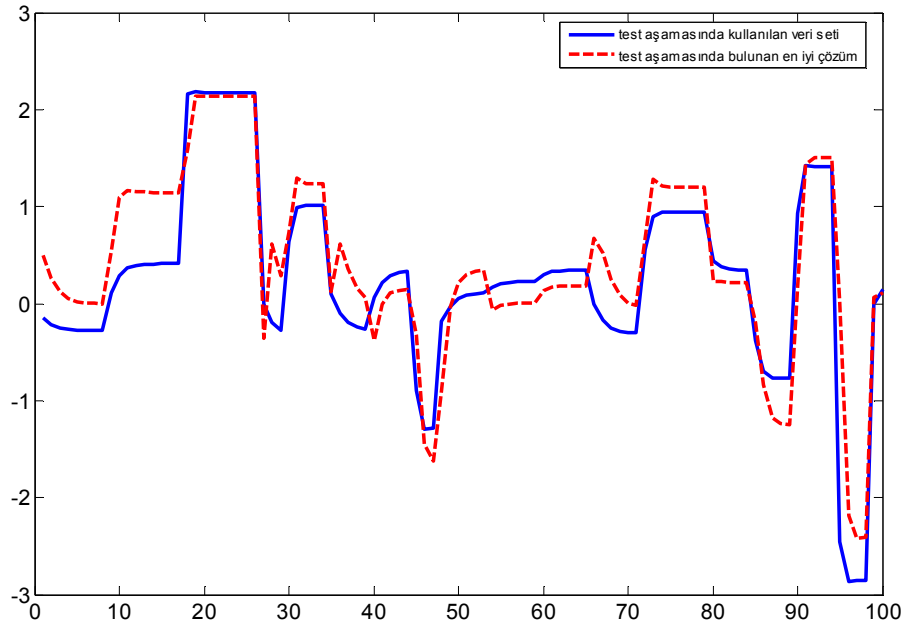


Şekil 5.34 ÖDSP 4 eğitim aşamasında en iyi koşma sonucundaki eğitim seyri.

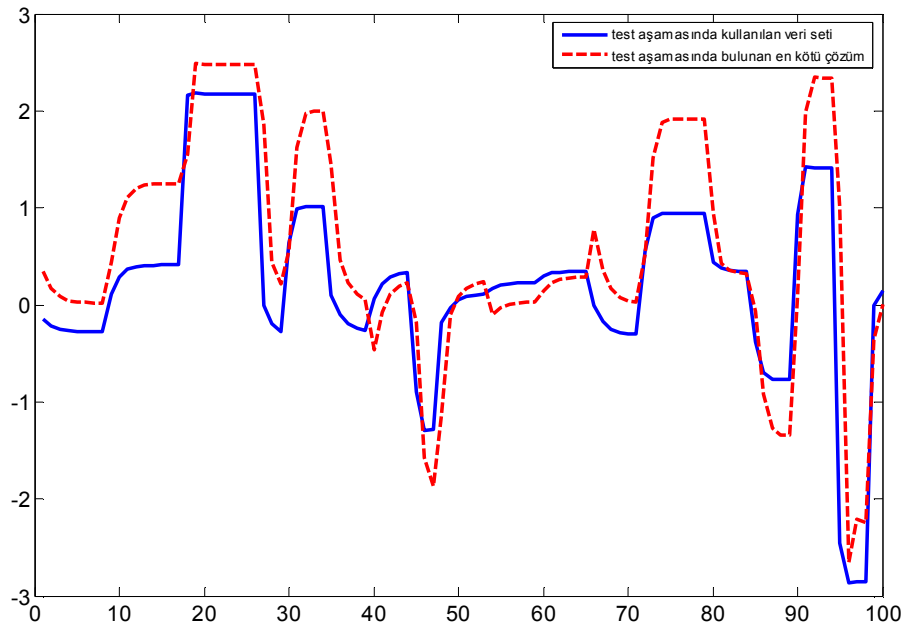
5.5.2 ÖDSP 5 için test aşaması ve sonuçları

Bu bölümde, ÖDSP 5 için test aşaması üzerinde çalışılmıştır. Öncelikle ÖDSP 5 için Şekil 5.1’de verilen $u(k)$ dizileri kullanılarak test seti oluşturulmuştur.

Bu uygulamalar sonucunda Şekil 5.35’de ÖDSP 5 test aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en iyi çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.36’de ÖDSP 5 test aşamasında kullanılan veri dizileri mavi düz çizgilerle, bulunan en kötü çözüm kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir.



Şekil 5.35 ÖDSP 5 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en iyi çözüm.



Şekil 5.36 ÖDSP 5 için test aşamasında kullanılan veri seti ve bulunan en kötü çözüm.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

BBO algoritmasının bulanık mantık kullanılarak örnek problemlerin modellenmesi üzerindeki başarımının değerlendirilmesi amacıyla, Bölüm 4 Tablo 4.2’de verilen beş farklı örnek sistem kullanılmıştır. Tablo 4.2’de verilen her bir örnek dinamik sistem problemleri (ÖDSP) üzerinde, hem eğitim hem de test aşaması için BBO algoritması koşturulmuştur. BBO algoritmasıyla elde edilen sonuçlar, literatürde sıkça kullanılan Yapay Arı Koloni Algoritması (ABC), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Farksal Gelişim Algoritması (DE)’na ait sonuçlarla kıyaslanmıştır.

Tablo 6.1’de BBO algoritmasının eğitim aşamasında ÖDSP’ler üzerindeki sonuçları ise ABC, PSO ve DE algoritmalarının sonuçlarıyla birlikte verilmiştir. Tablo 6.2’de BBO algoritmasının test aşamasında ÖDSP’ler üzerindeki sonuçlarının, ABC, PSO ve DE algoritmalarının sonuçlarıyla birlikte verilmiştir. Tablo 6.1 ve Tablo 6.2’de ABC, PSO ve DE algoritmalarının beş ÖDSP’ye ait veriler (Yıldırım, 2012)’dan alınmıştır. Başarım kıyaslamasında her bir ÖDSP için eğitim aşamasında kullanılan tüm algoritmaların popülasyon büyüklükleri ve maksimum nesil sayıları aynı alınmıştır.

Tablo 6.1’de verilen başarım kıyaslamasında, her bir ÖDSP için elde edilen sonuçlar sırasıyla ortalama, standart sapma, en iyi, en kötü ve 1 nesil süresi olmak üzere beş ayrı kategoride istatistiki olarak incelenmiştir. Kullanılan bu kategorilerin tanımlanması aşağıda verilmiştir.

Ortalama: 50 ayrı koşma sonucunda bulunan eğitim ölçüt değerlerinin ortalaması.

Standart Sapma: 50 ayrı koşma sonucunda bulunan eğitim ölçüt değerlerinin standart sapması.

En İyi: 50 ayrı koşma sonucunda elde edilen en iyi ölçüt değeri.

En Kötü: 50 ayrı koşma sonucunda elde edilen en kötü ölçüt değeri.

1 Nesil Süresi (s): 50 ayrı koşma sonucunda bulunan 1 nesil için gerekli ortalama süre.

Tablolarda beş kategoride verilen sonuçlar ortalama başarım sayısı baz alınarak değerlendirilmiştir. Tablolarda koyu yazı ile işaretlenenler o kategoride en iyi sonucu

göstermektedir. Bir algoritma için ortalama başarımların sayısı, o algoritmaya ait satırlardaki koyu yazı sayısının 5 ÖDSP için toplam 25 kategori sayısına bölünmesiyle elde edilir.

Tablo 6.1 BBO, ABC, PSO ve DE algoritmalarının her bir ÖDSP modellemesi için eğitim aşamasındaki başarımların kıyaslaması.

Algoritma	Ölçüt	ÖDSP 1 Max.Nesil (1000)	ÖDSP 2 Max.Nesil (1000)	ÖDSP 3 Max.Nesil (1000)	ÖDSP 4 Max.Nesil (1000)	ÖDSP 5 Max.Nesil (1000)
BBO	Ortalama	0.025769	0.018516	0.014692	0.073548	0.296274
	Standart Sapma	0.011459	0.016315	0.008455	0.050738	0.044552
	En İyi	0.007467	0.003800	0.007876	0.015437	0.259415
	En Kötü	0.054688	0.095112	0.038530	0.264825	0.446416
	1 Nesil Süresi (s)	0.092862	0.094010	0.074790	0.103490	0.057850
	Başarımların Sayısı	3	4	0	1	2
	Ortalama Başarımların Sayısı	10/25=0.4				
ABC	Ortalama	0.036994	0.045392	0.012165	0.050564	0.195731
	Standart Sapma	0.012073	0.032781	0.013409	0.019603	0.038999
	En İyi	0.013664	0.003924	0.004422	0.015680	0.171836
	En Kötü	0.058886	0.145957	0.056209	0.092783	0.453153
	1 Nesil Süresi (s)	0.026451	0.027010	0.015753	0.024448	0.064086
	Başarımların Sayısı	1	1	1	3	2
	Ortalama Başarımların Sayısı	8/25=0.32				
PSO	Ortalama	0.079258	0.030886	0.212148	0.120247	9.361079
	Standart Sapma	0.063467	0.027827	0.568219	0.043797	7.557416
	En İyi	0.027028	0.008052	0.005427	0.033660	0.734169
	En Kötü	0.437995	0.197335	3.759978	0.220542	28.09871
	1 Nesil Süresi (s)	0.047024	0.045804	0.028630	0.047661	0.083383
	Başarımların Sayısı	0	0	0	0	0
	Ortalama Başarımların Sayısı	0				
DE	Ortalama	0.039115	0.018553	0.004050	0.123121	0.281597
	Standart Sapma	0.004217	0.098136	0.001221	0.010320	0.139422
	En İyi	0.337750	0.010484	0.002383	0.112719	0.020042
	En Kötü	0.054579	0.131649	0.008280	0.156764	0.551824
	1 Nesil Süresi (s)	0.040384	0.041445	0.034371	0.040374	0.326140
	Başarımların Sayısı	1	0	4	1	1
	Ortalama Başarımların Sayısı	7/25=0.28				

Tablo 6.1'deki sonuçlara göre, BBO algoritması diğer ABC, PSO ve DE algoritmalarıyla ortalama başarımları ile kıyaslandığında en iyi sonucu vermektedir. PSO algoritması ise diğer üç algoritmaya göre en kötü sonucu sergilemiştir. 1 nesil süresi kategorisinde tüm algoritmalar arasında en iyi sonucu ABC algoritması göstermiştir. Bu sonuçlara göre ABC algoritmasının daha hızlı çalıştığı ve gerçek zamanlı uygulamalar için BBO, PSO ve DE algoritmalarına göre daha uygun olduğu değerlendirilmiştir. BBO algoritması 1 nesil süresi kategorisinde en kötü sonucu vermiştir. Bunun nedeni olarak BBO algoritmasında kullanılan (E) elit birey sayısının fazla olması ve her seferinde popülasyonun en iyiden en kötüye doğru sıralanması söylenebilir. Buda BBO algoritmasının yavaş çalıştığı ve gerçek zamanlı uygulamalar için diğer algoritmalara göre mevcut aşamadaki yapısı itibarıyla elverişsiz olduğunu göstermiştir. Ancak BBO algoritması üzerinde yapılacak geliştirmelerle daha iyi sonuç alınabilecek bir yapıya dönüştürülebileceği düşünülmektedir.

BBO algoritmasının, 1 nesil süresi (s) dışındaki diğer kategorilerde, başarımları olarak en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Bu kategorilerde BBO algoritmasına en yakın sonucu ABC algoritması vermiştir. Özellikle ÖDSP 1, ÖDSP 2 ve ÖDSP 5 için en başarılı sonucu BBO algoritması sağlamıştır. BBO algoritmasının diğer ÖDSP ler için ise diğer algoritmaların başarımları kıyaslamasında aldıkları en iyi sonuçlara yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Eğitim aşamasında elde edilen sonuçlara göre BBO algoritmasının diğer algoritmalara göre daha basit bir yapıya sahip olması ve kontrol edilecek parametre sayısının az olması nedeniyle daha kullanışlı olduğu düşünülmektedir. Mevcut yapısı itibarıyla yavaş çalışan BBO algoritması, sonuç odaklı bakıldığında ve başarımları kıyaslaması açısından düşünüldüğünde gayet olumlu neticeler vermiştir. BBO algoritmasının mevcut yapısı üzerinde yapılacak geliştirme çalışmalarıyla daha hızlı ve basit bir döngü yapısına kavuşturulabileceği düşünülmektedir. Ayrıca BBO algoritması için detaylı küresel arama özelliğinin de geliştirilmesi ile mevcut yapısından çok daha iyi sonuçlar verebilecek bir algoritmaya dönüştürülebileceği değerlendirilmektedir.

Tablo 6.2 BBO, ABC, PSO ve DE algoritmalarının her bir ÖDSP modellemesi için test aşamasındaki başarımların kıyaslaması.

Algoritma	Ölçüt	ÖDSP 1 Max.Nesil (1000)	ÖDSP 2 Max.Nesil (1000)	ÖDSP 3 Max.Nesil (1000)	ÖDSP 4 Max.Nesil (1000)	ÖDSP 5 Max.Nesil (1000)
BBO	En İyi	0.009313	0.017799	0.009348	0.061999	0.211967
	En Kötü	2.672800	0.593544	0.113219	245.7365	0.456072
	Başarım Sayısı	1	2	2	1	1
	Ortalama Başarım Sayısı	7/10=0.7				
ABC	En İyi	0.032866	0.035922	0.017745	0.120933	0.125224
	En Kötü	1.869034	1.317354	10.55646	21.5831	638.6683
	Başarım Sayısı	0	0	0	0	0
	Ortalama Başarım Sayısı	0				
PSO	En İyi	0.054068	0.025113	0.023815	0.083096	0.397730
	En Kötü	1.278393	1.094454	51.89824	0.732723	28.57756
	Başarım Sayısı	0	0	0	1	0
	Ortalama Başarım Sayısı	1/10=0.1				
DE	En İyi	0.047424	0.024831	0.031532	0.204259	0.025181
	En Kötü	0.195956	0.675152	2.356835	0.919691	0.640239
	Başarım Sayısı	1	0	0	0	1
	Ortalama Başarım Sayısı	2/10=0.2				

Bu çalışmada BBO algoritmasının bulanık ağ yapısı üzerindeki başarımının incelenmesi amacıyla farklı veri setleri (test seti) kullanılarak her bir ÖDSP için elde edilen ANFIS modelleri test edilmiştir. Aynı veri setleri ile BBO, ABC, PSO ve DE algoritmaları için elde edilen sonuçlar Tablo 6.2’de verilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre ÖDSP’ler için bulanık sistem modellemesinde BBO algoritmasının açık bir şekilde en başarılı algoritma olduğu görülmüştür. ABC, DE ve PSO algoritmalarının ortalama başarımlarını baz alınarak birbirlerine yakın sonuçlar verdiği ancak BBO algoritmasını yakalayamadıkları sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Simon D., “Biogeography-Based Optimization”, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 12(6):702-713(2008).
- Jang S. - R. J., “ANFIS:adaptive-network-based fuzzy inference system”, *IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3):665-684(1993).
- MacArthur, R., Wilson, E., “The Theory of Biogeography”, *NJ:Princeton University Pres*, Princeton, 1967.
- Tsoukalas L. - Uhrig R., “Neuro fuzzy approach for anticipatory control of complex system”, *IEEE International Conference in Fuzzy Systems*, (1):587-593(1996).
- Yıldırım, Ö., “Sezgisel Arama Algoritma Tabanlı Bulanık Sistem Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik, 2012.
- Narendra K. S. - Parthasarathy K., “Identification and control of dynamical systems using neural networks”, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 1(1):4-27(1990).
- Oussar, Y., Rivals, I., Dreyfus, L., “Training wavelet Networks for nonlinear dynamic input output modeling”, *Neurocomputing*, 20:173-188(1998).
- Sastry, P. S., Santharam, G., Unnikrishnan, K. P., “Memory neuron Networks for identification and control of dynamical systems”, *IEEE Transaction on Neural Networks*, 5(2):306-319(1994).
- Keksintürk T., “Diferansiyel Gelişim Algoritması”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(9):85-99(2006).
- Karaboğa D., “Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları”, *İstanbul:Atlas Yayın Dağıtım*, İstanbul, 2004.
- Kesler, M., Karakuzu, C., Yüzgeç, U., “Güncel Sezgisel Arama Algoritmalarının Denetleyici Parametrelerinin Optimizasyon Başarım Kıyaslaması”, *6th.International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, :281-286, (2011).
- Zadeh L.A., “Fuzzy Sets”, *Information and Control*, 8:338-353(1965).
- Subaşı, S., Şahin, İ., Çomak, B., “Tahribatsız Test Sonuçları Kullanılarak Uçucu Kül İkameli Betonlarda Basınç Dayanımının ANFIS İle Tahmini”, *SDU International Journal of Technologic Sciences*, 2(3):9-16(2010).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Saraçoğlu, B., Güvenç, U., Dursun, M., Poyraz, G., Duman, S., “Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon Metodu Kullanılarak Asenkron Motor Parametre Tahmini”, *Düzce Üniversitesi İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2(1):46-54(2013).
- Rarick, R., Simon, D., Villaseca, F. E., Vyakaranam, B., “Biogeography-Based Optimization and the Solution of the Power Flow Problem”, *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, San Antonio, 1003-1008(2009).
- Bhattacharya, A., Chattopadhyay, P. K., “Hybrid Differential Evolution With Biogeography-Based Optimization for Solution of Economic Load Dispatch”, *IEEE Transactions on Power Systems*, 25(4):1955-1964(2010).
- Sharaqa, A., Dib, N., “Design of Linear and Circular Antenna Arrays Using Biogeography Based Optimization”, *IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT)*, 1-6(2011).
- Lohokare, M. R., Pattnaik, S. S., Devi, S., Bakwad, K. M., Joshi, J. G., “Parameter Calculation of Rectangular Microstrip Antenna using Biogeography-Based Optimization”, *IEEE Applied Electromagnetics Conference (AEMC)*, 1-4 (2009).
- Panchal, V. K., Bhugra, D., Goel, S., Singhania, V., “Study on the Behaviour of BBO over Natural Terrain Features”, *3rd International Conference on Electronics Computer Technology (ICET)*, 4:28-32(2011).
- Li, J., Zhao, J., “Combining Differential Evolution Algorithm with Biogeography-Based Optimization Algorithm for Reconfiguration of Distribution Network”, *IEEE International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, :1-6(2012).
- Fuli, W., Ping, L., Jiangtao, C., Chengxiang, L., “Local search strategy biogeography-based optimization algorithm for self-tuning of PID parameters”, *32nd Chinese Control Conference (CCC)*, Xi’an ,4306-4310(2013).
- Babuska R., "Fuzzy System, Modeling and Identification", <http://www.dsc.tudelft.nl/~babuska/transp/fuzzmod.pdf> ,19.03.2014.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı: Tufan İNAÇ

Doğum Yeri ve Tarihi: Eskişehir - 03.01.1980



Eğitim Durumu

2.Lisans Öğrenimi: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü (Halen devam ediyor.)

Lisans Öğrenimi: Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik Öğretmenliği Bölümü

Önlisans Öğrenimi: İstanbul Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Kontrol Sistemleri Teknolojisi Bölümü

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurum: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Memur

Önceki Deneyimler: Ortem Elektronik Ltd.Şti., Arge ve Üretim Birimi (2007-2009)

İletişim

Adres: Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gülümbe/BİLECİK

Tel: 0535-291 13 09, 0228-214 12 42

E-Posta Adresi: tufan.inac@bilecik.edu.tr