

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ÖZELLİK SEÇİMİ İÇİN GÜNCEL META SEZGİSEL
OPTİMİZASYONLARI KULLANILARAK YENİ İKİLİ
OPTİMİZASYON ALGORİTMASI GELİŞTİRİLMESİ**

Abdullah ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi

YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OCAK 2022

T.C.
Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**ÖZELLİK SEÇİMİ İÇİN GÜNCEL META SEZGİSEL
OPTİMİZASYONLARI KULLANILARAK YENİ İKİLİ
OPTİMİZASYON ALGORİTMASI GELİŞTİRİLMESİ**

Tez Yazarı
Abdullah ÇELİK

Danışman
Prof. Dr. Erkan TANYILDIZI

OCAK 2022
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Özellik Seçimi İçin Güncel Meta Sezgisel Optimizasyonları Kullanılarak Yeni İkili Optimizasyon Algoritması Geliştirilmesi
Yazarı:	Abdullah ÇELİK
İlk Teslim Tarihi:	02.12.2021
Savunma Tarihi:	14.01.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Erkan TANYILDIZI Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Dr. Öğr. Üyesi Ali ARI İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Özal YILDIRIM Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği	Onayladım

Bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza
Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Özellik Seçimi İçin Güncel Meta Sezgisel Optimizasyonları Kullanılarak Yeni İkili Optimizasyon Algoritması Geliştirilmesi ” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

14.01.2022

Abdullah ÇELİK



Önsöz

Bu çalışmada, gerçek hayat problemlerinin çözümünde kolaylık sağlayacak ve özellik seçimi için kullanılabilen Altın Sinüs Arama Algoritması'nın ikili optimizasyonu geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın performans analizi için literatürde sunulan çeşitli ikili optimizasyon yöntemlerine ait kodlar kullanılarak eşit şartlarda kısıtsız kıyaslama fonksiyonları ile başarımları test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda en yüksek başarımla sahip ikili optimizasyon algoritması belirlenerek sonuçlar analiz edilmiştir. Bu çalışma sayesinde optimizasyon problemlerinin çözümünde etkin sonuç elde edilebilecek ikili optimizasyon algoritmalarının başarımları gözlenmiştir.

Tez çalışması boyunca göstermiş oldukları sabır ve desteklerinden dolayı eşim ve çocuklarıma, tecrübeleriyle desteğini esirgemeyen Tuncay CİĞAL ve Eyüp ERÖZ hocalarıma teşekkür ediyorum.

Bilgi, deneyim ve tecrübelerini esirgemeyen, sabırla destek olan danışman hocam Prof. Dr. Erkan TANYILDIZI'na teşekkür ederim.

Abdullah ÇELİK
ELAZIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	3
1.2. Tezin İçeriği.....	3
2. İKİLİ OPTİMİZASYON.....	5
2.1. İkili Optimizasyonlar İçin Kullanılan Modifikasyon Teknikleri	5
3. MATERYAL VE METOT	7
3.1. Transfer Fonksiyonları	7
3.2. İkili Optimizasyon Algoritmaları	8
3.2.1. İkili Parçacık Sürü Optimizasyonu.....	9
3.2.2. Hibrid Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Yerçekimi Arama Algoritması.....	14
3.2.3. İkili Gri Kurt Optimizasyonu	15
3.2.4. İkili Yarasa Algoritması.....	18
3.2.5. İkili Yusufçuk Algoritması.....	20
3.3. Altın Sinüs Algoritması (Gold-SA)	22
4. YENİ BİR İKİLİ ALTIN SİNÜS ARAMA ALGORİTMASI	26
5. PERFORMANS KARŞILAŞTIRMA YÖNTEMLERİ	28
5.1. Tek Modlu Sabit Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonları	28
5.2. Tek Modlu Değişken Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonları	29
5.3. Çok Modlu Sabit Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonları.....	30
5.4. Çok Modlu Değişken Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonları.....	32
5.5. CEC 2017 Kıyaslama Fonksiyonları	34
5.6. Mühendislik Tasarım Problemleri	35
5.7. Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testi	36
5.8. Özellik Seçimi	36
6. DENEYSEL SONUÇLAR	38
6.1. Tek Modlu Sabit Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Deneysel Sonuçlar.....	38
6.2. Tek Modlu Değişken Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Deneysel Sonuçlar.....	41
6.3. Çok Modlu Sabit Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Deneysel Sonuçlar	44
6.4. Çok Modlu Değişken Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Deneysel Sonuçlar	49
6.5. CEC 2017 Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Deneysel Sonuçlar.....	52
6.6. Mühendislik Tasarım Problemlerine Ait Deneysel Sonuçlar	58
6.7. Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testine Ait Deneysel Sonuçlar.....	61
6.7.1. Tek Modlu Sabit Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testi Deneysel Sonuçları.....	61

6.7.2. Tek Modlu Değişken Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testi Deneyisel Sonuçları.....	63
6.7.3. Çok Modlu Sabit Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testi Deneyisel Sonuçları.....	65
6.7.4. Çok Modlu Değişken Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testi Deneyisel Sonuçları.....	69
6.7.5. CEC 2017 Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testi Deneyisel Sonuçları.....	71
6.7.6. Mühendislik Tasarım Problemlerine Ait Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testi Deneyisel Sonuçları.....	75
6.8. Özellik Seçimine Ait Deneyisel Sonuçlar.....	77
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	80
8. SONUÇLAR.....	82
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Özellik Seçimi İçin Güncel Meta Sezgisel Optimizasyonları Kullanılarak Yeni İkili Optimizasyon Algoritması Geliştirilmesi

Abdullah ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2022, Sayfa: xi +87

Meta sezgisel optimizasyon yöntemleri, sürekli optimizasyon problemlerinde etkin olarak kullanılmıştır. Ancak bu yöntemlerin yüksek boyutlu ve çok modlu ikili optimizasyon problemlerini çözmede etkili olması zordur. Bu nedenle meta sezgisel yöntemler kullanılarak birçok ikili optimizasyon algoritmaları geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, ikili optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılması amacıyla Altın Sinüs Arama Algoritması (Gold-SA) geliştirilerek İkili Altın Sinüs Arama Algoritması (bGold-SA) adlı bir yaklaşım önerilmiştir. Geliştirilen algoritma ile İkili Parçacık Sürü Optimizasyonu (Binary Particle Swarm Optimization-BPSO), İkili Gri Kurt Optimizasyonu (Binary Gray Wolf Optimization-BGWO), İkili Yusufçuk Algoritması (Binary Dragonfly Algorithm-BDA), İkili Yarasa Algoritması (Binary Bat Algorithm-BBA) ve Hibrid İkili Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Yerçekimi Arama Algoritması (BPSOGSA) algoritmaları karşılaştırılmıştır. Kıyaslama işlemi için 97 adet kısıtsız kıyaslama fonksiyonu, 14 adet mühendislik tasarım problemi kullanılmış ve parametrik olmayan Wilcoxon'un işaretli sıra testi kullanılarak başarı testi uygulanmıştır. Algoritmaların özellik seçiminde kullanılan versiyonları 17 adet veri seti üzerinde kullanılarak başarı değerlendirme yapılmıştır.

DeneySEL sonuçlar doğrultusunda, bGold-SA'nın diğer ikili algoritmalara göre; kıyaslama fonksiyonları, mühendislik tasarım problemleri ve Wilcoxon'un işaretli sıra testi üzerinde daha yüksek başarıya sahip olduğunu gözlemlenmiştir. Ancak özellik seçimi konusunda bu yaklaşımın BBA ve BPSO kadar etkili olmadığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İkili Optimizasyon, İkili Altın Sinüs Arama Algoritması, Kıyaslama Fonksiyonları, Modifikasyon Teknikleri, Başarım Değerlendirmesi, Transfer Fonksiyonları

ABSTRACT

Development of New Binary Optimization Algorithm Using Current Meta Heuristic Optimizations for Feature Selection

Abdullah ÇELİK

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Software Engineering

January 2022, Pages: xi + 87

Metaheuristic optimization methods have been used effectively in continuous optimization problems. However, these methods are difficult to be effective in solving high-dimensional and multi-modal binary optimization problems. For this reason, many binary optimization algorithms have been developed using meta-heuristics.

In this study, Golden Sine Search Algorithm (Gold-SA) has been developed and Binary Gold Sine Search Algorithm (bGold-SA) has been proposed to be used in the solution of binary optimization problems. With the developed algorithm, Binary Particle Swarm Optimization (BPSO), Binary Gray Wolf Optimization (BGWO), Binary Dragonfly Algorithm (BDA), Binary Bat Algorithm (BBA) and Hybrid Binary Particle Swarm Optimization and Gravitational Search Algorithm (BPSOGSA) algorithms are compared. For the comparison process, 97 unconstrained comparison functions, 14 engineering design problems were used and an achievement test was applied using the non-parametric Wilcoxon's signed-rank test. The versions of the algorithms used in feature selection were used on 17 data sets to evaluate success.

Experimental results show that bGold-SA has higher performance on comparison functions, engineering design problems and Wilcoxon's signed rank test compared to other binary algorithms. However, it was concluded that it was not as effective as BBA and BPSO in feature selection.

Keywords: Binary Optimization, Binary Golden Sine Search Algorithm, Benchmark Functions, Modification Techniques, Performance Evaluation, Transfer Functions

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1	S-şekilli transfer fonksiyonları 8
Şekil 3.2	V-şekilli transfer fonksiyonları 8
Şekil 3.3.	BPSO'nun minimize edilmesi için standart algoritma 10
Şekil 3.4.	Sigmoid transfer fonksiyonu 18
Şekil 3.5.	Önerilen V-şekilli transfer fonksiyonu 19
Şekil 3.6.	Birim çemberde sinüs periyodunun değişimi 22
Şekil 3.7.	Altın Sinüs Algoritması 23
Şekil 3.8.	Altın kesit yönteminin [a, b] aralığındaki sözde kodu 24
Şekil 3.9.	Altın kesit yönteminin Gold-SA'da kullanılması 24
Şekil 3.10.	Altın Sinüs Algoritması'nın sözde kodu 25
Şekil 4.1.	İkili Altın Sinüs Algoritması'nın sözde kodu 27
Şekil 6.1	F1 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği..... 40
Şekil 6.2	F2 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği..... 40
Şekil 6.3	F1 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği..... 44
Şekil 6.4	F3 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği..... 44
Şekil 6.5	F18 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği..... 49
Şekil 6.6	F26 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği..... 49
Şekil 6.7	F2 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği..... 52
Şekil 6.8	F9 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği..... 52
Şekil 6.9	F4 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği..... 58
Şekil 6.10	F5 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği..... 58
Şekil 6.11	E4 problemine ait yakınsama grafiği 61
Şekil 6.12	E7 problemine ait yakınsama grafiği 61

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. S-şekilli ve V-şekilli transfer fonksiyonları aileleri	8
Tablo 5.1. Tek modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonları	28
Tablo 5.2. Tek modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonları	29
Tablo 5.3. Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonları	30
Tablo 5.4. Çok modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonları	32
Tablo 5.5. CEC 2017 kıyaslama fonksiyonları	34
Tablo 5.6. Mühendislik tasarım problemleri	35
Tablo 5.7. Özellik seçimi için kullanılan veri setleri	37
Tablo 6.1. Tek modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar	39
Tablo 6.2. Tek modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar	41
Tablo 6.3. Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar	44
Tablo 6.4. Çok modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar	49
Tablo 6.5. CEC 2017 kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar	53
Tablo 6.6. Mühendislik tasarım problemlerine ait sonuçlar	58
Tablo 6.7. Tek modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları	62
Tablo 6.8. Tek modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları	63
Tablo 6.9. Çok modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları	66
Tablo 6.10. Çok modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları	69
Tablo 6.11. CEC 2017 kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları	72
Tablo 6.12. Mühendislik tasarım problemlerine ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları	75
Tablo 6.13. Özellik seçimine ait sonuçlar	78
Tablo 7.1. Kalite test fonksiyonları sonucu optimuma veya en yakın sonuca ulaşan algoritmalar	80
Tablo 7.2. Mühendislik tasarım problemleri sonucu optimuma ulaşan algoritmalar	81

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

v	: Hız
x	: Parçacığın konumu
w	: Atalet ağırlığı
c ₁ ve c ₂	: İvme faktörleri
r ₁ ve r ₂	: [0,1] 'de iki bağımsız rastgele sayı
pbest	: Kişisel en iyi çözüm
gbest	: Tüm popülasyon için global en iyi çözüm
i	: Popülasyondaki parçacık sırası,
d	:Arama alanının boyutu,
t	: Yineleme sayısı
F	: Uygunluk fonksiyonu
S	: Transfer fonksiyonu
Y	: Çözümler arası geçiş işlemi
bstep	: İlk adım
cstep	: Adım boyutu
T	: Konumların değiştirilme olasılığı

Kısaltmalar

BBA	: İkili Yarasa Algoritması
BPSO	: İkili Parçacık Sürü Optimizasyonu
BGSA	: İkili Yerçekimi Arama Algoritması
BGWO	: İkili Gri Kurt Optimizasyonu
BDA	: İkili Yusufçuk Algoritması
BPSOGSA	: Hibrid İkili Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Yerçekimi Arama Algoritması
BPSO	: Boya duyarlı güneş pilleri
BACO	: İkili Karınca Kolonisi Optimizasyonu
BWOA	: İkili Balina Optimizasyon Algortması
BABC	: İkili Yapay Arı Kolonisi
BFA	: İkili Ateş Böceği Algoritması
BDE	: İkili Diferansiyel Algoritması
BCSO	: İkili Kedi Sürüsü Optimizasyonu
HS	: Harmoni Arama
DE	: Diferansiyel Evrim
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
GSA	: Yerçekimi Arama Algoritması
CEC	: Evrimsel Hesaplama Kongresi

1. Giriş

İnsanların ihtiyaçlarını bulundukları koşullara göre en kısa sürede en az kaynak kullanarak karşılamaya çalışması hemen hemen her alanda karşısına çıkan en büyük problemdir. Bu problemlerin çözümünde tecrübelerine dayalı kazanılan davranışlar yoluyla çözümler geliştirmektedir. Üretilen çözüm yöntemleri genelde optimizasyon olarak bilinen en iyiye ulaşma çabası olmaktadır. Örneğin bir avcı hayvanın avını yakalamak için büyüklük, mesafe ve zaman unsurlarına göre hareket etmesi, herhangi bir konuma doğru yola çıkan bir araç sürücüsünün mesafe ve yakıt açısından en uygun yolu tercih etmesi, alışveriş yapan bir kişinin maddi imkanlarına göre mümkün olan en kaliteli ve en fazla ürünü alma çabası, alışveriş sonrasında taşıyabileceği yük miktarını hesaplayarak ürünlerini poşetlere yerleştirmeye çalışması gibi örnekler günlük hayatta karşılaşılabileceğimiz en iyiye ulaşma çabalarıdır. Artan ihtiyaçların kısıtlı kaynaklar ve belirli sınırlar dâhilinde karşılanmaya çalışılması yaşamın her alanında karşımıza çıkmaktadır [1].

Optimizasyon, önceden belirlenen amaç ve hedeflere ulaşmak için belli kısıtlamalar dahilinde en uygun çözümün elde edilme sürecidir. Kullanılan problemin çözüm metodu ve izin verilen toleransa göre en iyi tanımlaması yapılır. Geçmişten günümüze karşılaşılan problemlerin çözülmesi için geliştirilen birçok optimizasyon tekniği değişik alanlara uygulanmıştır [2, 3]. Optimizasyon işlemine; düşük maliyetle kârın artırılması, zaman kullanımı konusunda verimin artırılması, enerjide verimliliğin artırılması, fabrikada seri üretimi yapılan ürünlerin sayısının artırılması, elektronik ürünlerinin boyutlarının azaltılması gibi birçok alanda ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da optimizasyon algoritmalarının popülerliğini artırarak bilim insanlarını bu alanda çalışmaya yönlendirmiştir [2,4].

Günümüzde optimizasyon teknikleri; yönetim, mühendislik, endüstri, biyoloji, fizik, ilaç sanayisi, sosyal bilimler, matematik bilimi, fizibiliteye gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir. Optimizasyonlar bu alanlardaki problemlerin çözümü için sürekli olarak gerçeğe en yakın sonuçlar üretmeye çalışmaktadır [2,5].

Optimizasyon problemlerinin çözümü amacıyla birçok algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmaların geliştirilmesinde matematiksel veya sezgisel yöntemler kullanılır. Ancak matematiksel yöntemler çözüm alanının tamamını taradığından maliyetli olmaktadır. Sezgisel yöntemler ise çözüm alanını rastgele taramaktadır. Bu da çözüme daha kısa sürede ulaşmayı sağlamaktadır [6].

Sezgisel algoritmalar, problemlerin çözümü için geliştirilen ve probleme bağlı olan yöntemlerdir. Bu nedenle geliştirilen algoritmalar, üzerinde çalışılan problemin bilgisini içerir. Sezgisel algoritmaların gerçek dünya problemleri üzerinde uygulanabilmesi için meta sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir [7].

Meta sezgisel algoritmalar, özellikle sürekli optimizasyon probleminde kullanılmasını sağlayan genel çözüm stratejileri sunması, herhangi bir kısıtlamaya veya fonksiyon sayısına bağlı olmaması, çok iyi tanımlanmış matematiksel modele ihtiyaç duymaması, olumlu hesaplama gücü, dönüştürülebilir olması ve belli bir probleme bağlı olmaması açısından avantajlar sağlamaktadır [8]. Geliştirilen meta sezgisel algoritmalar, çözülmesi zor olan optimizasyon problemleri için iyi çözümler sunabilir. Ancak optimal çözümlere ulaşılabilceğinin bir garantisi yoktur [9].

Meta sezgisel algoritmalarda, global ve yerel aramaların gerçekleştirilmesi keşif ve sömürü şeklinde iki ortak noktaya dayanmaktadır. Sömürü yeteneği yerel arama alanında, keşif yeteneği global arama alanında en iyi çözümü elde etmeye çalışmaktadır [10].

Gerçek hayat problemleri çözülürken sürekli optimizasyon problemlerinden yararlanılmaktadır. Sürekli optimizasyon problemlerinin karar değişkenleri pozitif reel değerler almaktadır. Ancak problemlerin çözümlerinde daha net sonuçlar elde etmek amacıyla ikili optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. İkili optimizasyon yöntemleri sayesinde yanıtlar 0/1, evet/hayır, seçme/seçilmeme gibi değerler alır. Bu sayede algoritmaların başarımının değerlendirilmesinde daha net ve kesin sonuçlar elde edilebilmektedir [5].

Literatürlerde ikili problemleri çözmek için farklı optimizasyon algoritmaları bulunmaktadır. Genetik Algoritma (GA) [11], Harmoni Arama (HS) [12] ve Diferansiyel Evrim (DE) [13] gibi algoritmalar yapıları gereği ikili problemleri çözmek için yeterli olurken Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) [14], Gri Kurt Optimizasyonunu (GWO) [15] ve Yerçekimi Arama Algoritması (GSA) [16] gibi stokastik optimizasyon algoritmaları ikili problemleri çözmek için uyarlanmıştır [17].

Charles Darwin'in evrim teorisine dayanılarak geliştirilen Genetik Algoritma (GA) ikili optimizasyon algoritmalarının ilki olarak bilinmektedir. Bu algoritma John Holland ve arkadaşları tarafından önerilmiştir [18]. Önerilen algoritmada parametreleri "0" ve "1" şeklinde ikili değerlerden oluşan gen yapıları bulunmaktadır. Optimizasyon problemlerinin çözümü gerçekleştirilirken gen yapıları üzerinde çaprazlama, mutasyon, birey üretimi ve gen seçimi gibi genetik operatörler kullanılmaktadır. Günümüzde GA, gerçek hayat problemlerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Birçok çeşidi geliştirilen algoritma; ekonomi, bilişim, matematik, kimya, havacılık gibi birçok alanda uygulanmaktadır [19].

Literatürde yer alan birçok meta sezgisel algoritma ikili problemleri çözmek için uyarlanmıştır. Önerilen algoritmalarından bazıları aşağıda verilmiştir.

- Kennedy ve Eberhart, sürü halinde hareket eden balıklar ve böceklerden esinlenerek geliştirdikleri PSO'nun ikili versiyonu BPSO'yu önerdiler [20].
- Rashedi ve arkadaşları, evrendeki parçacıkların bir arada olmasını sağlayan yerçekiminden ilham alarak geliştirdiği GSA'nın ikili versiyonu olan BGSA'yı önerdiler [17].

- Mirjalili ve arkadaşları, gri kurtların avlanma davranışlarını taklit ederek geliştirdikleri gri kurt optimizasyon (GWO) algoritmasını Emary ve arkadaşları geliştirerek ikili versiyonu olan BGWO'yu önerdiler [21].
- Yang, yarasaların avlarını bulma ve tamamen karanlıkta bile farklı böcek türlerini ayırt etme konusundaki büyüleyici yeteneklerine dayanarak yarasa algoritmasını (BA) geliştirdi [22]. Mirjalili ve arkadaşları, ikili optimizasyon problemlerinin çözümü için ikili BA'yı tanıttılar [23].
- Mirjalili ve arkadaşları, yusufoçuk kuşlarının davranışlarından esinlenerek geliştirilen yusufoçuk algoritmasının (DA) [24] ikili sürümü olan BDA'yı önerdiler [25].

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmada, ikili optimizasyon ve mühendislik tasarım problemlerinde başarıyı yüksek bir optimizasyon algoritmasının geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Bunun için güncel meta sezgisel optimizasyon algoritmalarından Altın Sinüs Arama Algoritmasının (Gold-SA) ikili versiyonu geliştirilerek İkili Altın Sinüs Arama Algoritması (bGold-SA) önerilmiştir.

Herhangi bir yeni optimizasyon algoritmasının performansını, yerleşik veya mevcut algoritmalarla karşılaştırmak için standart test fonksiyonlarına göre doğrulanması gerekir. Doğrulama işlemlerini yapmak için birçok test fonksiyonu vardır. Bu nedenle standart bir liste veya takip edilmesi gereken test fonksiyonları seti yoktur. Bununla birlikte, çeşitli test fonksiyonları mevcuttur. Bu nedenle yeni algoritmalar, farklı özelliklere sahip en az bir fonksiyon alt kümesi kullanılarak test edilmelidir [19]. Geliştirilen bGold-SA ile literatürde bulunan bazı ikili algoritmaların, kıyaslama ölçekleri aracılığıyla başarımlar değerlendirilmesi yapılmıştır.

1.2. Tezin İçeriği

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, ikili optimizasyonun tanımı, algoritmaların ikili değerlere dönüşümünde kullanılan modifikasyon teknikleri anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, ikili optimizasyon kullanılarak hibridize edilmiş algoritmalar hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Bu algoritmaların hıza bağlı popülasyon konumlarının 0 ve 1 aralığında güncellenmesi için kullanılan transfer fonksiyonları tanıtılmıştır. Ayrıca tez çalışmasında, ikili versiyonu önerilecek olan Gold-SA hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde, bGold-SA'nın özellikleri ve ikili arama alanında kullanabilmek için yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Beşinci bölümde, algoritmalar arasındaki performans değerlendirmesini yapmak için kullanılacak kıyaslama fonksiyonları, mühendislik tasarım problemleri, Wilcoxon'un işaretli sıra test ile özellik seçimi tanıtılmıştır. Altıncı bölümde, ikili optimizasyonlar kullanılarak geliştirilen hibrid optimizasyonlarının performans

değerlendirmesi için test sonuçları verilmiştir. Yedinci bölümde, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, sekizinci bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.



2. İkili Optimizasyon

Günümüzde teknolojik gelişmelere bağlı olarak artan rekabet ortamında gerçek hayat problemlerinin çözümü için harcanan zamanın verimli kullanılması ve optimum sonucun elde edilmesi önem arz etmektedir [5]. Bu hedefi gerçekleştirmek amacıyla matematiksel modellere dayanan birçok optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmaların matematiksel modelleri, çözüm için kullanılan problemlerin giriş parametrelerine bağlı olarak optimum sonucu elde etmeye çalışır.

Optimizasyon algoritmaları, optimizasyon problemlerinin çözümünde karar değişkenlerini kullanır. Karar değişkenlerinin yapısı optimum sonuca ulaşmakta önemli rol almaktadır. Kullanılan karar değişkenleri tam sayı veya pozitif reel sayı değerleri alabilmektedir [26]. Ancak problemlerin boyutu ve karmaşıklığı arttıkça bu karar yapıları çözüm için yeterli olamamaktadır. Bu durumda “0” ve “1” gibi karar değişkenlerine sahip ikili optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. İkili optimizasyon algoritmalarının karar yapıları kesin sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak sonuçların optimumu elde etme garantisi yoktur.

Günümüzde ikili optimizasyonların arama uzaylarındaki etkinliğini kullanmak amacıyla birçok optimizasyon algoritmasının ikili versiyonu geliştirilmiştir. Yapılan literatür taraması, geliştirilen ikili algoritmaların optimizasyon problemleri üzerinde başarılı sonuçlar elde ettiğini göstermiştir.

Optimizasyon algoritmalarının ikili versiyonları geliştirilirken matematiksel modelleri üzerinde ikili değerlere dönüştürme işlemleri yapılmaktadır. Gerçek dünya problemlerinin çözümünde literatürde bulunan meta sezgisel optimizasyon algoritmaların ikili optimizasyon algoritmalarına dönüştürülmesinde kullanılan modifikasyon yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler ile ilgili detaylı bilgi alt bölüm başlığında verilmiştir.

2.1. İkili Optimizasyonlar İçin Kullanılan Modifikasyon Teknikleri

Genetik Algoritma gibi yöntemler aday çözümler üretirken bit dizileri üzerinde çaprazlama ve mutasyon operatörleri kullanarak çalışır. Bu nedenle bu algoritmaların ikili problemlere uygulanması kolaydır. GA ve benzeri yöntemler haricindeki algoritmaların aday çözümleri sürekli değerler alan problemleri çözmek için tasarlanmıştır. Bu nedenle algoritmaların, ikili problemlerin çözümünde kullanmak için yeniden tasarlanması ve ikili değerler ile çalışacak şekilde uyarlanması gerekir. Yeniden aday çözüm üretme stratejisi olarak ikili değerlere dönüşüm için modifikasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Yapılması gereken değişiklikler yöntemin karakteristik özelliğine ve çalışma şekline göre farklılık göstermektedir. Literatürde en çok kullanılan modifikasyon teknikleri [1]:

• **Transfer fonksiyonu:** Parçacığın konum vektörünü 0'dan 1'e veya 1'den 0'a değiştirme olasılığını tanımlar. Transfer fonksiyonları parçacıkları $[0,1]$ aralığında sınırlayarak ikili uzayda hareket etmeye zorlar. Hızın mutlak değerinin büyük olması durumunda parçacığın pozisyon değiştirme olasılığı artar. Çünkü hızın mutlak değerinin büyük olması parçacığı en iyi çözümden uzaklaştırır. Bu nedenle sonraki yinelemede parçacığın konum vektörü değiştirilir [27].

• **Açı modülasyonu:** Bu yöntemde sinüs ve kosinüs fonksiyonları kullanılarak ikili diziler oluşturulur. Bu fonksiyonun gerçek değerli dört parametresi vardır. Her parametre seti bir ikili diziden oluşur. Sinyal işleme alanında kullanılan açı modülasyonu telekomünikasyon endüstrisinden türetilir [28].

• **Kuantumdan ilham alan bitler:** Bu teknik, her bir ajanın bir çift sayı ile tanımlandığı kuantum hesaplama alanından esinlenmiştir. Bu yöntemde dönüş açısının sürekli olarak güncellendiği deneme çözümleri üretmek için bir dönüş matrisi kullanılır [29].

• **Genetik operatörler:** İkili özelliğe sahip arama alanı sayesinde algoritmaların çaprazlama ve mutasyon özellikleri gibi genetik operatörlerin kullanılmasını sağlar [30,31].

• **İkili işleçler:** Bu yöntemle optimizasyon problemlerinin çözümü için XOR (özel VEYA) mantık operatörü kullanılarak her bir vektörün ikili uzayda araması sağlanır [32].

• **Farklılık ölçüsü:** İkili yapılar arasındaki benzerlik ve farklılıkların niceliksel olarak ölçülmesinde kullanılır. İkili yapıların bitleri arasındaki örüntüye göre kümeleme ve sınıflandırma gibi işlemler yapılabilir [33].

• **Sezgisel yöntemler:** Bu yöntemlerde probleme dayalı çözüm stratejileri geliştirilir. Hedef problemin karmaşıklığı ve ölçeğine göre uygun bir arama stratejisi tasarlamak için seçilir [5].

3. Materyal ve Metot

İkili optimizasyon algoritmaları genellikle yüksek boyutlu, çok modlu ve çözülmesi zor olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı birçok optimizasyon algoritmasının ikili versiyonun geliştirilmesi ilgi alanı olmuştur [30]. İkili optimizasyon algoritmalarının geliştirilmesinde bazı dönüşüm işlemleri yapılmaktadır. Yapılan literatür çalışmasında, ikili algoritmaların değer dönüşümlerinde etkin olarak kullanılan transfer fonksiyonları, kıyaslama işleminde kullanılan ikili optimizasyon algoritmaları, ikili versiyonu önerilen Gold-SA tanıtılmıştır.

3.1. Transfer Fonksiyonları

Bir transfer fonksiyonu, bir konum vektörünün öğelerini 0'dan 1'e veya 1'den 0'a değiştirme olasılığını tanımlar. Transfer fonksiyonları, parçacıkları ikili uzayda hareket etmeye zorlar. Rashedi ve arkadaşlarına göre, hız değerlerini olasılık değerlerine eşlemek için bir transfer fonksiyonu seçerken bazı kavramlar dikkate alınmalıdır [16, 27, 34]:

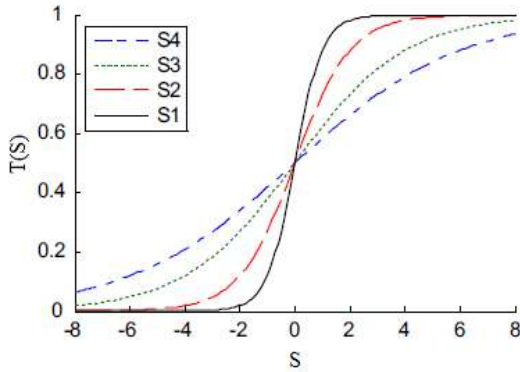
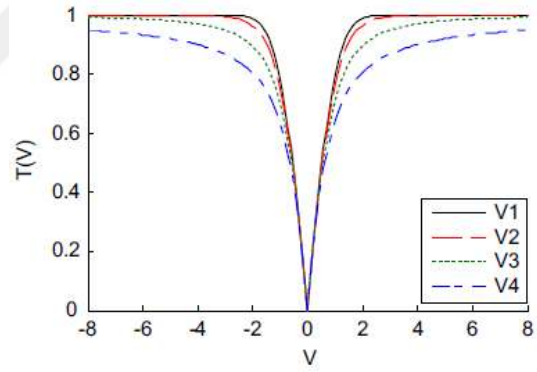
- Bir transfer fonksiyonunun aralığı, bir parçacığın konumunu değiştirme olasılığını temsil ettiğinden, $[0, 1]$ aralığında sınırlandırılmalıdır.
- Bir transfer fonksiyonu, hızın büyük bir mutlak değeri için konumu değiştirme olasılığının yüksek olmasını sağlamalıdır. Hızları için büyük mutlak değerlere sahip makaleler muhtemelen en iyi çözümden uzaktır, bu nedenle bir sonraki yinelemede konumlarını değiştirmelidirler.
- Bir transfer fonksiyonu, hızın küçük bir mutlak değeri için küçük bir konum değiştirme olasılığı da sunmalıdır.
- Bir transfer fonksiyonunun dönüş değeri, hız arttıkça artmalıdır. En iyi çözümden uzaklaşan parçacıkların önceki konumlarına dönmek için konum vektörlerini değiştirme olasılığı daha yüksek olmalıdır.
- Bir transfer fonksiyonunun dönüş değerleri, hız azaldıkça düşmelidir.

Mirjalili ve Lewis, transfer fonksiyonlarını S-şekilli fonksiyonlar ve V-şekilli fonksiyonlar şeklinde iki sınıfa ayırmıştır. Sekiz olası transfer fonksiyonu ayrıntılı olarak Tablo 3.1'de gösterilmiştir [34].

Tablo 3.1. S-şekilli ve V-şekilli transfer fonksiyonları aileleri [27]

S-şekilli fonksiyon ailesi		V-şekilli fonksiyon ailesi	
İsim	Transfer fonksiyonu	İsim	Transfer fonksiyonu
S1	$T(x) = \frac{1}{1 + e^{-2x}}$	V1	$T(x) = \operatorname{erf}(\frac{\sqrt{\pi}}{2}x) = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \int_0^{(\frac{\sqrt{\pi}}{2})x} e^{-t^2} dt $
S2	$T(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	V2	$T(x) = \tanh(x) $
S3	$T(x) = \frac{1}{1 + e^{(-\frac{x}{2})}}$	V3	$T(x) = (x)/\sqrt{1+x^2} $
S4	$T(x) = \frac{1}{1 + e^{(-\frac{x}{3})}}$	V4	$T(x) = \frac{2}{\pi} \arctan(\frac{\pi}{2}x) $

Tablo 3.1'de görüldüğü gibi S1, S2, S3 ve S4, S şeklinde transfer fonksiyonları olarak sınıflandırılabilirken, V1, V2, V3 ve V4, V şeklinde transfer fonksiyonlarıdır. S-şekilli transfer fonksiyonlarının eğrileri Şekil 3.1'de, V-şekilli transfer fonksiyonlarının eğrileri Şekil 3.2'de gösterilmektedir. V-şekilli transfer fonksiyonları, parçacıkları 0 veya 1 değerini almaya zorlamayan S-şekilli transfer fonksiyonlarından farklıdır. Hız değerleri düşük olduğunda mevcut konumlarında kalırlar veya hız değerleri yüksek olduğunda tamamlayıcılarına geçerler [34].

**Şekil 3.1** S-şekilli transfer fonksiyonları [27]**Şekil 3.2** V-şekilli transfer fonksiyonları [27]

3.2. İkili Optimizasyon Algoritmaları

Literatür taramasında ikili optimizasyon problemlerinin çözümü için birçok algoritmanın geliştirildiği görülmektedir. Yapılan çalışmada literatürde yaygın olarak kullanılan BBA, BPSO, hibrid BPSOGSA, BGWO ve BDA algoritmaları kıyaslama işleminde kullanılmıştır. Bu ikili algoritmalar ile ilgili detaylar alt başlıklarda yer almaktadır.

3.2.1. İkili Parçacık Sürü Optimizasyonu

PSO'nun etkin arama stratejilerini ikili optimizasyon problemlerinde kullanmak amacıyla Kennedy ve Eberhart tarafından İkili Parçacık Sürü Optimizasyonu (BPSO) önerilmiştir. Önerilen algorithma kişisel ve global en iyi çözümlerin elde edilmesi için hız ve pozisyon güncellemesi yapılmaktadır. Buna göre her parçacık için hız güncellemesi Denklem 1'de gösterildiği gibi yapılır [35]:

$$v_i^d(t+1) = wv_i^d(t) + c_1r_1(pbest_i^d(t) - x_i^d(t)) + c_2r_2(gbest^d(t) - x_i^d(t)) \quad (1)$$

Burada;

v : Hız,

x : Çözelti (parçacığın konumu),

w : Atalet ağırlığı,

c_1 ve c_2 : İvme faktörleri,

r_1 ve r_2 : $[0,1]$ 'de iki bağımsız rastgele sayıdır,

$pbest$: Kişisel en iyi çözüm,

$gbest$: Tüm popülasyon için global en iyi çözüm,

i : Popülasyondaki parçacık sırası,

d : Arama alanının boyutu,

t : Yineleme sayısıdır.

Denklem 1'e göre hız değerleri hesaplandıktan sonra Denklem 2 ile hızın olasılık değeri hesaplanır. Elde edilen olasılık değerine göre Denklem 3'de gösterildiği gibi konum güncellemesi yapılır [35]:

$$S(v_i^d(t+1)) = \frac{1}{1 + \exp(-v_i^d(t+1))} \quad (2)$$

$$x_i^d(t+1) = \begin{cases} 1, & rand < S(v_i^d(t+1)) \\ 0 \end{cases} \quad (3)$$

Burada $rand$, 0 ile 1 arasında eşit olarak dağılmış rastgele bir sayıdır. BPSO'da, yerel en iyi ($pbest$) ve global en iyi ($gbest$), parçacığın global optimum seviyeye doğru hareket etmesi yönlendirmede önemli bir rol oynar. Yinelenen şekilde, $pbest$ ve $gbest$ Denklem 4 ve 5'teki gibi güncellenir [35]:

$$pbest_i(t+1) = \begin{cases} x_i(t+1), & F(x_i(t+1)) < F(pbest_i(t)) \\ pbest_i(t) \end{cases} \quad (4)$$

$$gbest(t+1) = \begin{cases} pbest_i(t+1), & F(pbest_i(t+1)) < F(gbest(t)) \\ gbest(t) \end{cases} \quad (5)$$

x 'in çözüm olduğu yerde;

p_{best} : Yerel en iyi çözümdür.

g_{best} : Tüm popülasyon için global en iyi çözümdür.

$F(.)$: Uygunluk fonksiyonudur.

T : Yineleme sayısıdır.

BPSO'nun minimize edilmesi için geliştirilen algoritma Şekil 3.3'de verilmiştir.

```
1. Rastgele bir başlangıç popülasyonu oluşturun;  
2. Rastgele bağlı hız içindeki başlangıç hızlarını üretir;  
3. repeat  
4.   for  $i=1$  to popülasyon boyutu do  
5.     if  $f(x_i) < f(p_i)$  then  $p_i = x_i$   
6.     if  $f(p_i) < f(g)$  then  $g = p_i$   
7.   end  
8.   for  $i=1$  to popülasyon boyutu do  
9.     for  $j=1$  to değişken boyutu do  
10.       $w$  hesaplayın.  
11.      Denklem 1 ile hızı güncelleyin.  
12.      Denklem 2 ve 3 kullanarak konumu güncelleyin.  
13.    end  
14.  end  
15. until bitiş kriteri tamamlanıncaya kadar;
```

Şekil 3.3. BPSO'nun minimize edilmesi için standart algoritma [35,36]

BPSO'nun dezavantajları genel olarak iki maddede ele alınabilir:

- İlk dezavantaj sigmoid fonksiyonuyla ilgilidir. Standart PSO'da pozitif ve negatif yönde büyük bir hız değeri arasında fark yoktur ve sadece önceki konuma göre daha büyük hareketin gerekli olduğunu gösterir. Bununla birlikte, ikili PSO'da, pozitif yönde değerin artırılmasının, parçacık pozisyonu için daha büyük olasılığa (1 olasılığı) ve negatif yönde artmasının sıfır olasılığına neden olacağı bir fark ilişkilidir. Ayrıca, standart PSO'da belirli bir boyut için parçacık hızı sıfıra giderken, parçacığın bu boyutta uygun bir konuma sahip olduğu anlamına gelir [37].

- İkinci dezavantaj pozisyon güncelleme denklemi ile ilgilidir. Konumun güncellenmesi, önceki konum dikkate alınmadan gerçekleştirilir [38].

BPSO'nun farklı problemleri çözmede elde ettiği sonuçlar, ortalama maliyet fonksiyonunun ilk birkaç tekrarlama iyileşmekte olduğunu göstermektedir. Bu, algoritmanın optimal çözüme yaklaştığı anlamına gelir, ancak algoritma devam ettikçe parçacıklar optimum çözümden uzaklaşır ve lokal optimumda sıkışabilir. Algoritma optimum çözüme ulaştığında, parçacığın konumunu

değiştirme olasılığı sıfıra yakın olmalıdır. Bu noktada sigmoid fonksiyonunu kullanarak, 0 veya 1 değerini 0.5 olasılıkla alarak konum değişecektir [38].

3.2.1.1 BPSO Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Literatürde BPSO kullanılarak birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmaların bazıları BPSO'yu problem çözümünde kullanılabildiği gibi bazıları da BPSO'nun dezavantajlarını gidermek veya etkili bir model oluşturmak amacıyla yeni hibrid modeller geliştirmiştir.

Lee ve arkadaşları tarafından 2008 yılında geliştirilen Modifiye İkili Parçacık Sürüsü optimizasyonu (MBPSO) ile genotip-fenotip ve genetik algoritma mutasyonu kavramlarını kullanarak ikili problemleri optimize etmek için modifiye BPSO önerildi. Modifiye edilmiş BPSO'nun ana özelliği, sürekli bir PSO olarak kabul edilebilmesidir. Yapılan çalışmadaki deneysel sonuçlar, önerilen BPSO'nun ikili optimizasyon problemlerinin çözümü için mükemmel bir performans sağlama olasılığının yüksek olduğunu göstermiştir [39].

Jin ve arkadaşları 2010 yılında Hibrid İkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (HPSO) algoritmasının mühendislik elektromanyetiğindeki uygulamalarını açıklamıştır. HPSO'da, her aday tasarımı hem gerçek hem de ikili değişkenlerden oluşan hibridize bir vektör ile belirlenir. Bu değişkenler optimizasyonda sırasıyla gerçek sayı PSO (RPSO) ve ikili PSO (BPSO) hız / pozisyon güncelleme formüllerini izleyerek gelişir. Yapılan çalışmada algoritmanın hem tek hem de çok amaçlı uygulamaları test fonksiyonları ile analiz edildiğinde başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir [40].

Bansal ve Deep 2012 yılında Sırt Çantası Sorunları için Değiştirilmiş İkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (MBPSO) geliştirdi. Yapılan çalışmada 0–1 Sırt Çantası Sorunu (KP) ve Çok Boyutlu Sırt Çantası Sorunu (MKP) olmak üzere KP'lerin çözümü için yeni bir MBPSO algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma 10 kıyaslama problemi üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, MBPSO'nun güvenilirlik, maliyet ve çözüm kalitesi açısından BPSO'dan daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamaktadır [41].

Çok amaçlı kaynak tahsisi problemi (MORAP), ürün tahsisi, su kaynağı tahsisi, proje bütçeleme, atölye planlaması, yazılım testi gibi birçok alana uygulanır. Fan ve arkadaşları 2013 yılında MORAP'ın çözümü için modifiye edilmiş bir ikili parçacık sürüsü optimizasyonu (mBPSO) algoritmasını önermişlerdir. Önerilen algoritma ile parçacıkların konum bilgilerini içeren bellek dizisinin ayarlanmasını, transfer fonksiyonunun değiştirilmesini ve kısıtlama doğrulanmasını içeren güncelleme mekanizması geliştirildi. Simülasyon sonuçları mBPSO'nun iyileştirmeler üzerinde etkili performans gösterdiğini kanıtlamaktadır [42].

Pookpant ve Ongsakul, 2013 yılında rüzgar türbinlerinin bir rüzgar çiftliği içine optimum yerleşimini çözmek için zamanla değişen ivme katsayılarına sahip ikili bir parçacık sürü

optimizasyonunu önermişlerdir. Yapılan çalışmadaki amaç, bir rüzgar çiftliği içindeki minimum yatırım maliyetiyle maksimum türbin güç çıkışını elde etmektir [43].

Clarke ve McLeskey 2015 yılında, kuru ampul sıcaklığı ve tuzlu su sıcaklığının herhangi bir kombinasyonu altında ürün tasarım kümesinin hesaplanmasını sağlarken, gerekli gerçek dünya kısıtlamalarını hesaba katarak çok amaçlı parçacık sürüsü optimizasyonunu kullanan gelişmiş bir analiz aracının geliştirilmesini ve kullanımını göstermişlerdir [44].

Jain ve arkadaşları 2017 yılında korelasyon temelli özellik seçimini (CFS) geliştirilmiş İkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (iBPSO) ile entegre eden, kanser sınıflandırması için iki fazlı bir hibrid model önerilmişlerdir. Bu model, tabakalandırılmış 10 kat çapraz doğrulama ile Naive-Bayes sınıflandırıcısı kullanarak ikili ve çok sınıflı kanserlerin biyolojik örneklerini sınıflandırmak için düşük boyutlu bir gen seti seçer. Önerilen iBPSO ayrıca geleneksel BPSO'nun yerel optimumuna erken yakınsama problemini de kontrol eder. Önerilen model, farklı kanser türlerinin 11 karşılaştırmalı veri kümesinde değerlendirilmiştir [45].

Resendiz ve Full-Flores 2013 yılında Mahalanobis-Taguchi Sistemi'nin (MTS) otomotiv pedalı bileşenlerinin üretim sürecinde değişken tespiti için uygulanmasını sunmuşlardır. Değişken seçimine bağlı optimizasyon problemi, ikili parçacık sürüsü optimizasyon algoritmasının uygulanmasıyla çözülmektedir [46].

Yang ve arkadaşları 2014 yılında görev tahsisi problemi için en iyi çözümü elde etmek amacıyla farklı bir transfer fonksiyonu ve mutasyonlu yeni bir pozisyon güncelleme prosedürü uygulayan ikili parçacık sürüsü optimizasyonunun (MBPSO) değiştirilmiş versiyonunu önermişlerdir. MBPSO'daki her parçacık, görev tahsisi için tam bir potansiyel çözümü temsil edecek şekilde kodlanmıştır. Görev, iş yükü ve bağlanabilirlik sorunu için kısıtlayıcı olarak kabul edilerek sağlanır. Görev yürütme süresi, enerji tüketimi ve ağ ömrü dahil olmak üzere çoklu metrikler en iyi genel performansı elde etmek için karma bir uygunluk fonksiyonu tasarlayarak bir bütün olarak kabul edilir. Simülasyon sonuçları, kablosuz sensör ağında (WSN) görev ayırma sorunu için önerilen MBPSO tabanlı yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermektedir. Önerilen MBPSO tabanlı yaklaşım, karşılaştırmalı analizde genetik algoritma ve BPSO'ya dayanan yaklaşımlardan daha iyi performans göstermiştir [47].

Banka ve Dara 2014 yılında genlerin protein yapılarına dönüşüm sürecini gösteren verilerden özellik seçimi ve sınıflandırma işlemi için Hamming mesafe tabanlı (iki değer arası farklı eleman sayısı) ikili PSO algoritmasını sunmuşlardır. Deneysel sonuçlar, önerilen HDBPSO'nun Hamming mesafesini bu problem için yakınlık ölçüsü olarak kullanarak daha iyi performans gösterdiğini doğrulamıştır. Özellik seçiminin temel amacı, minimum sayıda özellik seçmek ve daha yüksek sınıflandırma doğruluğu elde etmektir. Önerilen yöntemin performansları ve mevcut yöntemler, önerilen algoritmanın üstünlüğünü göstermek için karşılaştırılmıştır. Üç yüksek boyutlu karşılaştırmalı kanser veri setindeki deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın uygulanabilirliğini ve

etkinliğini göstermiştir. Orada da sonuçlar stabilite endeksleri tarafından onaylanır. Önerilen HDBPSO algoritması, yalnızca yüksek boyutlu verilerde özellik seçimi ve sınıflandırması için değil, aynı zamanda yüz tanıma veya yüksek boyutlu veri sınıflandırması gibi diğer uygulama alanları için de uygun olduğu kanıtlanmıştır [48].

Çevresel kaygılar ve enerji krizi nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynakları dünya çapında hızla gelişmektedir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili ve belirsiz çıkış gücü olduğundan dağıtım araçlarının büyük ölçekli erişimi, güç kalitesi ve sistem kararlılığı şebeke için birçok zorluğa sebep olmaktadır. Bu sorunu çözmek için mikro şebeke yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikro şebeke; yükler, mikro kaynaklar ve enerji depolama cihazlarından oluşan entegre bir sistem olarak tanımlanır. Li ve arkadaşları 2015 yılında mikro şebekelerin toplam ekonomik maliyetini ve ağ kaybını en aza indirmek için çok amaçlı kaotik BPSO (CBPSO) algoritmasını önermişlerdir. Karşılaştırma işlemi için dört kıyaslama fonksiyonu kullanıldı. Elde edilen sonuçlar, önerilen modelin mikro şebekelerin iyileştirilmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceğini doğrulamıştır [49].

Jiang ve arkadaşları tarafından 2017 yılında parçacıkların hareket mekanizması ve mutasyon süreci için Yeni İkili Hibrid Parçacık Sürüsü Optimizasyonunu (BHPSOWM) önermişlerdir. Bu çalışmalarında ikili elemanlarla çalışmak üzere değiştirme ve dönüştürme işlemi yapmışlardır. GA, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (BPSO), önerilen algoritma olan BHPSOWM ile karşılaştırılmıştır. Üç algoritmanın ikili sürümlerinin performansını karşılaştırmak için bir dizi deney uygulanmıştır. Deney sonuçları, önerilen modelin aynı maliyetler altında ortalama maliyet değeri, standart sapma ve optimum değer açısından daha iyi performans sağladığını göstermiştir [50].

Kimyasal sanayi tesisleri, elektrik enerjisi tedarik ağları, nükleer reaktörler, radyo ve kablosuz istasyonlar gibi istenmeyen tesisler toplum için gerekli olmalarına rağmen çevreleri için tehlikelidir. İstenmeyen tesis yerleşim problemi nedeniyle artan çevresel, sağlık ve sosyal etkiler, araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Lin ve Guan 2017 yılında istenmeyen tesis yerleşim problemlerinden p-medyan problemini çözmek için hibrid ikili parçacık sürüsü optimizasyonunu önermişlerdir. Yapılan çalışmada, yüksek kaliteli çözümlerin iyi yapısını miras almak için yeni bir pozisyon güncelleme kuralı sunuldu. Ayrıca, araştırmayı umut verici bir alana yönlendirmek için iki tabu tabanlı mutasyon operatörü kullanılmıştır. Mümkün olmayan çözümleri onarmak için açgözlü bir onarım prosedürü geliştirilmiştir. Sömürü yeteneğini artırmak için yinelenen açgözlü bir yerel arama prosedürü kullanıldı. Literatürden 72 kriter örneği üzerinde kapsamlı deneyler yapıldı. Deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın kısa ortalama hesaplama süresinde etkin ortalama değeri bulabildiğini göstermiştir [51].

Pashaei ve arkadaşları 2018 yılında gen seçimi için hibrid bir meta sezgisel İkili Kara Delik Algoritması (BBHA) ve İkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (BPSO) modelini geliştirmiştir. Bu

modelde BBHA, BPSO'yu daha etkili hale getirmek ve performansını artırmak için BPSO algoritmasına gömülmüştür. Önerilen yöntemin performansı iki karşılaştırma ölçütü ve üç klinik deneyde değerlendirildi. Deneysel sonuçlar BPSO-BBHA modelinin, klinik veri kümelerinden önemli genleri biyolojik ve istatistiksel olarak başarıyla tanımlayabildiğini göstermektedir [52].

3.2.2. Hibrid Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Yerçekimi Arama Algoritması

PSOGSA, sahip oldukları etkin arama stratejilerinden dolayı gelişmiş keşif ve sömürü yeteneğine sahiptirler. Bu algorithmada, ajanlar gerçek etki alanına sahip konum vektörlerinden dolayı sürekli arama alanı etrafında döner. PSOGSA'nın arama stratejisini ikili arama alanında kullanabilmek için İkili PSOGSA (BPSOGSA) geliştirildi [17].

BPSOGSA'nın ikili arama alanında hareket etmesi için hızın olasılık değerine göre hız ve konum güncellemesi yapılır. Hızın olasılık değerini hesaplamak için transfer fonksiyonu kullanılır. Transfer fonksiyonu Denklem 6'da gösterildiği gibi hıza bağlı olarak elde edilen matematiksel sonucun mutlak değerinin alınmasıyla hesaplanır. Elde edilen sonuçlar ajanların konum vektörlerinin güncellemesinde kullanılır [17].

$$S(v_{i,j}^k(t)) = |\tanh(v_{i,j}^k(t))| \quad (6)$$

Hızın olasılık değeri hesaplandıktan sonra ajanların Denklem 7'de sunulan kuralla göre konum güncellemesi yapılır [17].

$$\begin{cases} \text{eğer } rand < S(v_{i,j}^k(t+1)) \text{ ise } x_{i,j}^k(t+1) = \text{complement}(x_{i,j}^k(t)) \\ \text{değilse} & x_{i,j}^k(t+1) = x_{i,j}^k(t) \end{cases} \quad (7)$$

Çalışmada hız vektörüne global en iyi (*gbest*) eklenmesi keşif aşamasını zayıflatmıştır. Çünkü bu durum kalıcı bir hız güncellemesi unsuru oluşturur. Bu sorunu çözmek için c'_1 ve c'_2 için uyarlanabilir değerleri Denklem 8 ve 9'daki gibi kullanılır [17].

$$c'_1 = -2 \frac{t^3}{T^3} + 2 \quad (8)$$

$$c'_2 = 2 \frac{t^3}{T^3} + 2 \quad (9)$$

Burada t , geçerli yinelemeyi gösterir ve T , maksimum yineleme sayısıdır. Algoritma sömürü aşamasına ulaştıkça kütlelerin en iyi çözüme doğru hızlanma eğilimi göstermesi için c'_1 uyarlamalı olarak azaltılır ve c'_2 artırılır. Evrimsel algorithmada keşif ve sömürü aşamaları arasında açık bir sınır olmadığından, uyarlanabilir yöntem, bir algoritmanın bu iki faz arasında kademeli olarak geçişine izin vermek için en iyi seçeneklerden biridir.

3.2.2.1 BPSOGSA Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Mahalanobis-Taguchi Sistemi (MTS), veri sınıflandırması için kullanılan bir örüntü tanıma yöntemidir. Reséndiz-Flores ve arkadaşları 2019 yılında MTS için parçacık sürü optimizasyonu ve

yer çekimsel arama algoritmasına (BPSOGSA) dayanan hibrid bir ikili meta sezginin birleşimini sundular. Önerilen algoritma otomotiv endüstrisinde gerçek bir köpük enjeksiyon işleminde ilgili değişkenleri tespit etmek için en uygun özellik seçiminde kullanılmıştır. Çalışmada BPSOGSA, ikili PSO algoritmasına dayanan özellik seçim yaklaşımlarıyla karşılaştırıldı. Deneysel sonuçlar, BPSOGSA'nın BPSO'dan daha küçük bir özellik alt kümesi seçerek daha hızlı ve başarılı bir şekilde birleştiğini ortaya koymuştur [53].

3.2.3. İkili Gri Kurt Optimizasyonu

İkili Gri Kurt Optimizasyonu (BGWO), sürekli optimizasyon problemlerinin çözümü için tasarlanan Gri Kurt Optimizasyonunun (GWO) ikili optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılması için geliştirildi. Emary ve ark. [54] özellik seçim problemlerini çözmek için iki yeni ikili gri kurt optimizasyonu (BGWO1 ve BGWO2) önermişlerdir [55].

3.2.3.1 İkili Gri Kurt Optimizasyonu Model 1

İlk yaklaşım için BGWO1, kurt pozisyonunu Denklem 10'daki gibi güncellemek için geçiş operatörünü kullanır [54,55]:

$$X(t + 1) = Crossover(Y_1, Y_2, Y_3) \quad (10)$$

Burada $Crossover(Y_1, Y_2, Y_3)$, çözümler arasındaki geçiş işlemidir ve Y_1 , Y_2 ve Y_3 sırasıyla alfa, beta ve delta kurtlarının hareketinden etkilenen ikili vektörlerdir. BGWO1'de, Y_1 , Y_2 ve Y_3 sırasıyla Denklem 11, 14 ve 17 kullanılarak tanımlanır.

$$Y_1^d = \begin{cases} 1, & (X_\alpha^d + bstep_\alpha^d) \geq 1 \\ 0 & \end{cases} \quad (11)$$

Burada X_α^d alfa pozisyonudur, d arama alanının boyutudur ve $bstep_\alpha^d$ Denklem 12'deki gibi ifade edilebilen ikili adımı temsil eder.

$$bstep_\alpha^d = \begin{cases} 1, & cstep_\alpha^d \geq r_3 \\ 0 & \end{cases} \quad (12)$$

Buradaki r_3 , $[0, 1]$ 'de rastgele bir vektördür ve $cstep_\alpha^d$, Denklem 13'de olduğu gibi hesaplanabilen sürekli değerli adım boyutunu belirtir.

$$cstep_\alpha^d = \frac{1}{1 + \exp(-10(A_1^d D_\alpha^d - 0.5))} \quad (13)$$

Burada A_1^d ve D_α^d , GWO'ya ait denklemler ile belirlenir.

$$Y_2^d = \begin{cases} 1, & (X_\beta^d + bstep_\beta^d) \geq 1 \\ 0 & \end{cases} \quad (14)$$

Burada X_β^d beta konumudur, d arama alanının boyutudur ve $bstep_\beta^d$ Denklem 15'deki gibi ifade edilebilen ikili adımı temsil eder.

$$bstep_\beta^d = \begin{cases} 1, & cstep_\beta^d \geq r_4 \\ 0 & \end{cases} \quad (15)$$

Burada r_4 , $[0, 1]$ 'de rastgele bir vektördür ve $cstep_\beta^d$, Denklem 16'da olduğu gibi hesaplanabilen sürekli değerli adım boyutunu belirtir.

$$cstep_\beta^d = \frac{1}{1 + \exp(-10(A_1^d \cdot D_\beta^d - 0.5))} \quad (16)$$

Burada A_1^d ve D_β^d , GWO'ya ait denklemler ile belirlenir.

$$Y_3^d = \begin{cases} 1, & (X_\delta^d + bstep_\delta^d) \geq 1 \\ 0 \end{cases} \quad (17)$$

Burada X_δ^d beta konumudur, d arama alanının boyutudur ve $bstep_\delta^d$ şu şekilde ifade edilebilen ikili adımı temsil eder.

$$bstep_\delta^d = \begin{cases} 1, & cstep_\delta^d \geq r_5 \\ 0 \end{cases} \quad (18)$$

Burada r_5 , $[0, 1]$ 'de rastgele bir vektördür ve $cstep_\delta^d$, Denklem 19'da olduğu gibi hesaplanabilen sürekli değerli adım boyutunu belirtir.

$$cstep_\delta^d = \frac{1}{1 + \exp(-10(A_1^d \cdot D_\delta^d - 0.5))} \quad (19)$$

Burada A_1^d ve D_δ^d , GWO'ya ait denklemler ile belirlenir. Y_1 , Y_2 ve Y_3 elde edildikten sonra, kurdun yeni pozisyonu Denklem 20'deki gibi çaprazlama işlemi kullanılarak güncellenir.

$$X^d(t+1) = \begin{cases} Y_1^d, & r_6 < \frac{1}{3} \\ Y_2^d, & \frac{1}{3} \leq r_6 \leq \frac{2}{3} \\ Y_3^d \end{cases} \quad (20)$$

Burada d , arama alanının boyutu ve r_6 , $[0, 1]$ arasında eşit olarak dağıtılmış rastgele bir sayıdır.

Başlangıçta, gri kurt popülasyonu rastgele başlatılır (bit 1 veya 0). Daha sonra, her kurdun zindeliği değerlendirilir. En iyi, ikinci en iyi ve üçüncü en iyi çözümler alfa, beta ve delta olarak tanımlanır. Her kurt için, Y_1 , Y_2 ve Y_3 sırasıyla Denklem 11, 14 ve 17 kullanılarak hesaplanır. Daha sonra, kurt pozisyonu Y_1 , Y_2 ve Y_3 arasındaki geçit uygulanarak güncellenir. Daha sonra, her kurdun zindeliği değerlendirilir. Yinelemeli olarak alfa, beta ve delta konumları güncellenir. Algoritma, sonlandırılan kriter karşılanana kadar tekrarlanır. Sonunda, alfa çözümü en uygun özellik olarak seçilir.

3.2.3.2 İkili Gri Kurt Optimizasyonu Model 2 (BGWO2)

Bu yaklaşımda sadece güncellenmiş gri kurt pozisyon vektörü ikili olmaya zorlanır ve Denklem 21'de gösterildiği gibi ana güncelleme denklemini kullanır [54]:

$$X^d(t+1) = \begin{cases} 1, & S\left(\frac{X_1^d + X_2^d + X_3^d}{3}\right) \geq r_7 \\ 0 \end{cases} \quad (21)$$

Burada r_7 , $[0, 1]$ 'de rastgele bir vektördür. d , arama alanının boyutudur. S , transfer fonksiyonudur ve şu şekilde ifade edilebilir [55]:

$$S(x) = \frac{1}{1+\exp(-10(x-0.5))} \quad (22)$$

3.2.3.3 BGWO Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Birim taahhüt problemi (Unit Commitment - UC), güç sistemi üretim varlıklarının operasyonel planlamasını içeren karmaşık büyük ölçekli, sıkı bağlı ve kısıtlı optimizasyon problemine aittir. Panwar ve arkadaşları 2017 yılında, birim taahhüt problemini çözmek için sezgisel ikili yaklaşım olan BGWO'yu önermişlerdir. Bu yaklaşım gri kurtların hiyerarşik ve avlanma ilkelerini taklit eder. UC problemini çözmek için BGWO'nun iki modeli sunulmuştur. İlk yaklaşım, kurt güncelleme işleminin global en iyi çözümlere doğru önceden ikilileştirilmesini ve ardından geçiş operasyonunu içerir. İkinci yaklaşım, kurtların global en iyi çözümlere doğru sürekli değerli güncellemesini ve ardından sigmoid dönüşümünü tahmin eder [56].

Özellik seçimi, performans geliştirme ve özellik azaltmaya katkıda bulunan en bilgilendirici özellikleri değerlendirmek için etkili bir yoldur. Kas ve sinir değerlerinin ölçümünde kullanılan Elektromiyografi (EMG) sinyalinin çıkarılan özellikler normalde alakasız ve gereksiz özelliklerden oluşabilir. Too ve arkadaşları 2018 yılında EMG sinyalleri sınıflandırmasında özellik seçim problemini çözmek için yeni bir rekabetçi ikili gri kurt optimize edici (CBGWO) yaklaşımını önermişlerdir. Bu yöntemle kısa süreli Fourier dönüşümü (short-time Fourier transform - STFT), EMG sinyalini zaman-frekans gösterimine dönüştürür. STFT katsayısından zaman frekansı özelliği çıkarılır. Ardından önerilen yöntem, orijinal özellik kümesinden en iyi özellik alt kümesini değerlendirmek için kullanılır. Deneysel sonuçlar, CBGWO'nun sadece sınıflandırma performansında değil, aynı zamanda özelliklerin azaltılmasında üstünlüğünü göstermektedir. Buna ek olarak, CBGWO'nun gerçek dünya uygulaması için daha uygun olan çok düşük bir hesaplama maliyeti olduğu belirlenmiştir [55].

Panwar ve arkadaşları 2018 yılında yaptığı çalışmada elektrik üretim şirketlerinin kar tabanlı birim taahhüt problemini (Profit Based Unit Commitment - PBUC) çözmek için üç BGWO modelini sunmuşlardır. Önerilen modellerin PBUC probleminin çözüm kalitesini iyileştirmedeki etkinliği 3 ünite ve 10 ünite olmak üzere iki test sistemi kullanılarak incelenmiştir. Simülasyon sonuçları ve istatistiksel analizler, BGWO'nun PBUC problemindeki kar ve uygunluk değerini iyileştirmedeki önemini göstermiştir [57].

Saldırı Tespit Sistemi (Intrusion Detection System - IDS), bilgisayar korsanları tarafından kötü niyetli aktivite veya güvenlik politikası ihlali yapmaya çalışıldığında ağ izler, olayı otomatik olarak algılar ve ağ yöneticisine bildirir. Velliangiri, 2019 yılında çekirdek ana bileşen analizini (Kernel Principal Component Analysis - KPCA) ve ikili gri kurt optimizasyonunu (BGWO) destek

vektör makinesi (Support Vector Machine - SVM) ile birleştirerek hibrid saldırı tespit modeli geliştirdi. Önerilen hibrit yöntemle sınıflandırıcının hassasiyetini arttırarak test ve eğitim süresini azaltılmıştır [58].

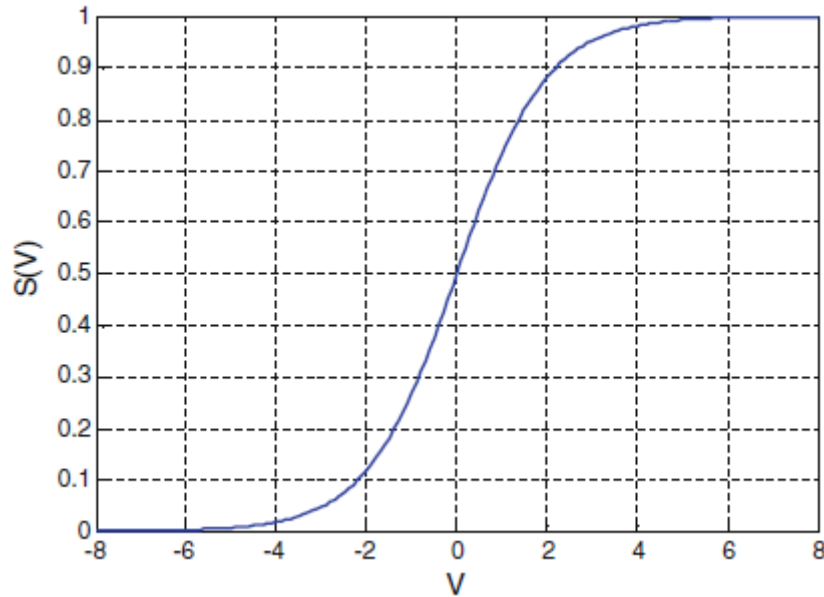
3.2.4. İkili Yarasa Algoritması

Yarasa Algoritması (BA), yarasaların avlarını bulma konusundaki yeteneklerinden esinlenerek geliştirilen bir algoritmadır. BA'nın ikili versiyonunda hız pozisyon güncellemesi yapılır. Yarasalar, gerçek alan içindeki konum ve hız değerlerine göre arama alanı etrafında hareket eder [23].

İkili bir alanda, yalnızca iki sayı ("0" ve "1") ele alındığı için konum güncelleme işleminin yapılması gerekir. Ajanların hız değerlerine bağlı olarak konumlarının güncellenmesi için Denklem 23'de olduğu gibi transfer fonksiyonları kullanılmalıdır. Bu şekilde ajanlar, ikili bir alanda hareket etmeye zorlanır. Transfer fonksiyonunun grafiği Şekil 3.4'de gösterilmiştir [23].

$$S(v_i^k(t)) = \frac{1}{1 + e^{-v_i^k(t)}} \quad (23)$$

Burada $v_i^k(t)$, t tekrarında ve k . boyutundaki i parçacığının hızıdır.



Şekil 3.4. Sigmoid transfer fonksiyonu [23].

Transfer fonksiyonları kullanarak olasılıkları hesapladıktan sonra, parçacıkların pozisyonunu Denklem 24'deki gibi güncellemek için yeni bir pozisyon güncelleme denklemi gereklidir [23]:

$$x_i^k(t+1) = \begin{cases} 0, rand < S(v_i^k(t+1)) \\ 1, rand \geq S(v_i^k(t+1)) \end{cases} \quad (24)$$

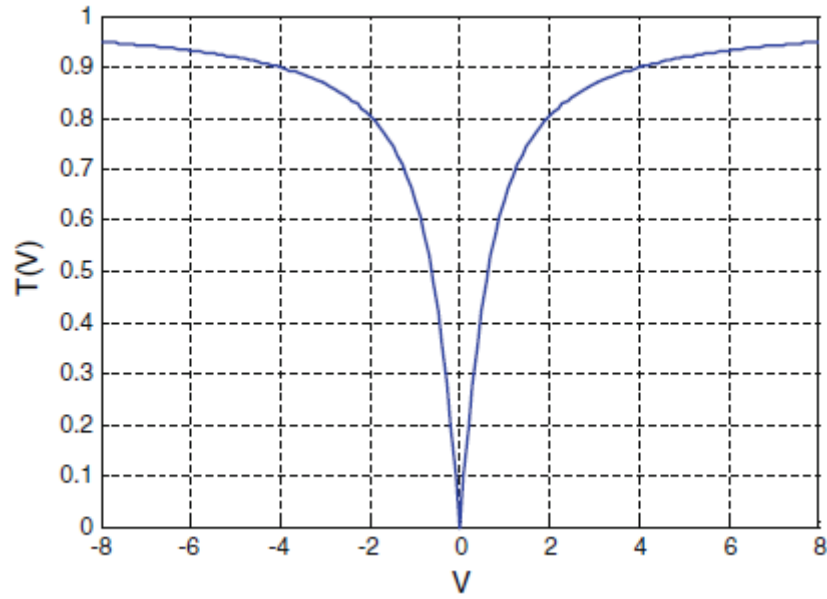
Burada $x_i^k(t)$ ve $v_i^k(t)$, i . parçacığın t 'deki konumunun hızını k . boyutunda gösterir.

Bu yöntemin bir dezavantajı vardır. Çünkü parçacıklar 0 veya 1 değerlerini almaya zorlanmaktadır. Böylece, hız değerleri arttığında parçacıklar pozisyonlarında değişmeden kalır. Bununla birlikte, bir transfer fonksiyonu tasarlamak için yukarıda belirtilen kavramlara göre konumlarını değiştirmek için yüksek hızlı parçacıkları zorunlu kılmaktır. Denklem 25'de yer alan transfer fonksiyonu hesaplanarak Denklem 26'ya göre konum güncellemesi yapılmaktadır. Önerilen V-şekilli transfer fonksiyonuna ait grafik Şekil 3.5'de gösterilmektedir [23].

$$V(v_i^k(t)) = \left| \frac{2}{\pi} \arctan\left(\frac{\pi}{2} v_i^k(t)\right) \right| \quad (25)$$

$$x_i^k(t+1) = \begin{cases} (x_i^k(t))^{-1}, & rand < V(v_i^k(t+1)) \\ x_i^k(t), & rand \geq V(v_i^k(t+1)) \end{cases} \quad (26)$$

Burada $x_i^k(t)$ ve $v_i^k(t)$, i . parçacığının iterasyon t 'deki k . boyutundaki konumunu ve hızını gösterir ve $(x_i^k(t))^{-1}$, $x_i^k(t)$ 'nin tamamlayıcısıdır.



Şekil 3.5. Önerilen V-şekilli transfer fonksiyonu [23]

3.2.4.1 BBA Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Analog test noktası seçimi problemi, analog devrenin arıza teşhisinde ve oluşan hataları izole etmek için minimum test noktalarının verimli bir şekilde bulunmasında kullanılır. Zhao ve He, 2015 yılında analog test noktası seçimi probleminde kullanmak amacıyla kaotik haritalı BBA'yı (CBBA) önermişlerdir. İstatistiksel sonuçlar, algoritmanın optimum test noktası setleri üzerinde yüksek verimlilik ve doğruluk değerini elde ederek gerçek devrelere uygulanabileceğini kanıtlamıştır [59].

Huang ve arkadaşları 2017 yılında BBA'yı geliştirerek yeni bir algoritma sunmuşlardır. Önerilen algoritma, 13 kıyaslama fonksiyonu ve 3 sırt çantası problemi üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar BBA ve BPSO'nun sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın BBA ve BPSO'ya göre daha iyi performans verdiğini göstermiştir [60].

Yapısal topoloji optimizasyon yöntemleri, inşaat ve makine mühendisliği gibi alanlarda boşlukların en iyi sayısı, konumu ve boyutunun yanı sıra tasarım alanının en iyi bağlanabilmesini belirlemek için kullanılır. Jaafer ve arkadaşları 2020 yılında yapısal optimizasyon problemlerinin çözümünde yeni bir filtreleme algoritmasıyla birlikte BBA'yı kullanmışlardır. Önerilen algoritma dama tahtası desenleri üzerinde kullanılmıştır. Elde edilen istatistiksel veriler, önerilen algoritmanın yapısal optimizasyon problemlerinin çözümünde etkili olduğunu kanıtlamıştır. Deneysel sonuçlar, algoritmanın gri alanlar içermeyen katı boşluklu tasarımlar üretmesiyle imalat üzerinde uygulanabilir çözümler elde ettiğini göstermiştir [61].

3.2.5. İkili Yusufçuk Algoritması

İkili bir optimizasyon probleminde, bir kişi konum vektörünün bir veya daha fazla bitini değiştirerek konumunu bir konumdan diğerine değiştirebilir ($x = \{x_1, x_2, \dots, x_d\}$). Orijinal DA sürekli optimizasyon problemlerini ele almak için tasarlandığından, bireyin pozisyonu mevcut vektör adım vektörüne eklenerek güncellenir. Ancak bu mekanizma, özellik seçimi gibi bir ikili optimizasyon problemi ele almak için kullanılamaz [62].

Transfer fonksiyonları, mevcut iterasyonda (t), d . boyutunda i . arama maddesinin adım vektörünün (hız) değerine dayanarak bir konumun elemanlarını 0 veya 1 olarak değiştirme olasılığını üretmek için kullanılır. Denklem 27'de, sürekli konumların ikili olarak değiştirilme olasılığını hesaplamak için kullanılmıştır [62].

$$T(v_d^i(t)) = \left| v_d^i(t) / \sqrt{1 + (v_d^i(t))^2} \right| \quad (27)$$

Denklem 27'den elde edilen $T(v_d^i(t))$ sonucu daha sonra Denklem 28'e göre pozisyon vektörünün i . elemanını 0 veya 1'e dönüştürmek için kullanılır [62].

$$X(t+1) = \begin{cases} (X_t)^{-1} & r < T(v_k^i(t)) \\ X_t & r \geq T(v_k^i(t)) \end{cases} \quad (28)$$

Burada r , $[0,1]$ aralığında rastgele bir sayıdır.

Adım vektörü, mevcut bireyin momentumunu gösterir ve hareketin büyüklüğünü tanımlar. Düşük adım vektör değeri, bireyin en iyi çözüme çok yakın olduğunu ve daha küçük adımlarla (sömürü) hareket etmesi gerektiğini gösterir. Buna karşılık, adım vektör değeri büyükse, arama maddesi şimdiye kadarki en iyi çözümden uzaktır ve ani değişiklikler gerektirir. Bir bireyin konum değiştirme olasılığını hesaplamak için kullanılan transfer fonksiyonları araştırma ve kullanım

arasındaki dengeyi önemli ölçüde etkiler. Transfer fonksiyonu değişmezse, optimizasyon işlemi boyunca olasılık aynı şekilde hesaplanacaktır. Transfer fonksiyonlarının değiştirilmesi, arama vektörünü keşfetmek ve kullanmak için adım vektörünün konum güncellemeleri üzerindeki etkisinden yararlanma potansiyeline sahiptir [62].

3.2.5.1 BDA Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

Arama ve kurtarma çalışmalarında kullanılmak üzere işbirliğiyle çalışan sürü robotlar kullanılmaktadır. Abuomar ve Al-Aubidy 2018 yılında, bu robotların hedef bulma konusundaki başarısını arttırmak için BDA kullanarak yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada ikili yusufçuk algoritması, robotların engellerden kaçınma ve iletişim kısıtlaması özellikleri dikkate alınarak değiştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın fonksiyonlarını ve performansını test etmek için sanal bir ortam olarak çoklu robot simülatörü kullanılmıştır. Robotik yusufçuk algoritmasının performansı, literatürde yer alan arama ve kurtarma algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen algoritmanın diğer algoritmalara göre daha kısa sürede hedefe ulaştığını göstermiştir [63].

Mirjalili ve arkadaşları 2018 yılında, arama alanını keşfetmedeki etkisini güçlendirmek için BDA ile zamana bağlı transfer fonksiyonları kullanarak yeni bir algoritma önermişlerdir. Çalışmada, iki transfer fonksiyonu ailesinden (S-şekilli ve V-şekilli fonksiyonlar) sekiz transfer fonksiyonu BDA'ya entegre edilmiş ve on sekiz karşılaştırma veri seti kullanılarak değerlendirilmiştir. Önerilen algoritma, literatürde yer alan ikili optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın diğer algoritmalara göre üstün performans gösterdiğini kanıtlamıştır [62].

Dalga boyu seçimi, yakın kızılötesi (NIR) spektroskopi analizi ve modellemesinde önemli bir ön işleme konusudur. Sürü optimizasyonu algoritmaları (genetik algoritma, yarasalar algoritması vb.) en etkili dalga boylarını seçmek için başarıyla uygulanmıştır. Bununla birlikte bu algoritmaların, her bir optimizasyonun seçilen dalga boylarının farklı olduğu anlamına gelen sağlam olamama sorunu bulunmaktadır. Bu sorunu çözmek için, Chen ve Wang 2019 yılında ikili yusufçuk algoritmasına dayanan, üç tipik çerçeve içeren yeni bir dalga boyu seçim yöntemi önermişlerdir: tekli BDA, çoklu BDA, topluluk tabanlı öğrenme BDA ayarları. Önerilen yöntemler NIR spektroskopisi veri seti üzerinde GA ve BBA ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, çoklu BDA ve topluluk tabanlı öğrenme BDA yöntemlerinin tekli BDA, GA ve BBA algoritmalarına göre daha iyi performans gösterdiğini kanıtlamıştır [64].

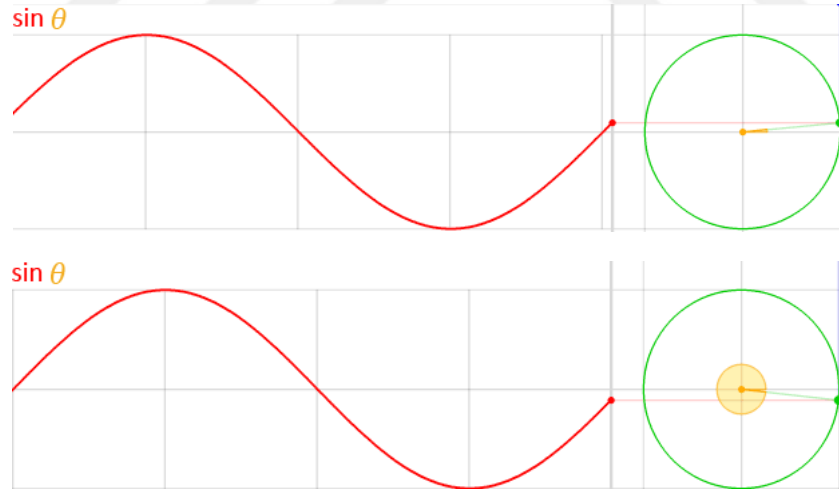
Bebek ağlama sinyali, bir bebeğin ağlama nedeni veya patolojik durumu hakkında çeşitli düzeylerde bilgi elde ederek erken tanı yöntemlerinde kullanılır. Hariharan ve arkadaşları 2018 yılında, farklı tiplerde bebek ağlaması sinyallerinin sınıflandırılması için dalgacık paketi tabanlı özelliklerin ve BDA tabanlı özellik seçim yönteminin kombinasyonunu önermişlerdir. Önerilen

algoritma bebek ağılama sinyallerinden oluşan iki veri tabanı üzerinde uygulanmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen özellik çıkarma ve seçim yöntemi kombinasyonunun uygun sınıflandırma doğruluğu sunduğunu ve ağılama sinyallerindeki ince değişiklikleri tespit etmek için kullanılabileceğini göstermiştir [65].

3.3. Altın Sinüs Algoritması (Gold-SA)

Gold-SA, popülasyona dayalı yeni bir arama algoritması olarak geliştirilmiştir. Bu matematik tabanlı algoritma, trigonometrik bir fonksiyon olan sinüsten esinlenmiştir. Algoritmada, her boyut için tek tip dağılıma sahip arama ajanlarının sayısı kadar rastgele bireyler oluşturulur. Gold-SA operatörü, mevcut durumu hedef değere yaklaştırmaya çalışarak her yinelemede daha iyi bir çözüme ulaşmak için arama yapar. Çözüm alanı, tüm çözüm alanı taraması yerine yalnızca iyi sonuç vermesi beklenen alanların taranması için altın bölüm ile daraltılır [66, 67].

Sinüs, merkezi orijin olan 1 birim yarıçaplı bir daire üzerindeki bir noktanın y eksenine göre koordinatıdır. Orijinden çizilen bir doğrunun y eksenine ile yaptığı açı veya aynı açıya sahip bir ortogonal üçgen, bu açının karşısındaki kenarın hipotenüs bölümü ile hesaplanır. Fonksiyonun tanım aralığı $[-1, 1]$ 'dir. Sinüs fonksiyonu, değerleri düzenli aralıklarla tekrar eden periyodik bir fonksiyondur. Sinüs fonksiyonunun periyodu 2π 'dir ve tüm sinüs değerlerine sahip tüm birim çember Şekil 3.6'da gösterildiği gibi taranabilir [66,67].



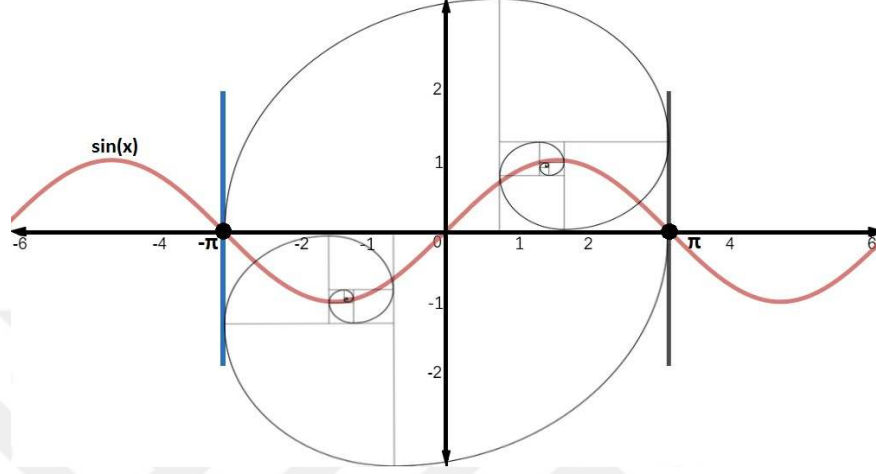
Şekil 3.6. Birim çemberde sinüs periyodunun değişimi [66,67]

Sinüs fonksiyonunun tüm değerlerinin birim çemberinin taranması, optimizasyon problemlerinde arama uzayının aranmasına benzer. Bu benzerlik Gold-SA'nın gelişimine ilham vermiştir [66, 67].

Şekil 3.7'de gösterilen algoritmada kullanılan operatör Denklem 29'da gösterilmiştir [66,67].

$$V(i, j) = V(i, j * |\sin(r_1)| - r_2 * \sin(r_1) * |x_{1*D(j)} - x_2 * V(i, j)|) \quad (29)$$

$V(i, j)$, i . boyuttaki mevcut çözümün değeridir. D belirlenen hedef değerdir. r_1 , $[0, 2\pi]$ aralığında rastgele bir sayıdır. r_2 , $[0, \pi]$ aralığında rastgele bir sayıdır. x_1 ve x_2 altın kesit yöntemiyle elde edilen katsayılardır. Bu katsayılar arama uzayını daraltır ve mevcut değerin hedef değere yaklaşmasını sağlar.



Şekil 3.7. Altın Sinüs Algoritması [66, 67]

Diğer popülasyon tabanlı algoritmelerde olduğu gibi, Gold-SA da rastgele oluşturulmuş bir popülasyonla başlar. Popülasyon tabanlı algoritmalar için başlangıç popülasyonunun iyi seçilmesi çok önemlidir. Denklem 30'da gösterildiği gibi, Gold-SA başlangıç popülasyonu, her boyut için rasgele bir üniform dağılım oluşturarak arama uzayını daha iyi taramayı amaçlar [66,67].

$$V = rand(a_{jan_{no}}, boyut) * (\text{üst sınır} - \text{alt sınır}) + \text{alt sınır} \quad (30)$$

Meta sezgisel yöntemlerin temel amacı, arama uzayının en iyi olduğu düşünülen alanları keşfetmek ve bu alanların mümkün olduğunca eksiksiz taranmasını sağlamaktır. Geniş bir arama alanı yelpazesi, problemlerin çözümü için büyük bir problemdir. Problem çözmede arama uzayını daraltmanın etkisi sonuçları önemli ölçüde etkilemektedir. Gold-SA, bu işlemi mümkün olan en iyi şekilde yapmak için altın kesit yöntemini kullanır [66, 67].

Altın kesit arama, tek bir tek modlu fonksiyonun maksimum veya minimum değerini bulmak için kullanılabilen bir optimizasyon tekniğidir. Adı altın orandan geliyor. Altın oran, matematik ve sanatta bir bütünün parçaları arasında gözlenen, uyum açısından en doğru boyutları verdiği inanan geometrik ve sayısal oran birlikteliğidir [66,67].

Eğer p ile q arasında altın oran var ise;

$$\frac{p+q}{p} = \frac{p}{q} = \tau \quad (31)$$

Denklem 31'e göre Denklem 32 ve Denklem 33 yazılabilir.

$$1 + \frac{q}{p} = \tau \quad (32)$$

$$1 + \frac{1}{\tau} = \tau \quad (33)$$

İkinci dereceden denklem çözümünden Denklem 34 elde edilir.

$$\tau = \frac{1-\sqrt{5}}{2} = 0.618033 \dots \text{ (pozitif kök)} \quad (34)$$

τ , estetikte bir önemi olan altın sayı olarak adlandırılır (örneğin, Mısır piramitleri). Altın kesit yöntemi, gradyan bilgisi gerektirmez. Bu yöntemin diğerlerine göre iki önemli avantajı vardır [67]:

- a) Her adımda yalnızca bir yeni fonksiyon değerlendirmesi gereklidir.
- b) Her adımda sabit bir indirgeme faktörü vardır.

Adım 1: $a, b, tolerans, \tau$ değerlerini al

Adım 2: Hesapla

$$x_1 = a * (1 - \tau) + b * \tau$$

$$x_2 = a * \tau + b * (1 - \tau)$$

Adım 3: **Eğer** $f(x_1) > f(x_2)$ **ise**

$$a = x_1, x_1 = x_2$$

$$x_2 = a * \tau + b * (1 - \tau)$$

Değilse $a = x_2, x_2 = x_1,$

$$x_1 = a * (1 - \tau) + b * \tau$$

Adım 4: $|f(x_1) - f(x_2)| < tolerans$ oluncaya dek Adım 3'ü tekrarla

Adım 5: Yakınsadı. $x^* = \alpha_1, f(x^*) = f(\alpha_1)$ yazdır

Şekil 3.8. Altın kesit yönteminin $[a, b]$ aralığındaki sözde kodu [66,67]

Şekil 3.8'e göre Gold-SA'da a ve b için başlangıç temerrüt değerleri sırasıyla $-\pi$ ve π olarak kabul edilir. Bu iki katsayı, ilk yinelemede mevcut ve hedef değerlere uygulanır. Daha sonra x_1 ve x_2 katsayıları, hedef değer değiştikçe güncellenir. Gold-SA'da altın kesit yönteminin kullanımı Şekil 3.9'da gösterilmektedir [66,67].

Adım 1: **Eğer** mevcut değer $<$ hedef değer **ise**

$$b = x_2, x_2 = x_1$$

$$x_1 = a * \tau + b * (1 - \tau)$$

Değilse $a = x_1, x_1 = x_2$

$$x_2 = a * (1 - \tau) + b * \tau$$

Adım 2: **Eğer** $x_1 == x_2$ **ise**

$$a = random1, b = random2$$

$$x_1 = a * \tau + b * (1 - \tau)$$

$$x_2 = a * (1 - \tau) + b * \tau$$

Şekil 3.9. Altın kesit yönteminin Gold-SA'da kullanılması [66,67]

x_1 ve x_2 'nin eşitliği istenmiyorsa, bu durumdan kaçınmak için Şekil 3.9 Adım 2'de gösterildiği gibi eşitlik kontrolü yapılır. İki değer birbirine eşitse, $[0, \pi]$ aralığında $random1$ sayısı ve $[0, -\pi]$ aralığında $random2$ sayısı oluşturulur. x_1 ve x_2 değerleri yeniden hesaplanır. Gold-SA sözde kodu Şekil 3.10'da gösterilmiştir [66,67].

```

1. Başlangıç popülasyonunu her boyut için arama ajanı sayısı kadar düzgün
dağılıma bağlı olarak rastgele oluştur
2. Arama ajanlarının uygunluğunu hesapla
3. En iyi arama ajanını bul ve hedef değer olarak ata
4. while maksimum iterasyon sayısı
5.     for arama ajanı sayısı
6.          $r \leftarrow rand(0,1)$ 
7.          $r1 \leftarrow 2\pi * r$ 
8.          $r2 \leftarrow \pi * r$ 
9.         for boyut sayısı
10.             $V(i, j) \leftarrow V(i, j) * |\sin(r1)| - p * \sin(r1) * |x1 * D(j) - x2 * V(i, j)|$ 
11.        end for
12.    end for
13. En iyi çözümü (arama ajanı) bul ve  $D(j)'$  ye hedef değer olarak ata
14.    if  $V(i, j) < D(j)$  then
15.         $b \leftarrow x2, x2 \leftarrow x1$ 
16.         $x1 \leftarrow a * \tau + b * (1 - \tau)$ 
17.    else  $a \leftarrow x1, x1 \leftarrow x2$ 
18.         $x2 \leftarrow a * (1 - \tau) + b * \tau$ 
19.    if  $x1 == x2$ 
20.        then  $a \leftarrow rand(0, \pi), b \leftarrow rand(0, -\pi)$ 
21.         $x1 \leftarrow a * \tau + b * (1 - \tau)$ 
22.         $x2 \leftarrow a * (1 - \tau) + b * \tau$ 
23.    end while
24. return en iyi çözüm kümesi ve elde edilen global optimum sonuç

```

Şekil 3.10. Altın Sinüs Algoritması'nın sözde kodu [66, 67]

4. Yeni Bir İkili Altın Sinüs Arama Algoritması

İkili optimizasyon problemlerinin karar değişkenleri “0” ve “1” değerlerini almaktadır. Bu değerlerin çeşitli problemler üzerinde 0 için “hayır”, “olumsuz”, “negatif”, 1 için “evet”, “olumlu”, “pozitif” gibi anlamları olmaktadır. İkili optimizasyon problemlerini çözmeye kullanılmak üzere geliştirilen algoritmalar özellik seçimlerinde, sırt çantası ve birim yükleme gibi problemlerde, mühendislik tasarım problemlerinde, kısıtlı ve kısıtsız problemlerde kullanılabilir. Ancak geliştirilen algoritmalar belirtilen problemlerin tamamında etkin sonuç verdiği söylenememektedir. Bu nedenle sürekli yeni algoritmalar geliştirilerek problemlerin çözümündeki etkililiğin artırılması hedeflenmektedir.

Geliştirilen optimizasyon algoritmaları problemlerde etkili sonuçlar verse de boyut arttığında bu algoritmaların hesaplama maliyeti açısından etkisinin azaldığı görülebilmektedir. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için etkili algoritmalarından ikili optimizasyon algoritmaları geliştirilmiştir.

Bu bölümde Gold-SA’nın etkin arama stratejisini ikili optimizasyon problemlerini çözmeye kullanmak amacıyla bGold-SA adında yeni bir algoritma önerilmiştir. Bu algoritmanın arama uzayı “0” ve “1” olacağından dolayı hız ve pozisyon güncellemesinin yapılması gerekir. Arama ajanları için popülasyon konumları belli olduktan sonra Denklem 35 kullanılarak konumlarının “0” veya “1” olması sağlanır.

$$x_i^k(t+1) = \begin{cases} 0, & rand \leq 0.5 \\ 1, & rand > 0.5 \end{cases} \quad (35)$$

Denklem 35 sayesinde giriş popülasyon değerleri ne olursa olsun konumlarının “0” veya “1” olmasına zorlanmış olacaktır. Burada her i . popülasyonun t ’deki konumu 0.5 değeri ile kıyaslanarak güncelleme yapılır. Eğer konum değeri 0.5 değerinden büyük ise 1, değil ise 0 olarak güncellenir.

Popülasyonların giriş konum değerlerinin güncellenmesi tek başına yeterli olmayacaktır. Denklem 29’a göre hız değerleri hesaplandıktan sonra transfer fonksiyonları kullanılarak konumun $[0,1]$ aralığına güncelleme işlemi yapılması gerekir. Konum güncellemesinde kullanmak için V şekilli transfer fonksiyonlarından V4 fonksiyonu Denklem 36’daki gibi uygulanır.

$$T(v_i^k(t)) = \left| \frac{2}{\pi} \arctan\left(\frac{\pi}{2} v_i^k(t)\right) \right| \quad (36)$$

Hız denklemi sonucuna bağlı olarak transfer fonksiyonu hesaplandıktan sonra konum değerinin $[0,1]$ aralığına güncellenmesi için Denklem 37 kullanılır.

$$x_i^k(t+1) = \begin{cases} (x_i^k(t))^{-1}, & rand < T(v_i^k(t+1)) \\ x_i^k(t), & rand \geq T(v_i^k(t+1)) \end{cases} \quad (37)$$

bGold-SA’nın problemlerin çözümünü gerçekleştirirken kullanılan tüm adımlara ait sözde kodu Şekil 4.1’de gösterilmektedir.

```

1. Başlangıç popülasyonunu her boyut için arama ajanı sayısı kadar düzgün
dağılıma bağlı olarak rastgele oluştur
2. Başlangıç pozisyonunu Denklem 35 gibi ikili değerlere dönüştür.
3. Arama ajanlarının uygunluğunu hesapla
4. En iyi arama ajanını bul ve hedef değer olarak ata
5. while maksimum iterasyon sayısı
6.     for arama ajanı sayısı
7.          $r \leftarrow \text{rand}(0,1)$ 
8.          $r1 \leftarrow 2\pi * r$ 
9.          $r2 \leftarrow \pi * r$ 
10.        for boyut sayısı
11.             $V(i, j) \leftarrow V(i, j) * |\sin(r1)| - p * \sin(r1) * |x1 * D(j) - x2 * V(i, j)|$ 
12.            Denklem 36'daki gibi transfer fonksiyonunu ( $T(x)$ ) hesapla
13.            if  $\text{rand} < T(x)$ 
14.                Konumun tersini alarak güncelle
15.            else
16.                Konum değerini koru
17.            end for
18.        end for
19. En iyi çözümü (arama ajanı) bul ve  $D(j)$  ' ye hedef değer olarak ata
20.    if  $V(i, j) < D(j)$ 
21.        then  $b \leftarrow x2, x2 \leftarrow x1$ 
22.             $x1 \leftarrow a * \tau + b * (1 - \tau)$ 
23.        else  $a \leftarrow x1, x1 \leftarrow x2$ 
24.             $x2 \leftarrow a * (1 - \tau) + b * \tau$ 
25.        if  $x1 == x2$ 
26.            then  $a \leftarrow \text{rand}(0, \pi), b \leftarrow \text{rand}(0, -\pi)$ 
27.             $x1 \leftarrow a * \tau + b * (1 - \tau)$ 
28.             $x2 \leftarrow a * (1 - \tau) + b * \tau$ 
29.    end while
30. return en iyi çözüm kümesi ve elde edilen global optimum sonuç

```

Şekil 4.1. İkili Altın Sinüs Algoritması'nın sözde kodu

5. Performans Karşılaştırma Yöntemleri

Önerilen algoritmanın performansı, 97 kıyaslama fonksiyonu ve 14 mühendislik tasarım problemi üzerinde değerlendirildi. Kıyaslama seti, tek modlu fonksiyonlar, çok modlu fonksiyonlar ve CEC 2017 test fonksiyonlarını içermektedir. Test işlemlerinde fonksiyonların en iyi, en kötü, ortalama, standart sapma ve işlem sürecinde geçen zaman değerleri hesaplanarak kıyaslama yapılmıştır. Ayrıca bGold-SA ile diğer algoritmaları kıyaslamak için elde edilen sayısal verilerle Wilcoxon'un işaretli sıra testi kullanılarak başarı değerlendirildi. Özellik seçimi ile veri setleri üzerinde başarı değerlendirildi.

5.1. Tek Modlu Sabit Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonları

Tek modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarının tek bir optimum özelliği vardır. Böylece bir algoritmanın sömürüsü ve yakınsaması kıyaslanabilir [68]. Temel özellikleri sürekli, dış bükey, sabit boyutlu uzayda tanımlanmaları, ayırt edilemez ve ayrılabilir fonksiyon olmalarıdır [69]. Tek modlu sabit boyutlu fonksiyonların bazıları Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Tek modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonları [70]

Fonksiyon Adı	Fonksiyon Denklemi	Değişken Boyutu	Aralık	Optimum Değer
Beale	$F_1(x) = (1.5 - x_1 + x_1x_2)^2 + (2.25 - x_1 + x_1x_2^2)^2 + (2.625 - x_1 + x_1x_2^3)^2$	2	[-4.5,4.5]	0
Booth	$F_2(x) = (x_1 + 2x_2 - 7)^2 + (2x_1 + x_2 - 5)^2$	2	[-10,10]	0
Brent	$F_3(x) = (x_1 + 10)^2 + (x_2 + 10)^2 + e^{-x_1^2 - x_2^2}$	2	[-10,10]	0
Matyas	$F_4(x) = 0.26(x_1^2 + x_2^2) - 0.48x_1x_2$	2	[-10,10]	0
Schaffer N. 4	$Numeratorcomb = \cos^2(\sin(x_1^2 - x_2^2)) - 0.5$ $Denominatorcomp = [1 + 0.001(x_1^2 - x_2^2)]^2$ $F_5(x) = 0.5 + Numeratorcomp / Denominatorcomp$	2	[-100,100]	0.292579
Wayburn Seader 3	$F_6(x) = \frac{2}{3}x_1^3 - 8x_1^2 + 33x_1 - x_1x_2 + 5 + [(x_1 - 4)^2 + (x_2 - 5)^2 - 4]^2$	2	[-500,500]	19.10588
Leon	$F_7(x) = 100(x_2 - x_1^3)^2 + (1 - x_1)^2$	2	[-1.2,1.2]	0
Cube	$F_8(x) = 100(x_2 - x_1^3)^2 + (1 - x_1)^2$	2	[-10,10]	0
Zetti	$F_9(x) = \frac{1}{4}x_1 + (x_1^2 - 2x_1 + x_2^2)^2$	2	[-5,10]	-0.00379

5.2. Tek Modlu Değişken Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonları

Bu fonksiyonların genel özellikleri tek modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonları ile aynıdır. Farklı olan yönü giriş değerlerinin sabit boyutlu yerine değişken boyutlu olmalarıdır. Kullanılan fonksiyonlar Tablo 5.2’de yer almaktadır.

Tablo 5.2. Tek modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonları [70]

Fonksiyon Adı	Fonksiyon Denklemi	Değişken Boyutu	Aralık	Optimum Değer
Sphere	$F_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$	30	[-100,100]	0
Powell Sum	$F_2(x) = \sum_{i=1}^n x_i ^{i+1}$	30	[-1,1]	0
Schwefel’s 2.20	$F_3(x) = \sum_{i=1}^n x_i $	30	[-100,100]	0
Schwefel’s 2.21	$F_4(x) = \max x_i $	30	[-100,100]	0
Step	$F_5(x) = \sum_{i=1}^n (x_i + 0.5)^2$	30	[-100,100]	0
Stepint	$F_6(x) = 25 + \sum_{i=1}^n x_i $	30	[-5.12,5.12]	-155
Schwefel’s 2.22	$F_7(x) = \sum_{i=1}^n x_i + \prod_{i=1}^n x_i $	30	[-100,100]	0
Schwefel’s 2.23	$F_8(x) = \sum_{i=1}^n x_i^{10}$	30	[-10,10]	0
Rosenbrock	$F_9(x) = \sum_{i=1}^n [100(x_{i+1} + x_i^2)^2 + (1 - x_i)^2]$	30	[-5,10]	-0.00379
Brown	$F_{10}(x) = \sum_{i=1}^{n-1} x_i^2 (x_{i+1}^2 + 1) + x_{i+1}^2 (x_i^2 + 1)$	30	[-1,4]	0
Dixon and Price	$F_{11}(x) = (x_1 - 1)^2 + \sum_{i=2}^n i(2x_i^2 - x_{i-1})^2$	30	[-10,10]	0
Powell Singular	$F_{12}(x) = \sum_{i=1}^{d/4} [(x_{4i-3} + 10x_{4i-2})^2 + 5(x_{4i-1} - x_{4i})^2 + (x_{4i-2} - 2x_{4i-1})^4 + 10(x_{4i-3} + x_{4i})^4]$	30	[-4,5]	0
Xin-She Yang	$F_{13}(x) = \left[e^{-\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\beta}\right)^{2m}} - 2e^{-\sum_{i=1}^n (x_i - c)^2} \right] \cdot \prod_{i=1}^n \cos^2(x_i)$ $m = 5, \beta = 15, c = 0$	30	[-20,20]	0
Perm 0,D,Beta	$F_{14}(x) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n (j + \beta) \left(x_j^i - \frac{1}{j^i} \right) \right)^2$ $\beta = 0.5$	5	[-var,var]	0
Sum Squares	$F_{15}(x) = \sum_{i=1}^n ix_i^2$	30	[-10,10]	0

5.3. Çok Modlu Sabit Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonları

Çok modlu kıyaslama fonksiyonlarının birden fazla optimum özelliği vardır. Bu da onları tek-işlevli fonksiyonlardan daha zorlaştırır. Optimalardan birine global optimum, geri kalanına ise yerel optima denir. Bir algoritma tüm yerel optimanın global optimum yaklaşıma yaklaşmasını ve belirlenmesini engellemelidir. Bu nedenle, algoritmaların keşfi ve yerel optimadan kaçınması, çok modlu test fonksiyonları ile test edilebilir [68]. Bu fonksiyonların temel özellikleri sürekli, dış bükey olmamaları, sabit boyutlu uzayda tanımlanan fonksiyon olmalarıdır [71]. Tablo 5.3'te kullanılan çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonları verilmiştir.

Tablo 5.3. Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonları [70]

Fonksiyon Adı	Fonksiyon Denklemi	Değişken Boyutu	Aralık	Optimum Değer
Egg crate	$F_1(x) = x_1^2 + x_2^2 + 25[\sin^2(x_1) + \sin^2(x_2)]$	2	[-5,5]	0
Ackley N.3	$F_2(x) = -200e^{-0.2\sqrt{x_1^2+x_2^2}} + 5e^{\cos(3x_1)+\sin(3x_2)}$	2	[-32,32]	-195.629
Adjiman	$F_3(x) = \cos(x_1) \sin(x_2) + \frac{x_1}{x_2 + 1}$	2	[-1,2]	-2.02181
Bird	$F_4(x) = \sin(x_1) e^{(1-\cos(x_2))^2} + \cos(x_2) e^{(1-\sin(x_1))^2} + (x_1 - x_2)^2$	2	[-2pi, 2pi]	-106.765
Camel 6 Hump	$F_5(x) = -\frac{(-x_1^4 + 4.5x_1^2 + 2)}{e^{2x_2^2}}$	2	[-5,5]	-1.0316
Branin RCOS	$F_6(x) = (x_2 - \frac{5.1x_1^2}{4\pi^2} + \frac{5x_1}{\pi} - 6)^2 + 10\left(1 - \frac{1}{8\pi}\right)\cos(x_1) + 10$	2	[-5,5]	0.397887
Goldstien Price	$f_1(x) = 1 + (x_1 + x_2 + 1)^2(19 - 14x_1 + 3x_1^2 - 14x_2 + 6x_1x_2 + 3x_2^2)$ $f_2(x) = 30 + (2x_1 - 3x_2)^2(18 - 32x_1 + 12x_1^2 + 48x_2 - 36x_1x_2 + 27x_2^2)$ $F_7(x) = f_1(x) \times f_2(x)$	2	[-2,2]	3
Hartman 3	$aH = [3 \ 10 \ 30; .1 \ 10 \ 35; 3 \ 10 \ 30; .1 \ 10 \ 35]$ $cH = [1 \ 1.2 \ 3 \ 3.2]$ $pH = [.3689 \ .117 \ .2673; .4699 \ .4387 \ .747; .1091 \ .8732 \ .5547; .03815 \ .5743 \ .8828]$ $F_8(x) = -\sum_{i=1}^4 cH_i \exp(-\sum_{j=1}^3 aH_{ij}(x_j - pH_{ij})^2)$	3	[0,1]	-3.86278
Hartman 6	$aH = [10 \ 3 \ 17 \ 3.5 \ 1.7 \ 8; .05 \ 10 \ 17 \ .1 \ 8 \ 14; 3 \ 3.5 \ 1.7 \ 10 \ 17 \ 8; 17 \ 8 \ .05 \ 10 \ .1 \ 14]$ $cH = [1 \ 1.2 \ 3 \ 3.2]$ $pH = [.1312 \ .1696 \ .5569 \ .0124 \ .8283 \ .5886; .2329 \ .4135 \ .8307 \ .3736 \ .1004 \ .9991; .2348 \ .1415 \ .3522 \ .2883 \ .3047 \ .6650; .4047 \ .8828 \ .8732 \ .5743 \ .1091 \ .0381]$ $F_9(x) = -\sum_{i=1}^4 cH_i \exp(-\sum_{j=1}^6 aH_{ij}(x_j - pH_{ij})^2)$	6	[0,1]	-3.32236

Tablo 5.3. Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonları (devamı) [70]

Fonksiyon Adı	Fonksiyon Denklemi	Değişken Boyutu	Aralık	Optimum Değer
Cross-in-tray	$F_{10}(x) = -0.0001(\sin(x_1)\sin(x_2)\exp(100 - \frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}{\pi}) + 1)^{0.1}$	2	[-10,10]	-2.06261
Bartels Conn	$F_{11}(x) = x_1^2 + x_2^2 + x_1x_2 + \sin(x_1) + \cos(x_2) $	2	[-500,500]	1
Bukin 6	$F_{12}(x) = 100\sqrt{ x_2 - 0.01x_1^2 } + 0.01 x_1 + 10 $	2	[(-15,-5), (-5,-3)]	180.3276
Carrom Table	$F_{13}(x) = -\frac{1}{30}e^{2\left 1 - \frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}{\pi}\right }\cos^2(x_1)\cos^2(x_2)$	2	[-10,10]	-24.1568
Chichinadze	$F_{14}(x) = x_1^2 + 12x_1 + 11 + 10\cos\left(\frac{1}{2}\pi x_1\right) + 8\sin\left(\frac{5}{2}\pi x_1\right) - 0.2\frac{\sqrt{5}}{e^{\frac{1}{2}(x_2 - \frac{1}{2})^2}}$	2	[-30,30]	-43.3159
Cross function	$F_{15}(x) = -0.0001(\sin(x_1)\sin(x_2)\exp(100 - \frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}{\pi}) + 1)^{0.1}$	2	[-10,10]	0
Cross leg table	$F_{16}(x) = -\frac{1}{(\sin(x_1)\sin(x_2)e^{100 - \frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}{\pi} } + 1)^{0.1}}$	2	[-10,10]	-1
Crowned cross	$F_{17}(x) = -0.0001(\sin(x_1)\sin(x_2)e^{100 - \frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}{\pi} } + 1)^{0.1}$	2	[-10,10]	0.0001
Easom	$F_{18}(x) = -\cos(x_1)\cos(x_2)e^{[-(x_1 - \pi)^2 - (x_2 - \pi)^2]}$	2	[-100,100]	-1
Giunta	$F_{19}(x) = 0.6 + \sum_{i=1}^n [\sin^2(1 - \frac{16}{15}x_i) - \frac{1}{50}\sin(4 - \frac{64}{15}x_i) - \sin(1 - \frac{16}{15}x_i)]$	2	[-1,1]	0.060447
Helical Valley	$F_{20}(x) = 100\{[x_3 - 10\theta(x_1, x_2)]^2 + (\sqrt{x_1^2 + x_2^2} - 1)^2\}$ $2\pi\theta(x_1, x_2) = \begin{cases} \tan^{-1}\frac{x_2}{x_1} & \text{if } x_1 \geq 0 \\ \pi + \tan^{-1}\frac{x_2}{x_1} & \text{otherwise} \end{cases}$	3	[-10,10]	0
Himmelblau	$F_{21}(x) = (x_1 + x_2^2 - 7)^2 + (x_1^2 + x_2 - 11)^2$	2	[-5,5]	0
Holder	$F_{22}(x) = - \sin(x_1)\cos(x_2)e^{1 - \frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}{\pi}} $	2	[-10,10]	-19.2085
Pen Holder	$F_{23}(x) = -e^{ \cos(x_1)\cos(x_2)e^{1 - \frac{\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}{\pi}} - 1}$	2	[-11,11]	-0.96354
Test Tube Holder	$F_{24}(x) = -4 \sin(x_1)\cos(x_2)e^{ \cos(\frac{x_1^2 + x_2^2}{200}) }$	2	[-10,10]	-10.8723
Shubert	$F_{25}(x) = (\sum_{i=1}^5 \cos((i+1)x_1 + i))(\sum_{i=1}^5 \cos((i+1)x_2 + i))$	2	[-10,10]	-186.731

Tablo 5.3. Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonları (devamı) [70]

Fonksiyon Adı	Fonksiyon Denklemi	Değişken Boyutu	Aralık	Optimum Değer
Shekel	$m = 10$	4	[0,10]	-10.5364
	$\beta = \frac{1}{10} (1,2,2,4,4,6,3,7,5,5)^T$			
	$C = \begin{pmatrix} 4.0 & 1.0 & 8.0 & 6.0 & 3.0 & 2.0 & 5.0 & 8.0 & 6.0 & 7.0 \\ 4.0 & 1.0 & 8.0 & 6.0 & 7.0 & 9.0 & 3.0 & 1.0 & 2.0 & 3.6 \\ 4.0 & 1.0 & 8.0 & 6.0 & 3.0 & 2.0 & 5.0 & 8.0 & 6.0 & 7.0 \\ 4.0 & 1.0 & 8.0 & 6.0 & 7.0 & 9.0 & 3.0 & 1.0 & 2.0 & 3.6 \end{pmatrix}$ $F_{26}(x) = - \sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^4 (x_j - C_{ji})^2 + \beta_i \right)^{-1}$			
Three-Hump Camel	$F_{27}(x) = 2x_1^2 - 1.05x_1^4 + \frac{x_1^6}{6} + x_1x_2 + x_2^2$	2	[-5,5]	0

5.4. Çok Modlu Değişken Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonları

Bu fonksiyonların genel özellikleri çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonları ile aynıdır. Farklı olan yönü giriş değerlerinin sabit boyutlu yerine değişken boyutlu olmalarıdır. Kullanılan fonksiyonlar Tablo 5.4’de yer almaktadır.

Tablo 5.4. Çok modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonları [69]

Fonksiyon Adı	Fonksiyon Denklemi	Değişken Boyutu	Aralık	Optimum Değer
Schwefel’s 2.26	$F_1(x) = - \sum_{i=1}^n [x_i \sin(\sqrt{ x_i })]$	30	[-500,500]	-418.983
Rastrigin	$F_2(x) = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$	30	[-5.12,5.12]	0
Periodic	$F_3(x) = f(x_1 \dots x_n)$ $= 1 + \sum_{i=1}^n \sin^2(x_i) - 0.1e^{(\sum_{i=1}^n x_i^2)}$	30	[-10,10]	0.9
Qing	$F_4(x) = f(x_1 \dots x_n) = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - i)^2$	30	[-500,500]	0
Alpine N. 1	$F_5(x) = f(x_1 \dots x_n) = \sum_{i=1}^n x_i \sin(x_i) + 0.1x_i $	30	[-10,10]	0
Xin-She Yang	$F_6(x) = f(x_1 \dots x_n) = \sum_{i=1}^n \epsilon_i x_i ^i$	30	[-5,5]	0
Ackley	$F_7(x) = -20e^{\left(-0.2 \times \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}\right)} - e^{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i)\right]}$ $+ 20 + e^{(1)}$	30	[-32,32]	0

Tablo 5.4. Çok modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonları (devamı) [70]

Fonksiyon Adı	Fonksiyon Denklemi	Değişken Boyutu	Aralık	Optimum Değer
Trignometric 2	$F_8(x) = \sum_{i=1}^n (8\sin^2(7x_i - 0.9) + 6\sin^2(14x_1 - 0.9) + (x_i - 0.9)^2)$	30	[-500,500]	0
Salomon	$F_9(x) = f(x_1 \dots x_n) = 1 - \cos\left(2\pi\sqrt{\sum_{i=1}^D x_i^2}\right) + 0.1\sqrt{\sum_{i=1}^D x_i^2}$	30	[-100,100]	0
Styblinski-Tang	$F_{10}(x) = f(x_1 \dots x_n) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i^4 - 16x_i^2 + 5x_i)$	30	[-5,5]	-1174.98
Griewank	$F_{11}(x) = f(x_1 \dots x_n) = 1 + \sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{4000} - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right)$	30	[-100,100]	0
Xin-She Yang N. 4	$F_{12}(x) = f(x_1 \dots x_n) = \left(\sum_{i=1}^n \sin^2(x_i) - e^{-(\sum_{i=1}^n x_i^2)}\right) e^{-(\sum_{i=1}^n \sin^2 \sqrt{ x_i })}$	30	[-10,10]	-1
Xin-She Yang N. 2	$F_{13}(x) = f(x_1 \dots x_n) = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \exp\left(-\sum_{i=1}^n \sin(x_i^2)\right)$	30	[-2pi,2pi]	0
Generalized Penalized	$F_{14}(x) = 0.1 \times \left\{ \sin^2(3\pi x_1) + \sum_{i=1}^{n-1} (x_i - 1)^2 [1 + \sin^2(3\pi x_{i+1})] + (x_n - 1)^2 [1 + \sin^2(2\pi x_n)] \right\} + \sum_{i=1}^n u(x_i, a, k, m)$ $u(x_i, a, k, m) = \begin{cases} k(x_i - a)^m & \text{if } x_i > a \\ 0 & \text{if } -a \leq x_i \leq a \\ k(-x_i - a)^m & \text{if } x_i < -a \end{cases}$ $a = 5, k = 100, m = 4$	30	[-50,50]	0
Penalized	$F_{15}(x) = \frac{\pi}{n} \times \left\{ 10\sin^2(\pi y_1) + \sum_{i=1}^{n-1} (y_i - 1)^2 [1 + \sin^2(\pi y_{i+1})] + (y_n - 1)^2 \right\} + \sum_{i=1}^n u(x_i, a, k, m)$ $y_i = 1 + \frac{1}{4}(x_i + 1)$ $u(x_i, a, k, m) = \begin{cases} k(x_i - a)^m & \text{if } x_i > a \\ 0 & \text{if } -a \leq x_i \leq a \\ k(-x_i - a)^m & \text{if } x_i < -a \end{cases}$ $a = 10, k = 100, m = 4$	30	[-50,50]	0
Michalewics	$F_{16}(x) = -\sum_{j=1}^n \sin(x_j) \left[\sin\left(\frac{jx_j^2}{\pi}\right) \right]^{2m}$ $m = 10$	30	[0,pi]	-29.6309
Quartic Noise	$F_{17}(x) = \sum_{i=1}^n ix_i^4 + rand[0,1]$	30	[-1.28,1.28]	0

5.5. CEC 2017 Kıyaslama Fonksiyonları

CEC 2017’de önerilen test fonksiyonları Tablo 5.5’de yer almaktadır. Bu fonksiyonlar, bir adet tek modlu, yedi adet çok modlu, 10 adet hibrit ve 11 adet bileşik olmak üzere toplam 29 fonksiyondan oluşmaktadır [71].

Tablo 5.5. CEC 2017 kıyaslama fonksiyonları [70]

Fonksiyon Adı	Fonksiyon Adı	Değişken Boyutu	Arahk	Optimum Değer
Tek Modlu Fonksiyonlar				
F1	Shifted and Rotated Bent Cigar Function	10	[-100,100]	100
Çok Modlu Fonksiyonlar				
F2	Shifted and Rotated Rosenbrock’s Function	10	[-100,100]	300
F3	Shifted and Rotated Rastrigin’s Function	10	[-100,100]	400
F4	Shifted and Rotated Expanded Scaffer’s F6 Function	10	[-100,100]	500
F5	Shifted and Rotated Lunacek BiRastriginFunction	10	[-100,100]	600
F6	Shifted and Rotated Non-Continuous Rastrigin’s Function	10	[-100,100]	700
F7	Shifted and Rotated Levy Function	10	[-100,100]	800
F8	Shifted and Rotated Schwefel’s Function	10	[-100,100]	900
Hibrit fonksiyonlar (N, temel fonksiyon sayısıdır)				
F9	Hybrid Function 1 (N = 3)	10	[-100,100]	1000
F10	Hybrid Function 2 (N = 3)	10	[-100,100]	1100
F11	Hybrid Function 3 (N = 3)	10	[-100,100]	1200
F12	Hybrid Function 4 (N = 4)	10	[-100,100]	1300
F13	Hybrid Function 5 (N = 4)	10	[-100,100]	1400
F14	Hybrid Function 6 (N = 4)	10	[-100,100]	1500
F15	Hybrid Function 6 (N = 5)	10	[-100,100]	1600
F16	Hybrid Function 6 (N = 5)	10	[-100,100]	1700
F17	Hybrid Function 6 (N = 5)	10	[-100,100]	1800
F18	Hybrid Function 6 (N = 6)	10	[-100,100]	1900
Bileşik fonksiyonlar (N, temel fonksiyon sayısıdır)				
F19	Composite Function 1 (N = 3)	10	[-100,100]	2000
F20	Composite Function 2 (N = 3)	10	[-100,100]	2100
F21	Composite Function 3 (N = 3)	10	[-100,100]	2200
F22	Composite Function 4 (N = 3)	10	[-100,100]	2300
F23	Composite Function 5 (N = 3)	10	[-100,100]	2400
F24	Composite Function 6 (N = 3)	10	[-100,100]	2500
F25	Composite Function 7 (N = 3)	10	[-100,100]	2600
F26	Composite Function 8 (N = 3)	10	[-100,100]	2700

Tablo 5.5. CEC 2017 Kıyaslama Fonksiyonları (devamı) [70]

Fonksiyon Adı	Fonksiyon Adı	Değişken Boyutu	Aralık	Optimum Değer
F27	Composite Function 9 (N = 3)	10	[-100,100]	2800
F28	Composite Function 10 (N = 3)	10	[-100,100]	2900
F29	Composite Function 11 (N = 3)	10	[-100,100]	3000

5.6. Mühendislik Tasarım Problemleri

Gerçek dünya optimizasyon problemleri, önemli sayıda kısıtlama içeren karmaşık amaç fonksiyonlarından dolayı nispeten zor çözülmüştür. Bu problemlerle başa çıkmak için meta sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Kullanılan algoritmaların etkinliğini ve gücünü doğrulamak için bazı karmaşık gerçek dünya problemlerinde kıyaslanması gerekir. Literatürde birçok gerçek dünya test problemi önerilmiştir. Yeni algoritmaları verimli ve tarafsız bir şekilde kıyaslamak için standart problemlerin bir listesi gereklidir [72]. Bu çalışmada optimizasyon algoritmalarını doğrulamak için Tablo 5.6’da yer alan 14 gerçek dünya optimizasyon problemi kullanılmıştır.

Tablo 5.6. Mühendislik tasarım problemleri [72]

Problemler	Açıklama	Boyut	f (x*)
E1 Process design problem	Süreç tasarım problemi	5	2.6887000000E+04
E2 Multi-product batch plant	Çok ürünli parti tesisi	10	5.3638942722E+04
E3 Weight minimization of a speed reducer	Bir hız düşürücünün ağırlık minimizasyonu	7	2.9944244658E+03
E4 Optimal design of industrial refrigeration	Endüstriyel soğutmanın optimum tasarımı	14	3.2213000814E-02
E5 Tension/compression spring design (case 1)	Gerginlik/sıkıştırma yayı tasarımı (durum 1)	3	1.2665232788E-02
E6 Pressure vessel design	Basıncılı kap tasarımı	4	5.8853327736E+03
E7 Welded beam	Kaynaklı kiriş problemi	4	1.6702177263E+00
E8 Three-bar truss design problem	Üç çubuklu kafes tasarım problemi	2	2.6389584338E+02
E9 Step-cone pulley problem	Adım koni kasnağı sorunu	5	1.6069868725E+01
E10 Robot gripper problem	Robot tutucu sorunu	7	2.5287918415E+00
E11 Rolling element bearing problem	Yuvarlanan eleman yatak sorunu	10	1.4614135715E+04
E12 Gas transmission compressor design	Gaz iletim kompresör tasarımı	4	2.9648954173E+06
E13 Gear train design problem	Dişli tren tasarım sorunu	4	0.0000000000E+00
E14 Himmelblau’s Function	Himmelblau fonksiyonu	5	-3.0665538672E+04

5.7. Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testi

Metasezgisel algoritmaların karşılaştırılmasında daha güvenilir sonuçlar elde etmek için istatistiksel testler kullanılır. Bu testler genel olarak parametrik olan ve parametrik olmayan testler şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Wilcoxon'un işaretli sıra testi, sayısal optimizasyon problemlerini çözmek ve algoritmaların performansını karşılaştırmak için genellikle parametrik olmayan bir test olarak kullanılır [73].

Wilcoxon'un işaretli sıra testi, iki algoritma arasındaki önemli farklılıkları tespit etmek için öncelikle performans puanları arasındaki farkı alır. İşlem sonucu elde edilen farklar mutlak değerlerine göre sıralanır. Sonuçlara göre birinci algoritmanın ikinci algoritmadan daha iyi olması durumu $R+$ sıraların toplamı, ikinci algoritmanın birinci algoritmadan daha iyi olması durumu $R-$ sıraların toplamı olarak belirlenir. Eşit olması durumunda bu değerler "0" olarak kabul edilir [74].

Bir hipotezi reddetmek için istatistiksel prosedürler uygulanır. Wilcoxon'un işaretli sıra testi hipotezin hangi düzeyde reddedileceğini belirlemek için α anlamlılık değerini kullanır. İstatistiksel bir hipotez testinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için p-değeri hesaplanır. Hesaplanan p-değeri α anlamlılık değerinden küçük olması durumu hipotezin kabul edilebilir olduğu anlamına gelir. Aksi takdirde hipotez reddedilir [74].

5.8. Özellik Seçimi

Özellik Seçimi (FS), bir sınıflandırma veya regresyon görevi için en iyi çözümleri elde etmek için bir veri kümesinin ilgili özelliklerini (yedek ve gürültülü özellikler hariç) belirleme ve ayırma işlemidir. FS'nin başlıca faydaları arasında daha doğru sınıflandırma modelleri, modellerin basitleştirilmiş yorumu ve sınıflandırma için gereken işlem süresinde azalma yer alır [74].

Yüksek arama uzaylarında önerilen yaklaşımların performansını değerlendirmek için bir dizi yüksek boyutlu veri seti seçilir. Değerlendirme amacıyla, her veri seti çapraz doğrulama şeklinde bölünür. Temel olarak, K-kat çapraz doğrulamada, veri kümesi, eğitim için K-1 katlarının kullanıldığı ve katlamanın geri kalanının test amacıyla kullanıldığı birkaç kata bölünür. Bu prosedür M kez tekrarlanır. Böylece her bir optimizasyon algoritması, her veri seti için $K \times M$ kez değerlendirilir. Eğitim, test ve doğrulama verileri eşit büyüklükteki bölümlere ayrılmıştır. Eğitim fraksiyonu, optimizasyon süreci sırasında sınıflandırıcının eğitimine tahsis edilirken, doğrulama fraksiyonu, sınıflandırıcının optimizasyon süresi boyunca performansını değerlendirmek için kullanılır. Test fraksiyonu, eğitilmiş sınıflandırıcı tarafından sağlanan seçilen özellik setini değerlendirmek için kullanılır [75].

Önerilen ikili yaklaşımların performansını doğrulamak amacıyla deneyler için literatürde kullanılan 13 kıyaslama veri seti seçilmiştir. Ayrıca Covid-19 vaka ve ölüm durumlarını gösteren veri seti de özellik seçimi için kullanılır. Tablo 5.7, her veri kümesindeki özellik ve örnek sayısı

gibi seçilen veri kümelerinin ayrıntılarını gösterir. Bu veri kümelerinin seçilmesinin altında yatan neden, bunların, önerilen ikili yaklaşımların üzerinde test edileceği çeşitli konuları temsil eden bir dizi nitelik ve örnek içermesidir.

Tablo 5.7. Özellik seçimi için kullanılan veri setleri [76]

	Veri Seti Adı	İçerik	Nitelik Sayısı	Örnek Sayısı
1	Covid19- Yeni Vaka	Türkiye’deki Covid-19 günlük yeni vaka sayılarının yer aldığı veri seti	3	486
2	Covid19- Toplam Vaka	Türkiye’deki Covid-19 kaynaklı toplam vaka sayılarının yer aldığı veri seti	3	486
3	Covid19- Yeni Ölüm	Türkiye’deki Covid-19 günlük yeni ölüm sayılarının yer aldığı veri seti	3	486
4	Covid19- Toplam Ölüm	Türkiye’deki Covid-19 kaynaklı ölüm sayılarının yer aldığı veri seti	3	486
5	BreastEW	Meme kanseri veri seti	30	569
6	Clean1	92 molekülden oluşan veri seti	166	476
7	Coil	Nehir kimyasal konsantrasyonlarının ve yosun yoğunluklarının ölçümlerini içeren veri seti	16	340
8	Glass	6 çeşit camın oksit değerlerini içeren veri seti	8	214
9	Heart	Kalp hastalığının varlığını içeren veri seti	73	303
10	Ionosphere	İyonosferden gelen radar dönüşlerini içeren veri seti	34	351
11	Isolet5	Söylenilen harflerin tahmin değerlerini içeren veri seti	617	7797
12	Lipid	Yağ asitleri birleşiminin değerlerini içeren veri seti	11	583
13	M-of-n	Verilen N adet özellikten M adet özelliğin karşılandığı özellik sayımını içeren veri seti	13	1000
14	Semeion	El yazısına ait piksel değerlerinin yer aldığı veri seti	265	1593
15	Spect	Kardiyoloji alanında Tek Proton Emisyon Bilgisayarlı Tomografi (SPECT) görüntülerinin teşhisini açıklayan veri seti	22	267
16	Zoo	Hayvanların hangi türe ait olduğu bilgilerini içeren veri seti	16	101
17	Wine	Üç farklı çeşitten elde edilen şarapların kimyasal analizinin sonuçlarını içeren veri seti	13	178

6. Deneysel Sonuçlar

Yapılan literatür araştırmasından elde edilen optimizasyon problemlerini kıyaslamak için bazı test fonksiyonları kullanılmıştır. Test fonksiyonlarını uygulamak için bGold-SA, Gold-SA, BPSO, BBA, BPSOGSA, BGWO ve BDA algoritmaları kullanılmıştır. Test sonuçlarının eşit şartlarda olması için başlangıç popölasyon değerleri, iterasyon sayısı, parçacık sayısı, değişken boyutu ve kullanılan fonksiyonun türü aynı şekilde uygulanmıştır. Bu nedenle;

- Parçacık sayısı:50,
- İterasyon sayısı:1000,
- Bağımsız alışma sayısı: 20,
- Kullanılan fonksiyon türü sayısı:97 olarak belirlenmiştir.

Elde edilen test sonuçlarına göre optimuma en yakın sonucu üreten bağımsız çalışmaya ait minimum (en iyi), maksimum (en kötü), minimum değerlerin ortalaması (ortalama), standart sapma ve hesaplanan işlem süresi (zaman) değerleri alınarak tablo oluşturulmuştur. Yapılan işlemlerin sonucunda;

- Tek modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar Tablo 6.1,
- Tek modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar Tablo 6.2,
- Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar Tablo 6.3,
- Çok modlu değişken boyutlu fonksiyonlara ait sonuçlar Tablo 6.4,
- CEC 2017 fonksiyonlarına ait sonuçlar Tablo 6.5,
- Mühendislik tasarım problemlerine ait sonuçlar Tablo 6.6,
- Wilcoxon'un işaretli sıra testine ait sonuçlar Tablo 6.7,
- Özellik seçimine ait deneysel sonuçlar Tablo 6.8'de verilmiştir.

6.1. Tek Modlu Sabit Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Deneysel Sonuçlar

Tablo 6.1 incelendiğinde bGold-SA'nın tüm fonksiyonlarda en iyi sonuca ulaştığı görölmektedir. Gold-SA, F1, F2, F6 ve F7 hariç tüm fonksiyonlarda en iyi sonucu elde etmiştir. Diğer algoritmalar ise F4, F7 ve F8'de optimum sonuca ulaşmıştır. Ancak bu algoritmalar tüm fonksiyonlarda sabit değerler ürettiğinden standart sapma değeri "0" olmuştur. Bu sonuçlara göre tek modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarında bGold-SA'nın diğer ikili algoritmalara göre üstün sonuçlar verdiği görölmektedir.

bGold-SA'nın ikili değerlere dönüşüm işlemleri olduğundan Gold-SA'ya göre daha fazla zaman harcamaktadır. bGold-SA, 9 fonksiyonun 6 tanesinde Gold-SA'ya göre en kötü, ortalama ve standart sapma değerinde daha düşük değer üretmiştir. Diğer 3 fonksiyonda Gold-SA daha düşük değer üretmiştir.

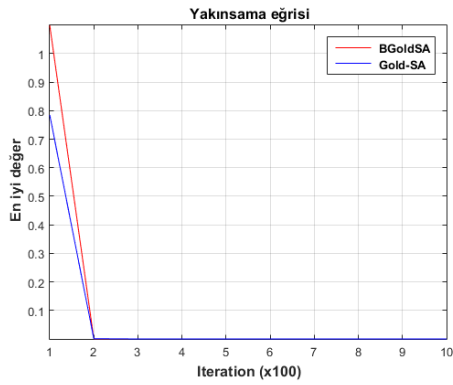
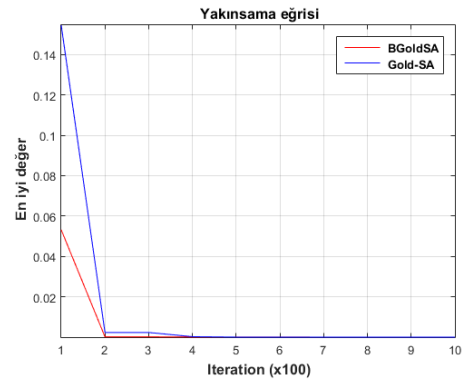
Tablo 6.1. Tek modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F1	En iyi	2.0518e-08	2.3877e-07	4.453125	4.453125	4.453125	4.453125	4.453125
	En kötü	1.099248	1.052129	4.453125	4.453125	4.453125	4.453125	4.453125
	Ortalama	0.003217	0.003442	4.453125	4.453125	4.453125	4.453125	4.453125
	Standart Sapma	0.055348	0.044528	0	0	0	0	0
	Zaman	6.566877	4.084829	0.825612	0.977309	0.144134	2.620903	0.148769
F2	En iyi	2.3487e-07	2.4469e-07	20	20	20	20	20
	En kötü	0.053190	0.154561	20	20	20	20	20
	Ortalama	0.001112	0.003799	20	20	20	20	20
	Standart Sapma	0.006694	0.017655	0	0	0	0	0
	Zaman	6.491971	4.038030	0.789086	0.943671	0.142559	2.742948	0.143788
F3	En iyi	1.3839e-87	1.3839e-87	201	201	201	201	201
	En kötü	200.894269	1.3839e-87	201	201	201	201	201
	Ortalama	0.515660	1.3839e-87	201	201	201	201	201
	Standart Sapma	9.639835	3.4619e-101	0	0	0	0	0
	Zaman	8.175350	5.256361	1.321309	1.463429	0.171384	3.262843	0.170229
F4	En iyi	0	0	0	0	0	0	0
	En kötü	0	0.091497	0	0	0	0	0
	Ortalama	0	9.1516e-05	0	0	0	0	0
	Standart Sapma	0	0.002893	0	0	0	0	0
	Zaman	5.972283	4.120804	0.836886	0.961396	0.147372	2.780361	0.147254
F5	En iyi	0.292578	0.292578	0.444156	0.444156	0.444156	0.444156	0.444156
	En kötü	0.294266	0.311893	0.444156	0.444156	0.444156	0.444156	0.444156
	Ortalama	0.292582	0.292702	0.444156	0.444156	0.444156	0.444156	0.444156
	Standart Sapma	7.542473	0.001244	5.9427e-15	5.9427e-15	5.9427e-15	5.9427e-15	5.9427e-15
	Zaman	6.740057	4.591369	1.004745	1.105951	0.151588	2.884474	0.152110
F6	En iyi	19.105888	19.105895	470.666666	470.666666	470.666666	470.666666	470.666666
	En kötü	35.495168	2511.653527	470.666666	470.666666	470.666666	470.666666	470.666666
	Ortalama	19.276069	22.265995	470.666666	470.666666	470.666666	470.666666	470.666666
	Standart Sapma	1.110190	80.764524	6.4265e-12	6.4265e-12	6.4265e-12	6.4265e-12	6.4265e-12
	Zaman	6.746814	3.963656	0.851743	0.982943	0.145053	2.775284	0.186128

Tablo 6.1. Tek modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F7	En iyi	0	1.2610e-08	0	0	0	0	0
	En kötü	0	0.305392	0	0	0	0	0
	Ortalama	0	0.000508	0	0	0	0	0
	Standart Sapma	0	0.010397	0	0	0	0	0
	Zaman	6.502799	4.141041	0.924435	1.032564	0.149749	2.845496	0.164840
F8	En iyi	0	0	0	0	0	0	0
	En kötü	0	0	0	0	0	0	0
	Ortalama	0	0	0	0	0	0	0
	Standart Sapma	0	0	0	0	0	0	0
	Zaman	6.475670	4.486324	1.125548	1.238100	0.156154	2.734739	0.158383
F9	En iyi	-0.003790	-0.003790	0	0	0	0	0
	En kötü	-0.002839	0.067482	0	0	0	0	0
	Ortalama	-0.003782	-0.003700	0	0	0	0	0
	Standart Sapma	4.6027e-05	0.002303	0	0	0	0	0
	Zaman	6.165286	4.072611	0.899525	1.009315	0.149490	2.815626	0.147412

bGold-SA ve Gold-SA'nın F1 fonksiyonu üzerindeki yakınsama grafiği Şekil 6.1'de, F2 fonksiyonu üzerindeki yakınsama grafiği Şekil 6.2'de gösterilmektedir. Her iki grafik incelendiğinde bGold-SA'nın Gold-SA'ya göre daha erken optimum sonuca ulaştığı görülmektedir.

**Şekil 6.1** F1 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği**Şekil 6.2** F2 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği

6.2. Tek Modlu Değişken Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Deneysel Sonuçlar

Tek modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait test sonuçları Tablo 6.2’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde bGold-SA’nın F9, F13 ve F14 hariç tüm fonksiyonlarda en iyi sonuca ulaştığı görülmektedir. Gold-SA’nın F5, F9, F11, F13 ve F14 hariç tüm fonksiyonlarda en iyi sonucu elde ettiği görülmektedir. BDA herhangi bir algoritmada optimum sonuca ulaşamamıştır. Diğer algoritmalarda;

- BPSO: F1, F2, F3, F7, F8, F9, F12 ve F15
- BBA: F1, F2, F3, F7, F8, F9, F10, F12 ve F15
- BGWO: F2, F4, F7, F13 ve F15
- BPSOGSA: F1, F2, F3, F7, F8, F10 ve F15 fonksiyonlarında optimum veya optimuma en yakın sonucu elde etmiştir.

bGold-SA, F6, F9 ve F12 hariç tüm fonksiyonlarda en kötü ve standart sapma değerlerinde 11 fonksiyonda ortalama değerinde en düşük sonuca ulaşmıştır. Kullanılan zaman açısından BPSOGSA’nın 11 fonksiyonda en kısa sürede optimum sonucu elde ettiği görülmüştür.

Tablo 6.2. Tek modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F1	En iyi	0	0	0	0	5	1	0
	En kötü	0.215145	3.3888e+03	10	10	15	8	20
	Ortalama	0.000219	3.417047	0.06	0.016	9.04	1.012	2.817
	Standart Sapma	0.006804	107.163437	0.494615	0.343310	3.723206	0.256753	4.966102
	Zaman	13.641694	4.252107	7.965971	7.957876	10.851902	27.987266	4.640655
F2	En iyi	0	0	0	0	2	0	0
	En kötü	7.7843e-04	0.002348	3	3	8	3	9
	Ortalama	9.0874e-07	2.5723e-06	0.009	0.004	3.13	0.003	2.155
	Standart Sapma	2.4923e-05	7.4545e-05	0.137615	0.099970	1.739576	0.094868	3.71197
	Zaman	14.981879	6.279958	8.692998	8.881060	11.621822	28.482785	5.098263
F3	En iyi	0	7.8248e-312	0	0	5	1	0
	En kötü	0.677493	5.253299	10	10	14	10	20
	Ortalama	0.000814	0.008674	0.032	0.016	7.718	1.018	2.807
	Standart Sapma	0.021661	0.181646	0.455173	0.343310	2.487300	0.340282	5.006677
	Zaman	14.684992	4.503761	8.043279	8.430188	11.268637	28.495487	5.512052

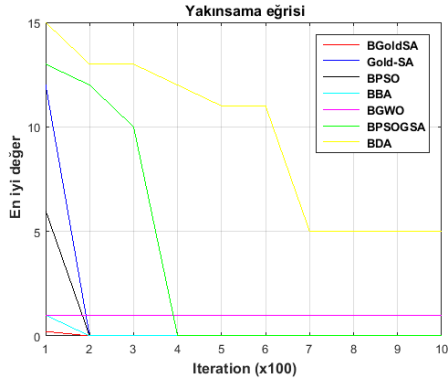
Tablo 6.2. Tek modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F4	En iyi	0	1.4988e-316	1	1	1	0	1
	En kötü	0.077592	25.041730	1	1	1	1	1
	Ortalama	1.4850e-05	0.036621	1	1	1	0.001	1
	Standart Sapma	0.000237	0.849432	0	0	0	0.031622	0
	Zaman	14.879679	4.997859	8.171922	8.329406	10.705674	28.297307	4.876463
F5	En iyi	5.3307e-09	2.1077e-07	7.5	7.5	26.5	7.5	12.5
	En kötü	5.583442	92.152191	27.5	27.5	44.5	25.5	52.5
	Ortalama	0.031646	0.148976	7.564	7.554	27.65	7.532	18.128
	Standart Sapma	0.250677	3.015406	0.914735	0.815935	1.125507	0.662884	10.012085
	Zaman	22.541337	4.826312	8.443912	8.654344	11.156752	32.386270	4.675450
F6	En iyi	-155	-155	25	25	31	25	25
	En kötü	18	-53	33	35	41	33	43
	Ortalama	-154.239	-154.871	25.044	25.018	34.297	25.014	27.798
	Standart Sapma	9.652100	3.262975	0.395247	0.354685	2.839164	0.299823	4.991403
	Zaman	23.699380	4.894379	8.117464	8.497625	12.426551	27.928572	4.779265
F7	En iyi	0	9.3280e-321	0	0	8	0	0
	En kötü	0.090512	215.010756	10	10	20	7	20
	Ortalama	0.000186	0.221594	0.032	0.016	10.154	0.013	2.681
	Standart Sapma	0.003659	6.800160	0.437226	0.343310	1.981466	0.262488	4.828722
	Zaman	16.015244	5.062224	8.254907	8.773109	12.326179	31.751773	4.828180
F8	En iyi	0	0	0	0	5	1	0
	En kötü	2.4494e-08	2.0177e+04	11	11	17	9	19
	Ortalama	2.4494e-11	20.176584	0.056	0.022	8.503	1.014	3.06
	Standart Sapma	7.7456e-10	638.039623	0.585838	0.411929	3.258314	0.289634	5.217434
	Zaman	14.523134	4.889509	8.016427	8.362699	10.582619	29.434849	4.865825
F9	En iyi	2.1507e-07	1.7550e-07	104	0	709	306	207
	En kötü	28.881833	101.357207	1110	1110	2026	1110	1830
	Ortalama	1.383590	0.345855	107.616	3.438	1077.188	307.205	516.124
	Standart Sapma	5.888000	4.341772	46.164138	47.943244	344.384478	27.311369	504.183974
	Zaman	22.879790	5.090257	8.521585	8.775060	11.257710	31.396546	5.031878

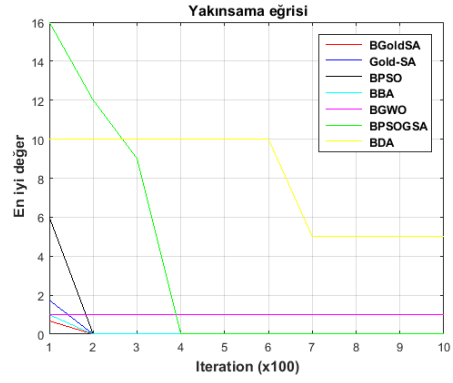
Tablo 6.2. Tek modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F10	En iyi	0	0	4	0	17	9	0
	En kötü	0.352868	2.733380	24	34	52	28	61
	Ortalama	0.000386	0.002864	4.106	0.126	22.138	9.045	5.075
	Standart Sapma	0.011183	0.086482	1.214182	1.601464	5.124375	0.797252	8.885512
	Zaman	14.763612	5.270986	8.359793	8.797559	11.364460	29.318235	4.849197
F11	En iyi	0.165715	0.167715	1	1	825	21	1
	En kötü	1.219545	349.415795	439	503	1350	381	1421
	Ortalama	0.231556	0.787080	2.449	1.978	842.5	21.57	227.5
	Standart Sapma	0.192433	12.428981	20.007091	19.272492	23.750032	12.556224	405.350173
	Zaman	47.181050	10.575752	19.886181	20.296798	25.805800	74.648831	11.021325
F12	En iyi	0	0	0	0	76	6	0
	En kötü	12.973923	0.007724	192	66	372	192	595
	Ortalama	0.013280	1.6652e-05	0.415	0.839	124.888	6.313	41.778
	Standart Sapma	0.410329	0.000285	7.143795	3.663673	64.922495	6.437271	77.668585
	Zaman	33.821974	11.650418	19.192937	19.973175	25.817180	66.670926	11.137986
F13	En iyi	-1	-1	-1	-1	0.999999	0.785212	0.999999
	En kötü	0.223093	1.4196e-144	0.999999	0.999999	0.999999	0.999999	0.999999
	Ortalama	-0.998774	-0.997999	-0.988217	-0.996214	0.999999	0.786048	0.999999
	Standart Sapma	0.038677	0.044699	0.151855	0.084733	1.6069e-12	0.013210	7.4111e-12
	Zaman	37.218491	15.030600	20.061406	22.266599	26.765707	67.232446	12.124181
F14	En iyi	4.387257	6.824294	2.0558e+07	2.0558e+07	1.9266e+170	2.0558e+07	1.9266e+170
	En kötü	133111.9506	89606.65084	2.0570e+07	2.0570e+07	1.9266e+170	2.0570e+07	1.9266e+170
	Ortalama	273.462081	803.842099	2.0558e+07	2.0558e+07	1.9266e+170	2.0558e+07	1.9266e+170
	Standart Sapma	4849.095219	3474.047376	359.876840	359.876840	Inf	359.876840	Inf
	Zaman	28.971982	19.577199	8.678768	9.461000	11.825565	19.015623	11.160677
F15	En iyi	0	0	0	0	147	0	0
	En kötü	6.704455	342.175170	94	147	295	111	487
	Ortalama	0.006710	0.486605	0.242	0.347	181.429	0.156	56.9
	Standart Sapma	0.212013	11.734952	3.887228	5.543223	5.124179	3.683372	102.855613
	Zaman	33.124971	5.370528	19.059867	19.757175	25.765519	32.722263	5.546618

Kıyaslama işleminde kullanılan algoritmaların F1 fonksiyonuna ait sonuçları Şekil 6.3’de, F3 fonksiyonuna ait sonuçları Şekil 6.4’de gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde bGold-SA’nın diğer algoritmalarla göre kısa sürede en iyi değere ulaştığı görülmektedir.



Şekil 6.3 F1 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği



Şekil 6.4 F3 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği

6.3. Çok Modlu Sabit Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Deneysel Sonuçlar

Tablo 6.3 incelendiğinde 27 fonksiyondan bGold-SA ve Gold-SA'nın 25, diğer algoritmaların 6 fonksiyonda optimum sonuca ulaştığı görülmüştür. bGold-SA, en kötü çözümde 13 fonksiyonda, ortalama çözümde 18 fonksiyonda en düşük sonucu vermiştir. Gold-SA ise en kötü çözümde 14 fonksiyonda, ortalama çözümde 9 fonksiyonda en düşük sonucu elde etmiştir. Diğer algoritmalar (BPSO, BBA, BDA, BGWO, BPSOGSA) tüm fonksiyonlarda sabit değer ürettiklerinden standart sapma ve ortalama zaman değerlerinde en düşük sonucu elde etmişlerdir.

Tablo 6.3. Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F1	En iyi	0	0	0	0	0	0	0
	En kötü	0	3.290609	0	0	0	0	0
	Ortalama	0	1.0180e-05	0	0	0	0	0
	Standart Sapma	0	0.000231	0	0	0	0	0
	Zaman	14.856627	10.453525	1.937320	2.320885	0.352805	6.173455	0.408215
F2	En iyi	-195.62900	-195.629015	-194.181837	-194.181837	-194.181837	-194.181837	-194.181837
	En kötü	-194.196883	-187.160955	-194.181837	-194.181837	-194.181837	-194.181837	-194.181837
	Ortalama	-195.623845	-195.609283	-194.181837	-194.181837	-194.181837	-194.181837	-194.181837
	Standart Sapma	0.0614310	0.291569	2.2180e-12	2.2180e-12	2.2180e-12	2.2180e-12	2.2180e-12
	Zaman	16.436299	10.500674	2.103616	2.397000	0.358688	6.231289	0.389509
F3	En iyi	-2.021806	-2.021806	-1	-1	-1	-1	-1
	En kötü	-2	-2.013092	-1	-1	-1	-1	-1
	Ortalama	-2.021762	-2.021770	-1	-1	-1	-1	-1
	Standart Sapma	0.000795	0.000499	0	0	0	0	0
	Zaman	17.302862	12.292992	2.370122	2.655362	0.370146	6.511484	0.400470

Tablo 6.3. Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F4	En iyi	-106.764484	-106.764483	1.593530	1.593530	1.593530	1.593530	1.593530
	En kötü	-24.339707	-43.224262	1.593530	1.593530	2.468693	1.593530	1.593530
	Ortalama	-106.513748	-106.264081	1.593530	1.593530	1.594405	1.593530	1.593530
	Standart Sapma	3.299138	4.652486	3.3768e-14	3.3768e-14	0.027675	3.3768e-14	3.3768e-14
	Zaman	17.247615	11.826136	2.416313	2.740664	0.378860	6.602754	0.399193
F5	En iyi	-1.031607	-1.031609	0	0	0	0	0
	En kötü	-0.965641	-0.992419	0	0	0	0	0
	Ortalama	-1.031298	-1.029807	0	0	0	0	0
	Standart Sapma	0.003078	0.004753	0	0	0	0	0
	Zaman	17.632424	10.049390	2.194462	2.555311	0.363341	6.364249	0.388671
F6	En iyi	0.397889	0.397887	27.702905	27.702905	27.702905	27.702905	27.702905
	En kötü	1.243396	0.792877	27.702905	27.702905	27.702905	27.702905	27.702905
	Ortalama	0.401013	0.401189	27.702905	27.702905	27.702905	27.702905	27.702905
	Standart Sapma	0.037853	0.028471	5.1185e-13	5.1185e-13	5.1185e-13	5.1185e-13	5.1185e-13
	Zaman	15.994858	9.769658	2.138320	2.461771	0.362718	6.366015	0.386140
F7	En iyi	3.000840	3.000011	600	600	600	600	600
	En kötü	359.922531	25.869291	600	600	600	600	600
	Ortalama	3.843655	3.069004	600	600	600	600	600
	Standart Sapma	12.505858	1.038212	0	0	0	0	0
	Zaman	15.834292	10.493141	2.259504	2.590159	0.365281	6.457028	0.422434
F8	En iyi	-3.862550	-3.862675	-0.334829	-0.334829	-0.300478	-0.334829	-0.300478
	En kötü	-2.307458	-3.782112	-0.334829	-0.334829	-0.300478	-0.334829	-0.300478
	Ortalama	-3.540322	-3.859086	-0.334829	-0.334829	-0.300478	-0.334829	-0.300478
	Standart Sapma	0.546281	0.014998	7.9976e-15	7.9976e-15	1.2219e-15	7.9976e-15	1.2219e-15
	Zaman	8.106061	5.780643	1.622130	1.778362	0.251980	4.050263	0.210325
F9	En iyi	-3.278684	-3.312591	-0.165720	-0.165720	-0.005107	-0.165720	-0.005107
	En kötü	-1.810142	-0.990809	-0.126460	-0.126460	-0.005107	-0.118654	-0.005107
	Ortalama	-3.172304	-3.295088	-0.165681	-0.165681	-0.005107	-0.165673	-0.005107
	Standart Sapma	0.110322	0.110841	0.0012415	0.0012415	9.5458e-18	0.001488	9.5458e-18
	Zaman	9.153256	5.403175	2.461475	2.576317	0.678806	6.933795	0.369330

Tablo 6.3. Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F10	En iyi	-2.062611	-2.062611	-2.034241	-2.034241	-2.034241	-2.034241	-0.0001
	En kötü	-2.061769	-2.051169	-2.034241	-2.034241	-2.034241	-2.034241	-0.0001
	Ortalama	-2.062608	-2.062598	-2.034241	-2.034241	-2.034241	-2.034241	-0.0001
	Standart Sapma	3.8901e-05	0.000365	2.1327e-14	2.1327e-14	2.1327e-14	2.1327e-14	1.8305e-18
	Zaman	17.650302	10.954394	2.201764	2.504254	0.375252	6.292339	0.397391
F11	En iyi	1	1	1	1	1	1	1
	En kötü	1	918.542725	1	1	1	1	1
	Ortalama	1	2.000861	1	1	1	1	1
	Standart Sapma	0	29.099321	0	0	0	0	0
	Zaman	7.994006	6.623088	1.192924	1.359960	0.206897	3.308881	0.205743
F12	En iyi	0.1	180.327563	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	En kötü	0.1	180.327563	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Ortalama	0.1	180.327563	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Standart Sapma	1.4162e-15	8.5308e-13	1.4162e-15	1.4162e-15	1.4162e-15	1.4162e-15	1.4162e-15
	Zaman	6.815419	4.139830	0.783110	0.899623	0.148833	2.231517	0.160007
F13	En iyi	-24.156816	-24.156815	-0.246302	-0.246302	-0.246302	-0.246302	-0.246302
	En kötü	-0.246302	-18.176481	-0.246302	-0.246302	-0.246302	-0.246302	-0.246302
	Ortalama	-24.109874	-24.149580	-0.246302	-0.246302	-0.246302	-0.246302	-0.246302
	Standart Sapma	0.834451	0.189231	4.4431e-16	4.4431e-16	4.4431e-16	4.4431e-16	4.4431e-16
	Zaman	7.132531	4.427749	0.969207	1.111070	0.156309	2.707710	0.168092
F14	En iyi	-42.944116	-42.943943	7.605335	7.605335	7.605335	7.605335	7.605335
	En kötü	-24.810252	-42.360501	7.605335	7.605335	7.605335	7.605335	7.605335
	Ortalama	-42.602646	-42.931660	7.605335	7.605335	7.605335	7.605335	7.605335
	Standart Sapma	0.966212	0.070240	1.8661e-14	1.8661e-14	1.8661e-14	1.8661e-14	1.8661e-14
	Zaman	7.178212	4.366118	0.999116	1.124213	0.157409	2.565192	0.163732
F15	En iyi	4.8482e-05	4.8482e-05	4.9158e-05	4.9158e-05	4.9158e-05	4.9158e-05	4.9158e-05
	En kötü	4.8520e-05	4.8868e-05	4.9158e-05	4.9158e-05	4.9158e-05	4.9158e-05	4.9158e-05
	Ortalama	4.8482e-0	4.8484e-05	4.9158e-05	4.9158e-05	4.9158e-05	4.9158e-05	4.9158e-05
	Standart Sapma	1.9327e-09	2.2628e-08	9.4915e-20	9.4915e-20	9.4915e-20	9.4915e-20	9.4915e-20
	Zaman	7.046991	4.314636	0.830622	0.946094	0.152545	2.517994	0.164311

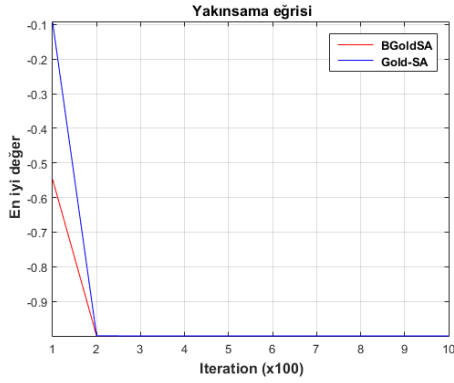
Tablo 6.3. Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F16	En iyi	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	En kötü	-1	-8.8300e-05	-1	-1	-1	-1	-1
	Ortalama	-1	-0.954179	-1	-1	-1	-1	-1
	Standart Sapma	0	0.199435	0	0	0	0	0
	Zaman	6.227638	4.344581	0.844646	0.958453	0.153225	2.469179	0.165363
F17	En iyi	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	En kötü	0.0001	1.054243	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Ortalama	0.0001	0.013543	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Standart Sapma	1.8305e-18	0.087842	1.8305e-18	1.8305e-18	1.8305e-18	1.8305e-18	1.8305e-18
	Zaman	6.195845	4.364780	0.842124	0.955662	0.153423	2.462592	0.165848
F18	En iyi	-1	-1	-3.0308e-05	-3.0308e-05	-3.0308e-05	-3.0308e-05	-3.0308e-05
	En kötü	-0.547737	-6.222373	-3.0308e-05	-3.0308e-05	-3.0308e-05	-3.0308e-05	-3.0308e-05
	Ortalama	-0.999469	-0.994874	-3.0308e-05	-3.0308e-05	-3.0308e-05	-3.0308e-05	-3.0308e-05
	Standart Sapma	0.014345	0.063126	2.9153e-19	2.9153e-19	2.9153e-19	2.9153e-19	2.9153e-19
	Zaman	7.109657	4.361893	0.954299	1.085215	0.158615	2.674833	0.163956
F19	En iyi	0.064470	0.064470	0.363477	0.363477	-3.950966	0.363477	-4.340140
	En kötü	0.066540	0.067908	0.363477	0.363477	-3.756380	0.363477	-3.561792
	Ortalama	0.064474	0.064477	0.363477	0.363477	-3.950188	0.363477	-4.298499
	Standart Sapma	6.7729e-05	0.000154	4.4431e-15	4.4431e-15	0.012288	4.4431e-15	0.104152
	Zaman	6.918809	4.601044	1.066750	1.211908	0.168750	2.781859	0.174892
F20	En iyi	0	7.6865e-05	0	0	0	0	0
	En kötü	0	79.152744	0	0	0	0	0
	Ortalama	0	0.286966	0	0	0	0	0
	Standart Sapma	0	2.665055	0	0	0	0	0
	Zaman	6.858529	4.302708	1.087719	1.214890	0.242009	3.532859	0.201373
F21	En iyi	6.9563e-07	1.0615e-05	106	106	106	106	106
	En kötü	25.464426	7.962858	106	106	106	106	106
	Ortalama	0.453859	0.032987	106	106	106	106	106
	Standart Sapma	1.568826	0.372688	0	0	0	0	0
	Zaman	6.871657	4.233090	0.919269	1.054212	0.154397	2.646730	0.160706

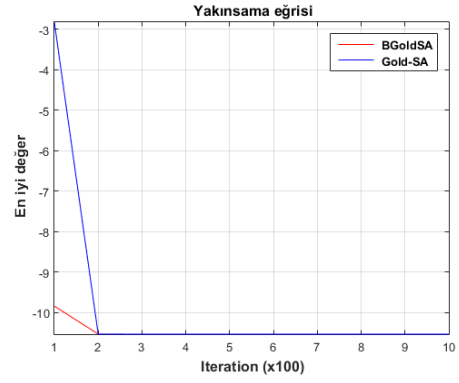
Tablo 6.3. Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F22	En iyi	-19.208493	-19.208463	-1.663770	-1.663770	-1.663770	-1.663770	-1.663770
	En kötü	-1.678720	-16.860686	-1.663770	-1.663770	-1.663770	-1.663770	-1.663770
	Ortalama	-19.171495	-19.183897	-1.663770	-1.663770	-1.663770	-1.663770	-1.663770
	Standart Sapma	0.586366	0.166194	1.2663e-14	1.2663e-14	1.2663e-14	1.2663e-14	1.2663e-14
	Zaman	7.192458	4.497971	0.974968	1.129934	0.150434	2.713725	0.164771
F23	En iyi	-0.963535	-0.963534	-0.692200	-0.692200	-0.692200	-0.692200	-0.692200
	En kötü	-0.692201	-0.953895	-0.692200	-0.692200	-0.692200	-0.692200	-0.692200
	Ortalama	-0.962623	-0.963476	-0.692200	-0.692200	-0.692200	-0.692200	-0.692200
	Standart Sapma	0.011833	0.000598	7.7754e-15	7.7754e-15	7.7754e-15	7.7754e-15	7.7754e-15
	Zaman	7.159997	4.489955	0.983898	1.135245	0.149320	2.729339	0.167978
F24	En iyi	-10.872300	-10.872300	-9.149306	-9.149306	-9.149306	-9.149306	-9.149306
	En kötü	-10.859892	-10.423165	-9.149306	-9.149306	-9.149306	-9.149306	-9.149306
	Ortalama	-10.872274	-10.866331	-9.149306	-9.149306	-9.149306	-9.149306	-9.149306
	Standart Sapma	0.000554	0.039969	4.9763e-14	4.9763e-14	4.9763e-14	4.9763e-14	4.9763e-14
	Zaman	6.734906	4.403961	0.959697	1.094953	0.150241	2.676073	0.164098
F25	En iyi	-186.730891	-186.730878	3.180351	3.180351	3.180351	3.180351	3.180351
	En kötü	-63.960095	-44.754040	3.180351	3.180351	3.180351	3.180351	3.180351
	Ortalama	-185.721468	-184.798935	3.180351	3.180351	3.180351	3.180351	3.180351
	Standart Sapma	5.191815	14.803815	2.7992e-14	2.7992e-14	2.7992e-14	2.7992e-14	2.7992e-14
	Zaman	6.662924	4.118581	0.913043	1.049847	0.157430	2.628107	0.164174
F26	En iyi	-10.536320	-10.536369	-5.128471	-5.128471	-5.128471	-5.128471	-5.128471
	En kötü	-9.843035	-1.451323	-5.128471	-5.128471	-5.128471	-5.128471	-5.128471
	Ortalama	-10.531294	-10.448743	-5.128471	-5.128471	-5.128471	-5.128471	-5.128471
	Standart Sapma	0.053524	0.585179	1.6884e-14	1.6884e-14	1.6884e-14	1.6884e-14	1.6884e-14
	Zaman	9.187384	5.480929	2.002756	2.150148	0.391532	5.203428	0.296890
F27	En iyi	0	0	0	0	0	0	0
	En kötü	0	0.145021	0	0	0	0	0
	Ortalama	0	0.000173	0	0	0	0	0
	Standart Sapma	0	0.004667	0	0	0	0	0
	Zaman	6.293130	4.520269	0.965420	1.102240	0.153580	2.643684	0.162774

Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarında bGold-SA ve Gold-SA değişen değerler ürettiklerinden yakınsama grafikleri bu algoritmalar üzerinden oluşturulmuştur. Şekil 6.5’de F18 fonksiyonu, Şekil 6.6’da F26 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği gösterilmektedir.



Şekil 6.5 F18 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği



Şekil 6.6 F26 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği

6.4. Çok Modlu Değişken Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Deneysel Sonuçlar

Tablo 6.4’de elde edilen veriler incelendiğinde 17 fonksiyonun, bGold-SA 9’unda, Gold-SA 9’unda, BPSO 7’sinde, BBA 7’sinde, BGWO 4’ünde, BPSOGSA 7’sinde en iyi sonuca ulaştığı görülmüştür. Test sonuçları, bGold-SA ile Gold-SA’nın çok modlu değişken boyutlu fonksiyonlarda bir birlerine çok yakın çözüm ürettiğini göstermiştir. Algoritmalar F1, F4, F7, F8 ve F16 fonksiyonlarında optimuma yakın sonuç üretememişlerdir.

Tablo 6.4. Çok modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F1	En iyi	5.5263e-05	1.7387e-05	418.9829	418.9829	419.100705	418.9829	418.9829
	En kötü	418.892068	330.163480	419.291439	419.291439	419.285830	419.263390	419.319488
	Ortalama	5.648192	1.616494	418.984022	418.983517	419.125782	418.983461	419.028003
	Standart Sapma	33.933435	14.449711	0.014099	0.011890	0.030974	0.010708	0.080325
	Zaman	27.357737	4.726863	9.267753	9.959989	10.767299	29.930491	5.216786
F2	En iyi	0	0	0	0	5	0	0
	En kötü	9	266.132722	9	9	16	8	17
	Ortalama	0.009041	0.395896	0.039	0.013	7.998	0.018	2.697
	Standart Sapma	0.284606	8.887142	0.485505	0.301533	2.954780	0.331339	4.779543
	Zaman	14.397582	4.785720	8.355203	8.665825	10.771188	27.367192	4.611306
F3	En iyi	0.9	0.9	0.9	0.9	4.539693	0.9	0.9
	En kötü	1.232714	9.930788	8.080729	8.080730	11.621101	5.248193	13.745321
	Ortalama	0.900333	0.909454	0.932453	0.915259	4.916611	0.908050	2.595139
	Standart Sapma	0.010521	0.285866	0.345080	0.272951	0.412648	0.167488	3.003844
	Zaman	14.207735	4.912138	8.757874	8.786112	11.192869	27.500805	5.838378

Tablo 6.4. Çok modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F4	En iyi	1.4640e+03	1.3239e+03	8555	8555	40839	8565	40425
	En kötü	3.5238e+03	9.494427	8795	8855	41214	8823	41244
	Ortalama	1.5182e+03	9.6316e+04	8555.706	8555.787	40867.946	8565.318	40537.009
	Standart Sapma	1.5182e+03	3.0024e+06	10.560828	11.740847	49.144443	8.319501	201.770449
	Zaman	25.601319	5.278029	8.292503	8.827084	11.177317	31.096962	4.848635
F5	En iyi	4.4466e-323	9.8813e-324	0	0	6.590297	0	0
	En kötü	0.155099	0.619094	8.473238	9.414710	15.063536	7.531768	18.829420
	Ortalama	0.000157	0.000767	0.024478	0.025420	8.926086	0.016005	2.532557
	Standart Sapma	0.000800	0.019664	0.366419	0.404346	2.320246	0.295942	4.384424
	Zaman	14.846189	4.737781	7.903875	8.727609	11.241096	27.490129	4.667833
F6	En iyi	0	2.8580e-166	0	0	0.798000	0	0
	En kötü	0.000640	0.050178	2.573976	4.613916	6.786260	3.233766	8.076076
	Ortalama	6.8390e-07	7.2916e-05	0.008258	0.023835	2.584381	0.005467	1.162016
	Standart Sapma	2.0283e-05	0.001666	0.122339	0.222409	1.456223	0.113776	1.977511
	Zaman	17.861155	6.736744	8.672304	9.199431	12.192637	29.827390	5.232767
F7	En iyi	-8.8818e-16	-8.8818e-16	-8.8818e-16	-8.8818e-16	1.338730	0.717124	-8.8818e-16
	En kötü	1.170245	9.063949	1.962504	2.281200	2.075155	2.075155	2.376360
	Ortalama	0.001304	0.019946	0.010493	0.009093	1.631197	0.720314	0.441899
	Standart Sapma	0.037084	0.375510	0.108760	0.112404	0.264274	0.055885	0.742334
	Zaman	14.235125	4.901466	7.894757	8.364838	10.649791	27.703529	4.503520
F8	En iyi	1.000000	1.000000	5.979091	5.979091	26.349681	9.389330	9.298485
	En kötü	36.671244	310.441245	33.261005	43.491723	67.272553	33.261005	80.913510
	Ortalama	2.203342	3.604180	6.088219	6.040475	37.279499	9.426843	18.983565
	Standart Sapma	4.486358	20.902084	1.351820	1.354830	11.124709	0.827908	16.984637
	Zaman	21.356141	4.762570	7.993216	8.397432	10.762248	30.698090	4.637270
F9	En iyi	0	0	0	0	0.300000	0.2	0.4
	En kötü	0.229667	10.601339	0.300000	0.300000	0.684666	0.300000	0.684666
	Ortalama	0.000460	0.016866	0.167700	0.167700	0.305785	0.206700	0.400284
	Standart Sapma	0.010266	0.344045	0.129937	0.078005	0.025596	0.025015	0.009002
	Zaman	13.979125	4.732673	8.131628	8.281729	10.529822	29.230793	4.483918

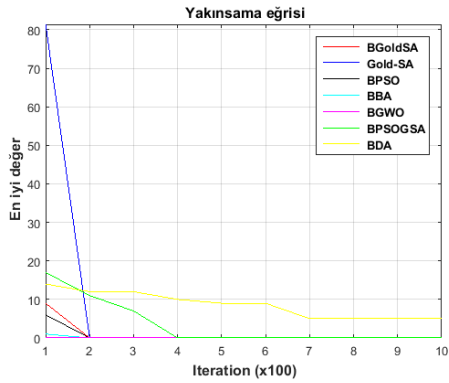
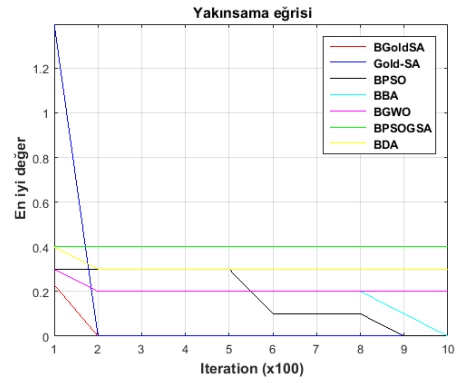
Tablo 6.4. Çok modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F10	En iyi	-1174.983587	-1174.983110	-150	-150	-210	-145	-250
	En kötü	-418.947810	-455.210652	-95	-85	-150	-95	-140
	Ortalama	-1171.677457	-1172.743485	-149.79	-149.825	-196.995	-144.915	-236.71
	Standart Sapma	32.490296	34.413938	2.73192	2.720621	12.847569	1.723585	23.569714
	Zaman	23.185312	6.203796	8.497878	8.884903	11.261162	31.259993	5.155615
F11	En iyi	0	0	0	0	0.034721	0.038527	0
	En kötü	0.028790	0.005524	0.277863	0.416555	0.551385	0.315990	0.551385
	Ortalama	2.8830e-05	8.4053e-06	0.000621	0.000913	0.153246	0.038963	0.056200
	Standart Sapma	0.000910	0.000180	0.010914	0.015693	0.111889	0.009531	0.101634
	Zaman	15.182717	6.251433	9.810032	9.392107	11.053319	30.426223	4.818008
F12	En iyi	-1	-1	1.2642e-08	1.2642e-08	9.1830e-13	2.4809e-08	1.4908e-14
	En kötü	6.4182e-10	3.5057e-09	5.1825e-06	3.7164e-05	1.2642e-08	5.1825e-06	1.2642e-08
	Ortalama	-0.997902	-0.998787	1.9045e-08	5.1357e-08	8.7107e-11	3.0199e-08	3.3304e-11
	Standart Sapma	0.038315	0.039131	1.6513e-07	1.1756e-06	4.0674e-10	1.6319e-07	4.0304e-10
	Zaman	14.707897	5.158429	9.378669	8.965019	12.621392	31.755539	5.294545
F13	En iyi	3.5124e-12	3.5124e-12	3.2639e-10	3.2639e-10	3.6629e-15	7.3191e-10	2.6709e-17
	En kötü	3.0181e-08	3.0262e-08	9.0462e-08	4.7560e-06	3.2639e-10	4.4448e-07	1.6393e-09
	Ortalama	4.5491e-11	3.3869e-11	4.4327e-10	5.1258e-09	1.4478e-12	1.1849e-09	1.9300e-12
	Standart Sapma	1.0188e-09	9.5686e-10	2.9096e-09	1.5039e-07	1.4776e-11	1.4034e-08	5.1869e-11
	Zaman	20.890925	4.760003	8.040038	8.308045	10.574567	31.024544	4.535172
F14	En iyi	4.4452e-10	9.8111e-09	1.3498e-32	1.3498e-32	0.7	0.1	1.3498e-32
	En kötü	0.9	15.962312	1.1	1.1	1.7	1	2
	Ortalama	0.014215	0.031848	0.003800	0.0015	1.145400	0.101900	0.281300
	Standart Sapma	0.084035	0.604274	0.049880	0.037002	0.148259	0.035604	0.496333
	Zaman	23.389865	7.156307	9.034169	9.472401	11.383190	31.373651	5.647830
F15	En iyi	9.5169e-11	3.2746e-08	1.668971	1.668971	2.132356	1.819506	1.472622
	En kötü	1.322469	15.906666	3.167773	3.671736	3.805254	3.370667	3.805254
	Ortalama	0.003729	0.024428	1.672525	1.673180	2.490309	1.822111	1.753951
	Standart Sapma	0.045907	0.541592	0.060473	0.071468	0.327109	0.053648	0.494508
	Zaman	23.891696	7.187984	9.228241	9.514353	11.474761	28.488935	5.444569

Tablo 6.4. Çok modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F16	En iyi	-12.957281	-14.766310	-4.389962	-4.389962	-7.316544	-4.389962	-7.316544
	En kötü	-5.826690	-6.186458	-4.389962	-4.389962	-7.311367	-4.389962	-7.314194
	Ortalama	-12.325212	-13.206250	-4.389962	-4.389962	-7.313776	-4.389962	-7.316005
	Standart Sapma	0.940773	1.021953	6.0426e-14	6.0426e-14	0.002570	6.0426e-14	0.000977
	Zaman	20.610226	4.832167	8.087236	8.230237	10.725994	30.383772	4.736199
F17	En iyi	4.2753e-06	1.3720e-07	2.0744e-06	7.2339e-06	73.003681	2.1024e-07	4.5838e-06
	En kötü	0.206363	0.373914	26.934139	37.625138	175.710476	34.710550	201.496676
	Ortalama	0.000788	0.001352	0.043785	0.072527	104.973422	0.045762	44.023377
	Standart Sapma	0.008740	0.015159	0.995615	1.423497	36.204898	1.142512	78.390346
	Zaman	14.959338	5.042838	7.888338	8.127584	10.478797	26.785672	4.692049

Çok modlu değişken boyutlu fonksiyonlardan F2'ye ait yakınsama grafiği Şekil 6.7'de, F9'a ait yakınsama grafiği Şekil 6.8'de gösterilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde bGold-SA'nın düşük en kötü değerle kısa sürede en iyi değere ulaştığı görülmektedir.

**Şekil 6.7** F2 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği**Şekil 6.8** F9 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği

6.5. CEC 2017 Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Deneysel Sonuçlar

Tablo 6.5 incelendiğinde bGold-SA'nın 30 fonksiyondan 11'inde optimuma yakın sonucu verirken, Gold-SA 15'inde, BPSO, BBA ve BGWO 1'er fonksiyonda optimuma yakın sonucu vermiştir. BDA ve BPSOGSA ise herhangi bir fonksiyonda optimuma yakın sonuç vermediği görülmüştür. En kötü çözümde bGoldSA 4/29, Gold-SA 25/29'sinde minimum değer elde ederken diğer algoritmalar sadece F2 fonksiyonda minimum değer üretmiştir.

Tablo 6.5. CEC 2017 kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F1	En iyi	5.9589e+08	6.0037e+08	2.9278e+10	2.9278e+10	1.3429e+11	2.9278e+10	1.3310e+11
	En kötü	2.8104e+10	1.8423e+10	2.9452e+10	2.9452e+10	1.3482e+11	2.9452e+10	1.3543e+11
	Ortalama	2.2434e+09	1.1635e+09	2.9278e+10	2.9278e+10	1.3433e+11	2.9278e+10	1.3333e+11
	Standart Sapma	2.3135e+09	1.0808e+09	3.8904e+06	7.7562e+06	5.8899e+07	5.6037e+06	4.6671e+08
	Zaman	12.442720	4.573344	3.274336	3.321278	1.778352	11.297757	0.781155
F2	En iyi	0	0	0	0	0	0	0
	En kötü	0	0	0	0	0	0	0
	Ortalama	0	0	0	0	0	0	0
	Standart Sapma	0	0	0	0	0	0	0
	Zaman	14.310177	7.948388	4.123178	4.130717	1.915343	12.224760	1.189726
F3	En iyi	3889.54247	6972.18740	7.7441e+04	7.7441e+04	1.4136e+14	7.7441e+04	1.1337e+14
	En kötü	1.9283e+04	1.7886e+04	2.3799e+05	2.3799e+05	1.4928e+14	1.4347e+05	1.5298e+14
	Ortalama	6377.62798	8085.33394	7.7602e+04	7.7690e+04	1.4144e+14	7.7507e+04	1.1932e+14
	Standart Sapma	5252.06007	1041.70877	5.0771e+03	5.3363e+03	2.8395e+11	2.0880e+03	1.1524e+13
	Zaman	13.543949	4.629472	3.798013	3.510336	1.638843	12.133439	0.883833
F4	En iyi	523.136430	515.871717	5712.236819	5712.236819	5.5961e+04	5712.236819	5.5503e+04
	En kötü	5.2837e+03	1.5333e+03	5.7775e+03	5.7775e+03	5.6034e+04	5.7539e+03	5.6704e+04
	Ortalama	669.795362	660.126503	5.7123e+03	5.7123e+03	5.5968e+04	5.7123e+03	5.5601e+04
	Standart Sapma	318.801741	123.753113	2.063192	2.270761	9.087326	1.317560	203.299828
	Zaman	11.942213	4.718775	3.188976	3.385898	1.574530	11.284463	0.806113
F5	En iyi	598.779709	601.009759	711.415647	711.415647	1.3412e+03	711.415647	1.3178e+03
	En kötü	679.579981	642.832991	715.574629	715.574629	1.3470e+03	715.291097	1.3178e+03
	Ortalama	608.764063	602.084631	711.421814	711.419806	1.3413e+03	711.419917	1.3552e+03
	Standart Sapma	16.967134	5.407850	0.144120	0.131519	0.313222	0.123172	8.692870
	Zaman	11.978110	4.521818	3.160486	3.364307	1.613097	12.107825	0.802389
F6	En iyi	670.769843	678.961987	709.326559	709.326559	736.361768	709.326559	727.008585
	En kötü	696.596221	702.738611	720.028652	720.028652	737.870197	720.028652	743.755296
	Ortalama	671.325276	679.634793	709.340400	709.337262	736.441631	709.340305	728.905435
	Standart Sapma	1.165417	1.517487	0.352591	0.338430	0.262807	0.346298	3.836231
	Zaman	11.968557	4.647296	3.214954	3.544374	1.721712	11.338481	1.162647

Tablo 6.5. CEC 2017 kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F7	En iyi	799.574368	800.988442	862.923676	862.923676	2.1463e+03	862.923676	2.0508e+03
	En kötü	865.815828	900.431905	889.918396	889.918396	2.1765e+03	889.918396	2.1851e+03
	Ortalama	808.537955	804.397308	862.974067	862.950670	2.1478e+03	869.868841	2.0736e+03
	Standart Sapma	8.468035	11.391027	1.022992	0.853648	4.252548	0.634657	42.965387
	Zaman	11.415531	4.568899	3.349569	3.818408	1.602295	11.893365	0.818899
F8	En iyi	867.097193	872.090751	930.833257	930.833257	1.6777e+03	930.833257	1.6566e+03
	En kötü	921.437608	903.048016	937.834916	937.834916	1.6907e+03	937.834916	1.7082e+03
	Ortalama	868.764340	872.366362	930.842417	930.843197	1.6779e+03	930.842832	1.6612e+03
	Standart Sapma	5.111480	1.870222	0.231624	0.240028	0.818042	0.235814	9.388863
	Zaman	11.695731	5.471178	3.316122	3.459369	1.634365	11.366527	0.835692
F9	En iyi	1064.20281	1019.47643	4.1259e+03	4.1259e+03	4.2304e+04	4.1259e+03	3.0751e+04
	En kötü	3.3199e+03	4.0099e+03	4.2670e+03	4.2670e+03	4.6872e+04	4.2670e+03	6.3460e+04
	Ortalama	1.2578e+03	1.0743e+03	4.1261e+03	4.1261e+03	4.2485e+04	4.1261e+03	3.3881e+04
	Standart Sapma	313.406193	207.788597	4.465075	6.304420	551.022611	5.777055	6.2816e+03
	Zaman	12.218552	4.569222	3.064301	3.405610	1.614200	11.084333	0.818760
F10	En iyi	2.0879e+03	1.8599e+03	5.8553e+03	5.8553e+03	2.0599e+04	5.8553e+03	2.0052e+04
	En kötü	5.5172e+03	3.2371e+03	6.0035e+03	6.0035e+03	2.1032e+04	6.0035e+03	2.1254e+04
	Ortalama	2.5344e+03	2.3581e+03	5.8555e+03	5.8555e+03	2.0623e+04	5.8555e+03	2.0176e+04
	Standart Sapma	396.014479	307.712422	5.121077	5.245204	38.309408	4.689423	236.424715
	Zaman	12.020108	4.662019	3.137523	3.391988	1.637658	11.174168	0.840147
F11	En iyi	1201.11027	1305.86830	5.9355e+07	5.9355e+07	6.2895e+05	5.9355e+07	6.2860e+05
	En kötü	4.2253e+07	3.8980e+03	5.9355e+07	5.9355e+07	6.2900e+05	5.9355e+07	9.2715e+05
	Ortalama	4.4005e+04	1.5639e+03	5.9355e+07	5.9355e+07	6.2896e+05	5.9355e+07	6.3481e+05
	Standart Sapma	1.3361e+06	314.763693	0.046628	0.046628	5.353575	0.046628	2.3633e+04
	Zaman	11.956898	4.614295	3.107492	3.367200	1.597665	11.242668	0.807280
F12	En iyi	4.1247e+06	2.6071e+06	5.4440e+09	5.4440e+09	6.2895e+05	5.4440e+09	1.4022e+11
	En kötü	4.8590e+09	3.0822e+09	5.5161e+09	5.5161e+09	6.2900e+05	5.5161e+09	1.4220e+11
	Ortalama	4.2988e+07	1.8212e+07	5.4441e+09	5.4441e+09	6.2896e+05	5.4441e+09	1.4040e+11
	Standart Sapma	2.8348e+08	1.3877e+08	2.3219e+06	2.281158	5.353575	2.281158	3.8022e+08
	Zaman	12.089528	4.646611	3.152662	3.406293	1.597665	11.606256	0.837621

Tablo 6.5. CEC 2017 kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F13	En iyi	2.2997e+04	1.3117e+04	2.7156e+09	2.7156e+09	1.1223e+11	2.7156e+09	1.1189e+11
	En kötü	2.2964e+09	5.3952e+07	2.7156e+09	2.7156e+09	1.1254e+11	2.7156e+09	1.1325e+11
	Ortalama	7.4977e+06	4.2673e+05	2.7156e+09	2.7156e+09	1.1223e+11	2.7156e+09	1.1191e+11
	Standart Sapma	1.0062e+08	4.4984e+06	4.451684	4.230901	1.0059e+07	4.230901	1.042517
	Zaman	12.323372	4.651549	3.188291	3.445787	1.645400	11.385315	0.818264
F14	En iyi	1520.542674	1516.124932	2.1262e+09	2.1262e+09	1.4303e+09	2.1262e+09	1.4245e+09
	En kötü	1.8280e+09	1.6298e+06	2.1262e+09	2.1262e+09	1.4531e+09	2.1262e+09	1.4802e+09
	Ortalama	3.3766e+06	6.4994e+03	2.1262e+09	2.1262e+09	1.4304e+09	2.1262e+09	1.4249e+09
	Standart Sapma	7.2073e+07	8.9094e+04	0.000286	0.000201	1.3442e+06	0.000200	2.2819e+06
	Zaman	11.892775	4.626214	5.098106	5.010868	2.041756	16.967060	0.83385
F15	En iyi	5.1396e+03	4.9125e+03	6.8255e+08	6.8255e+08	2.3430e+10	6.8255e+08	2.3430e+10
	En kötü	4.1556e+08	3.0614e+07	6.8255e+08	6.8255e+08	2.3647e+10	6.8255e+08	2.3534e+10
	Ortalama	6.5016e+05	6.7498e+04	6.8255e+08	6.8255e+08	2.3430e+10	6.8255e+08	2.3438e+10
	Standart Sapma	1.4916e+07	1.3681e+06	5.6056e-06	5.9634e-06	9.6975e+06	5.6056e-06	8.2407e+06
	Zaman	12.593504	4.575936	3.388598	3.336256	1.627067	12.564045	0.800340
F16	En iyi	1889.872468	1924.702029	3392.16108	3392.16108	2.4042e+04	3392.16108	2.3738e+04
	En kötü	3.0232e+03	2.5584e+03	3.3974e+03	3.3974e+03	2.4320e+04	3.3974e+03	2.4301e+04
	Ortalama	1.9193e+03	2.0114e+03	3.3922e+03	3.3922e+03	2.4044e+04	3.3922e+03	2.3792e+04
	Standart Sapma	117.356851	87.038202	0.180083	0.188260	15.114683	0.164647	115.030102
	Zaman	11.712743	4.949941	3.134785	3.680790	1.663923	11.509327	0.814478
F17	En iyi	1794.066355	1800.331922	3214.42531	3214.42531	1.5583e+05	3214.42531	1.5329e+05
	En kötü	2.8454e+03	2.2157e+03	3.2214e+03	3.2214e+03	1.6148e+05	3.2147e+03	1.7247e+05
	Ortalama	1.8050e+03	1.8051e+03	3.2144e+03	3.2144e+03	1.5584e+05	3.2144e+03	1.5342e+05
	Standart Sapma	42.305664	14.573886	0.219843	0.221932	309.163927	0.010599	744.680564
	Zaman	12.781179	4.769960	3.309973	4.102173	1.687167	11.721715	0.895621
F18	En iyi	3896.632780	1.2304e+04	1.4231e+10	1.4231e+10	1.9045e+09	1.4231e+10	1.8753e+09
	En kötü	1.3875e+10	9.0771e+08	1.4231e+10	1.4231e+10	1.9383e+09	1.4231e+10	2.0121e+09
	Ortalama	5.7398e+07	3.9687e+06	1.4231e+10	1.4231e+10	1.9047e+09	1.4231e+10	1.8832e+09
	Standart Sapma	7.0588e+08	3.4498e+07	0.234765	0.318920	1.6683e+06	0.318920	1.8062e+07
	Zaman	12.048155	4.627629	3.146321	3.432627	1.606242	0.229576	0.889369

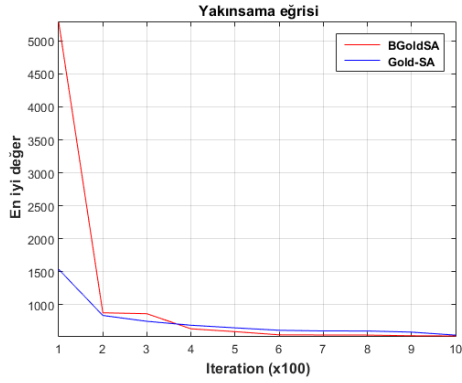
Tablo 6.5. CEC 2017 kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F19	En iyi	3.8148e+04	3.4899e+03	1.1800e+10	1.1800e+10	1.3538e+10	1.1800e+10	1.3538e+10
	En kötü	1.0157e+10	1.7627e+06	1.1800e+10	1.1800e+10	1.3625e+10	1.1800e+10	1.3818e+10
	Ortalama	3.2241e+07	5.9287e+04	1.1800e+10	1.1800e+10	1.3538e+10	1.1800e+10	1.3541e+10
	Standart Sapma	5.2855e+08	2.7890e+05	2.0228e-04	2.0228e-04	2.7439e+06	2.0228e-04	1.7532e+07
	Zaman	12.926403	6.036373	3.546906	3.863265	1.987225	11.620974	1.346014
F20	En iyi	2123.693715	2115.780374	3123.81448	3123.81448	5218.194637	3123.81448	5195.544358
	En kötü	3.1238e+03	2.5056e+03	3.1343e+03	3.1343e+03	5.2490e+03	3.1343e+03	5.4116e+03
	Ortalama	2.1738e+03	2.1180e+03	3.1238e+03	3.1238e+03	5.2183e+03	3.1238e+03	5.2022e+03
	Standart Sapma	61.178628	28.470361	0.330227	0.330238	1.082343	0.013416	17.643048
	Zaman	12.016328	4.969984	3.239513	3.566737	1.725617	11.230275	0.936436
F21	En iyi	2244.967233	2232.656308	2.8061e+03	2.8061e+03	4.2760e+03	2.8061e+03	4.2536e+03
	En kötü	2.7754e+03	2.4467e+03	2.8140e+03	2.8140e+03	4.2963e+03	2.8140e+03	4.3159e+03
	Ortalama	2.2739e+03	2.2537e+03	2.8061e+03	2.8061e+03	4.2767e+03	2.8061e+03	4260.181386
	Standart Sapma	64.588518	33.549761	0.288077	0.262545	1.265798	0.248723	12.871706
	Zaman	12.048195	4.990738	3.312301	3.562904	1.830811	11.785617	1.013864
F22	En iyi	2300.154602	2394.136614	5132.228937	5132.228937	2.0559e+04	5132.228937	2.0257e+04
	En kötü	5073.549823	4254.597267	5.2145e+03	5.2145e+03	2.0844e+04	5.2145e+03	2.1016e+04
	Ortalama	2323.440739	2528.368429	5.1323e+03	5.1323e+03	2.0567e+04	5.1323e+03	2.0362e+04
	Standart Sapma	142.659118	266.246882	2.757242	2.601588	31.072731	2.701522	207.691592
	Zaman	12.908992	5.040280	3.333831	3.601053	1.902719	11.665955	1.082821
F23	En iyi	2640.635431	2638.243014	4.2407e+03	4.2407e+03	9.5160e+03	4.2407e+03	9.2870e+03
	En kötü	4.3127e+03	2903.289515	4.3127e+03	4.3127e+03	9.6080e+03	4.3127e+03	9.6685e+03
	Ortalama	2.6633e+03	2657.166297	4.2408e+03	4.2409e+03	9.5221e+03	4.2408e+03	9.3321e+03
	Standart Sapma	80.730598	22.301478	2.320019	2.717864	9.214373	2.506823	89.772242
	Zaman	12.249050	4.9047281	3.277535	3.507902	1.882935	11.265508	1.077086
F24	En iyi	2627.582793	2684.573442	3380.277943	3380.277943	6.8305e+03	3380.277943	6.8118e+03
	En kötü	3.3664e+03	3.0545e+03	3.3852e+03	3.3852e+03	6.8369e+03	3.3843e+03	6.8454e+03
	Ortalama	2.6888e+03	2.7339e+03	3.3803e+03	3.3803e+03	6.8306e+03	3.3803e+03	6.8158e+03
	Standart Sapma	89.107061	66.006450	0.167164	0.159713	0.470968	0.128704	8.095787
	Zaman	12.220365	4.906853	3.251110	3.540109	1.898241	11.259592	1.109442

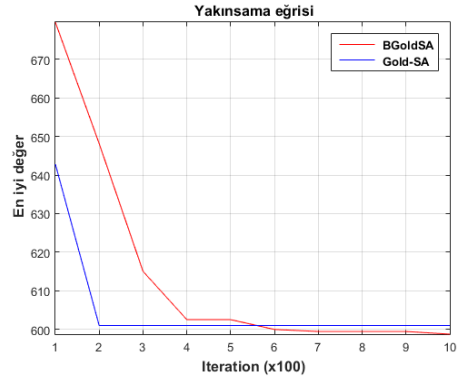
Tablo 6.5. CEC 2017 kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
F25	En iyi	2968.911374	2957.101011	4.7806e+03	4.7806e+03	1.9558e+04	4.7806e+03	1.9370e+04
	En kötü	4.7313e+03	4187.304639	4.7937e+03	4.7937e+03	1.9685e+04	4.7937e+03	1.9785e+04
	Ortalama	3.0730e+03	2975.520915	4.7806e+03	4.7806e+03	1.9566e+04	4.7806e+03	1.9413e+04
	Standart Sapma	218.255705	55.103786	0.414637	0.413720	21.500335	0.413720	81.887489
	Zaman	12.692169	5.159031	3.287369	3.523469	1.926844	11.569192	1.115539
F26	En iyi	3853.34955	3229.419197	5.6888e+03	5.6888e+03	2.0179e+04	5.6888e+03	1.9971e+04
	En kötü	5.5288e+03	4.6570e+03	5.7221e+03	5.7221e+03	2.0250e+04	5.7122e+03	2.0323e+04
	Ortalama	4.3575e+03	3.2797e+03	5.6888e+03	5.6888e+03	2.0186e+04	5.6888e+03	2.0011e+04
	Standart Sapma	310.972182	106.255516	1.053802	1.053802	8.765590	0.747453	79.356462
	Zaman	12.472640	5.127496	3.362863	3.701980	1.998697	11.801670	1.195908
F27	En iyi	3144.571685	3139.733827	4.8606e+03	4.8606e+03	1.8736e+04	4.8606e+03	1.8332e+04
	En kötü	4.7424e+03	3.2798e+03	4.9223e+03	4.9223e+03	1.8848e+04	4.9124e+03	1.8953e+04
	Ortalama	3.2754e+03	3.1464e+03	4.8607e+03	4.8791e+03	1.8747e+04	4.8607e+03	1.8407e+04
	Standart Sapma	206.149277	18.677951	2.111938	8.083294	23.596770	1.635534	151.831123
	Zaman	12.528221	5.230077	3.376486	3.755806	2.053700	11.894457	1.305516
F28	En iyi	3242.769641	3234.981856	4.4631e+03	4.4631e+03	2.0003e+04	4.4631e+03	1.9784e+04
	En kötü	4.3351e+03	3.7237e+03	4.4738e+03	4.4738e+03	2.0115e+04	4.4735e+03	2.0219e+04
	Ortalama	3.3188e+03	3.2866e+03	4.4632e+03	4463.164159	2.0044e+04	4.4632e+03	1.9821e+04
	Standart Sapma	124.177164	108.136166	0.350447	0.361869	6.415126	0.326556	78.997719
	Zaman	12.245299	4.915424	3.268703	3.525745	2.011138	11.854319	1.178574
F29	En iyi	3376.402677	3329.815113	3.6897e+04	3.6897e+04	6.2495e+06	3.6897e+04	6.2021e+06
	En kötü	1.8735e+04	3699.886065	4.0673e+04	4.0673e+04	6.3958e+06	4.0673e+04	6.5970e+06
	Ortalama	3.4299e+03	3358.606187	3.6903e+04	3.6903e+04	6.2504e+06	3.6903e+04	6.2134e+06
	Standart Sapma	499.768574	35.588633	136.552756	119.417528	7.0772e+03	120.496305	2.7378e+04
	Zaman	12.352969	4.975743	3.331064	3.534559	1.824272	11.544243	1.050490

CEC 2017 fonksiyonlarında bGold-SA ve Gold-SA haricindeki algoritmalar çok kötü değer ürettiklerinden yakınsama grafikleri bu iki algoritma üzerinden oluşturulmuştur. F4 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği Şekil 6.9’da, F5 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği Şekil 6.10’da gösterilmektedir. Grafikler, bGold-SA’nın optimum değere ulaşmada daha başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.9 F4 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği



Şekil 6.10 F5 fonksiyonuna ait yakınsama grafiği

6.6. Mühendislik Tasarım Problemlerine Ait Deneysel Sonuçlar

Tablo 6.6'ya göre 14 mühendislik tasarım probleminden bGold-SA 9 problemde en iyi sonuca ulaşırken Gold-SA'nın 11 problemde en iyi sonuca ulaştığı görülmüştür. Diğer algoritmalarda ise herhangi bir problemde en iyi sonuca ulaşamadığı sonucuna varılmıştır.

Tüm mühendislik problemlerinde bGold-SA ile Gold-SA çok yakın değerler üretmişlerdir. Ancak en kötü çözüm değerleri incelendiğinde bGold-SA'nın E5 hariç tüm fonksiyonlarda Gold-SA'dan daha büyük sonuçlar elde edildiği görülmektedir. bGold-SA, Gold-SA'ya göre 17 problemin 4'ünde ortalama değerde, 2 problemde standart sapmada daha düşük sonucu elde etmiştir.

Tablo 6.6. Mühendislik tasarım problemlerine ait sonuçlar

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
E1	En iyi	2.4685e+04	2.4685e+04	4.0749e+04	4.0749e+04	4.0749e+04	4.0749e+04	4.0749e+04
	En kötü	3.2217e+04	2.4806e+04	4.0749e+04	4.0749e+04	4.0749e+04	4.0749e+04	4.0749e+04
	Ortalama	2.4730e+04	2.4686e+04	4.0749e+04	4.0749e+04	4.0749e+04	4.0749e+04	4.0749e+04
	Standart Sapma	581.960113	9.213927	4.6589e-10	4.6589e-10	4.6589e-10	4.6589e-10	4.6589e-10
	Zaman	9.045760	4.361109	1.633934	1.779568	0.486811	5.953033	0.273473
E2	En iyi	5.3621e+04	5.3613e+04	2.9160e+11	2.9160e+11	74950	74950	2.9160e+11
	En kötü	6.4001e+09	1.2121e+06	2.9160e+11	2.9160e+11	2.9160e+11	2.9160e+11	2.9160e+11
	Ortalama	2.2417e+08	6.1560e+04	2.9160e+11	2.9160e+11	2.9167e+08	2.9167e+08	2.9160e+11
	Standart Sapma	1.1655e+09	8.2410e+04	0	0	9.2212e+09	9.2212e+09	0
	Zaman	13.944138	7.069456	4.118110	4.348525	1.748478	12.199563	0.919936

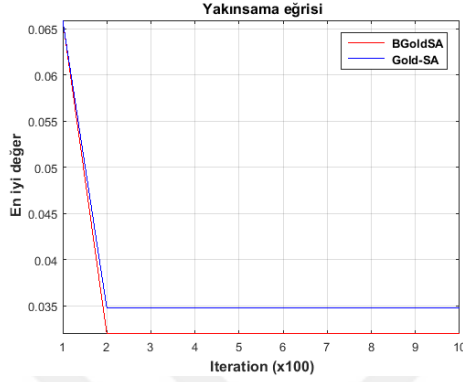
Tablo 6.6. Mühendislik tasarım problemlerine ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
E3	En iyi	3.0001e+03	3.0018e+03	1.7248e+13	1.7248e+13	1.5874e+08	1.5874e+08	1.7248e+13
	En kötü	2.3874e+07	3.6063e+03	1.7248e+13	1.7248e+13	1.7248e+13	1.7248e+13	1.7248e+13
	Ortalama	3.8576e+05	3.0658e+03	1.7248e+13	1.7248e+13	1.7407e+10	1.7407e+10	1.7248e+13
	Standart Sapma	2.9329e+06	57.520053	0.177823	0.177823	5.4544e+11	5.4544e+11	0.177823
	Zaman	12.484617	7.221728	3.462346	3.657698	1.018641	8.862550	0.602773
E4	En iyi	3.1966e-02	3.4747e-02	3.5723e-06	3.5723e-06	3.5723e-06	3.5723e-06	1.9033e+05
	En kötü	6.5911e-02	0.065911	4.1550e+05	4.1550e+05	4.1550e+05	4.1550e+05	1.9033e+05
	Ortalama	3.2258e-02	0.035339	415.498163	2.0797e+03	830.996324	8.3100e+03	1.9033e+05
	Standart Sapma	3.0614e-03	0.004169	2.2735e+04	2.9321e+04	1.8572e+04	5.8199e+04	4.2513e-09
	Zaman	10.904462	5.413848	4.392884	4.551631	2.776048	15.312735	1.259304
E5	En iyi	1.5760e-02	1.2669e-02	0	0	0	0	0
	En kötü	0.404857	0.441308	1	1	1	1	0
	Ortalama	1.7254e-02	0.013983	0.001	0.002	0.001	0.001	0
	Standart Sapma	2.1348e-02	0.018840	0.031623	0.044699	0.031623	0.031623	0
	Zaman	7.156667	4.372747	1.166240	1.316448	0.242584	3.641035	0.184619
E6	En iyi	9.7154e+03	6.2718e+03	1.6796e+27	1.6796e+27	1.6796e+27	1.6796e+27	1.6796e+27
	En kötü	1.6607e+27	6.9333e+05	1.6796e+27	1.6796e+27	1.6796e+27	1.6796e+27	1.6796e+27
	Ortalama	5.0268e+25	1.7434e+04	1.6796e+27	1.6796e+27	1.6796e+27	1.6796e+27	1.6796e+27
	Standart Sapma	2.8299e+26	5.1852e+04	6.0503e+12	6.0503e+12	6.0503e+12	6.0503e+12	6.0503e+12
	Zaman	7.925825	4.304216	1.384950	1.512887	0.353805	4.885576	0.224277
E7	En iyi	1.703812	1.715036	2.2468e+21	2.2468e+21	2.2468e+21	2.2468e+21	2.2468e+21
	En kötü	12.721352	5.620802	2.2493e+21	2.2468e+21	2.2468e+21	2.2493e+21	2.2468e+21
	Ortalama	2.112394	2.314417	2.2468e+21	2.2468e+21	2.2468e+21	2.2468e+21	2.2468e+21
	Standart Sapma	1.024674	0.795132	8.1491e+16	3.6719e+07	3.6719e+07	8.1491e+16	3.6719e+07
	Zaman	9.944167	6.311481	2.438100	2.576636	0.449328	5.745065	0.305565
E8	En iyi	263.534841	263.560342	282.8427	282.8427	282.8427	282.8427	282.8427
	En kötü	282.842712	268.903380	282.8427	282.8427	282.8427	282.8427	282.8427
	Ortalama	263.913203	264.660875	282.8427	282.8427	282.8427	282.8427	282.8427
	Standart Sapma	1.740568	1.837795	2.8436e-12	2.8436e-12	2.8436e-12	2.8436e-12	2.8436e-12
	Zaman	6.518687	4.258959	0.867713	1.001322	0.148371	2.690495	0.151250

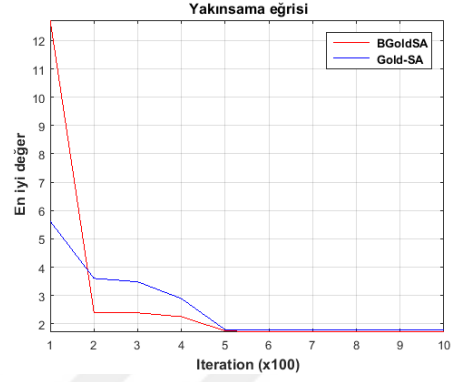
Tablo 6.6. Mühendislik tasarım problemlerine ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
E9	En iyi	15.282995	15.720889	1.2503e+09	1.2503e+09	1.2503e+09	1.2503e+09	1.2503e+09
	En kötü	1.2332e+09	22.437937	1.2503e+09	1.2503e+09	1.2503e+09	1.2503e+09	1.2503e+09
	Ortalama	2.4272e+06	15.809116	1.2503e+09	1.2503e+09	1.2503e+09	1.2503e+09	1.2503e+09
	Standart Sapma	5.1960e+07	0.450765	1.6698e-05	1.6698e-05	1.6698e-05	1.6698e-05	1.6698e-05
	Zaman	11.806030	7.234006	3.068013	3.260323	0.638348	7.384109	0.420848
E10	En iyi	4.289317	4.287226	2.0002e+08	2.0002e+08	2.0000e+04	2.0000e+04	2.0002e+08
	En kötü	2.0003e+08	1.2199e+03	2.0002e+08	2.0002e+08	2.0003e+08	2.0003e+08	2.0002e+08
	Ortalama	1.0003e+06	11.854089	2.0002e+08	2.0002e+08	2.2001e+05	2.2001e+05	2.0002e+08
	Standart Sapma	1.4116e+07	84.451017	4.1446e-06	4.1446e-06	6.3248e+06	6.3248e+06	3.1606e-06
	Zaman	343.035954	390.648051	167.499050	167.210348	24.142504	173.066514	23.656908
E11	En iyi	1.4696e+04	1.4756e+04	1.6217e+12	1.6217e+12	1.5376e+12	1.5376e+12	1.6217e+12
	En kötü	1.0525e+10	9.7926e+06	1.6217e+12	1.6217e+12	2.0841e+12	1.6217e+12	2.0841e+12
	Ortalama	2.9340e+08	4.6453e+06	1.6217e+12	1.6217e+12	1.5381e+12	1.5377e+12	1.6226e+12
	Standart Sapma	1.7299e+09	7.2987e+07	0	0	1.7282e+10	2.6595e+09	2.0669e+10
	Zaman	13.371652	7.500368	4.310333	4.523846	1.782065	12.093180	0.975019
E12	En iyi	2.9972e+06	2.9905e+06	1.0746e+08	1.0746e+08	1.0746e+08	1.0746e+08	1.0746e+08
	En kötü	3.7191e+06	3.4137e+06	1.0746e+08	1.0746e+08	1.0746e+08	1.0746e+08	1.0746e+08
	Ortalama	3.0553e+06	3.0113e+06	1.0746e+08	1.0746e+08	1.0746e+08	1.0746e+08	1.0746e+08
	Standart Sapma	1.2304e+05	5.4096e+04	0	0	0	0	0
	Zaman	7.774809	4.312863	1.425354	1.593459	0.360785	4.808417	0.231993
E13	En iyi	0.732258	1.3322e-14	0.732257	0.732257	0.020816	0.020816	0.732257
	En kötü	0.732258	0.000107	0.732257	0.732257	0.732257	0.732257	0.732257
	Ortalama	0.732258	2.4259e-07	0.732257	0.732257	0.021528	0.021528	0.732257
	Standart Sapma	1.5107e-14	4.7784e-06	1.5107e-14	1.5107e-14	0.022497	0.022497	1.5107e-14
	Zaman	9.187074	5.323636	1.894123	2.053899	0.408429	5.118987	0.270042
E14	En iyi	-2.9687e+04	-3.0666e+04	2.0367e+07	2.0367e+07	2.0367e+07	2.0367e+07	2.0367e+07
	En kötü	1.0157e+06	-2.8881e+04	2.0367e+07	2.0367e+07	2.0367e+07	2.0367e+07	2.0367e+07
	Ortalama	-6.6019e+03	-3.0631e+04	2.0367e+07	2.0367e+07	2.0367e+07	2.0367e+07	2.0367e+07
	Standart Sapma	1.5108e+05	190.844578	2.6090e-08	2.6090e-08	2.6090e-08	2.6090e-08	2.6090e-08
	Zaman	8.804041	4.342374	1.636328	1.779909	0.490358	5.920791	0.272893

Mühendislik tasarım problemlerinde bGold-SA ve Gold-SA'nın diğer algoritmalarla göre daha başarılı sonuçlar elde ettikleri görülmektedir. Bu problemlerden endüstriyel soğutmanın optimum tasarımına (E4) ait yakınsama grafiği Şekil 6.11'de, kaynaklı kırıç problemine (E7) ait yakınsama grafiği Şekil 6.12'de gösterilmektedir. Grafikler bGold-SA'nın hedefe ulaşmada daha başarılı olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 6.11 E4 problemine ait yakınsama grafiği



Şekil 6.12 E7 problemine ait yakınsama grafiği

6.7. Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testine Ait Deneysel Sonuçlar

Test sonuçlarından elde edilen değerlere bağlı olarak $\alpha = 0.05$ istatistiksel anlamlılık değeri kullanılarak bGold-SA ile diğer ikili optimizasyon algoritmaları kıyaslanmıştır. Sonuçlara göre $p < 0.05$ olması durumu, karşılaştırılan algoritmalarından elde edilen sonuçlar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farkın olduğunu göstermektedir. R^+ değeri bGold-SA'nın karşılaştırılan algoritmalarla göre üstün olan derecelerin toplamını, R^- değeri karşılaştırılan algoritmanın bGold-SA'ya göre üstün olan derecelerin toplamını göstermektedir. N^+ değeri bGold-SA'nın karşılaştırılan algoritmalarla göre üstün olan parçacık sayısını, N^- değeri bGold-SA'nın karşılaştırılan algoritmalarla göre üstün olmayan parçacık sayısını belirtmektedir. K değerinin "+" olması algoritmanın üstün olduğunu, "-" olması algoritmanın üstün olmadığını göstermektedir.

6.7.1. Tek Modlu Sabit Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testi Deneysel Sonuçları

Tek modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar Tablo 6.7'de gösterilmektedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde bGold-SA'nın Gold-SA'ya göre 9 fonksiyondan 5'inde, diğer algoritmalarla göre 6'sında üstün olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 6.7. Tek modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları

Fonksiyonlar	Gold-SA/ bGold-SA						BPSO/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	6,443E-159	3986	4	496514	996	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F2	7,82422E-06	207714	300	292786	700	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F3	0,163360	0	0	6	3	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F4	0,069326	6	3	0	0	+	-	0	0	0	0	=
F5	0,000359	171	18	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F6	2,4652E-151	9976	16	490524	984	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	4,5545E-164	500500	1000	0	0	+	-	0	0	0	0	=
F8	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F9	1,5832E-161	498541	998	1959	2	+	2,4171E-165	499500	999	0	0	+

Tablo 6.7. Tek modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları (devamı)

Fonksiyonlar	BBA/ bGold-SA						BDA/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F2	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F3	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F4	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F5	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F6	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F8	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F9	2,4171E-165	499500	999	0	0	+	2,4171E-165	499500	999	0	0	+

Tablo 6.7. Tek modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları (devamı)

Fonksiyonlar	BGWO/ bGold-SA						BPSOGSA / bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F2	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F3	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F4	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F5	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F6	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F8	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F9	2,4171E-165	499500	999	0	0	+	2,4171E-165	499500	999	0	0	+

6.7.2. Tek Modlu Değişken Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testi Deneysel Sonuçları

Tek modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait deneysel sonuçlar kullanılarak elde edilen Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları Tablo 6.8'de verilmektedir. Tablo incelendiğinde bGold-SA'nın Gold-SA'ya karşı 15/10, BBA'ya karşı 15/12, BGWO'ya karşı 15/14, diğer algoritmalara karşı 15/15 başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 6.8. Tek modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları

Fonksiyonlar	Gold-SA/ bGold-SA						BPSO/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	0,001574	105	14	0	0	+	6,07379E-05	190	19	0	0	+
F2	0,038921	15	5	0	0	+	0,015485716	15	5	0	0	+
F3	0,000118	231	21	0	0	+	9,00782E-05	171	18	0	0	+
F4	0,000118	231	21	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F5	7,65252E-07	296179	725	203375	232	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F6	0,019814	0	0	36	8	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	4,5545E-164	16864	17	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+

Tablo 6.8. Tek modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları (devamı)

Fonksiyonlar	Gold-SA/ bGold-SA						BPSO/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F8	0,080545	3	2	0	0	+	0,004792	36	8	0	0	+
F9	1,6441E-120	36043	37	464457	963	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F10	0,287592	4	1	11	4	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F11	1,26297E-46	382489	862	118011	138	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F12	0,282861	15	5	30	4	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F13	0,038921	15	5	0	0	+	0,010549	21	6	0	0	+
F14	4,8991E-136	22540	23	477960	977	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F15	0,109896	23	5	5	2	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+

Tablo 6.8. Tek modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları (devamı)

Fonksiyonlar	BBA/ bGold-SA						BDA/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	0,022305	10	4	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F2	0,036819	3	2	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F3	0,877676	45	3	91	13	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F4	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F5	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F6	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	1,4115E-156	4990	5	6944	7	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F8	0,030684	6	3	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F9	1	8964	9	491536	991	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F10	0,000439	105	14	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F11	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F12	2,2041E-23	8515	130	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F13	0,010549	21	6	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F14	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F15	0,147254	15	3	6	3	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+

Tablo 6.8. Tek modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları (devamı)

Fonksiyonlar	BGWO/ bGold-SA						BPSOGSA / bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	3,88343E-48	39621	281	0	0	+
F2	0,022750	1	1	0	0	+	7,9111E-47	37401	273	0	0	+
F3	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,15313E-46	37128	272	0	0	+
F4	0,735316	36	3	55	10	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F5	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F6	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	235872	273	0	0	+
F8	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,54689E-44	33670	259	0	0	+
F9	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F10	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	8,25002E-48	39060	279	0	0	+
F11	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F12	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F13	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F14	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F15	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+

6.7.3. Çok Modlu Sabit Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testi Deneysel Sonuçları

Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait deneysel sonuçlar Tablo 6.9'da verilmektedir. Tablo incelendiğinde bGold-SA'nın Gold-SA'ya karşı 27/20, BPSO'ya karşı 20/20, BBA'ya karşı 20/20, BDA'ya karşı 23/22, BGWO'ya karşı 20/20, BPSOGSA'ya karşı 23/22 başarı elde ettiği görülmektedir. Eşitlik durumu olan fonksiyonlar Wilcoxon'un işaretli sıra testinin hesaplanması için uygun olmadığından kıyaslamaya dahil edilmemektedir.

Tablo 6.9. Çok modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları

Fonksiyonlar	Gold-SA/ bGold-SA						BPSO/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	0,027924	21	6	0	0	+	-	0	0	0	0	=
F2	8,2703E-77	420802	847	79698	153	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F3	0,379957	1332	24	1224	47	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F4	4,5682E-164	0	0	500500	1000	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F5	1,01771E-09	192780	216	307720	784	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F6	3,3497E-160	497513	997	2987	3	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	4,5682E-164	0	0	500500	1000	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F8	0,013777	273952	739	226548	261	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F9	0,281692	257871	506	242629	494	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F10	4,34065E-27	5468	20	36727	270	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F11	0,009743	45	9	0	0	+	-	0	0	0	0	=
F12	4,5545E-164	500500	1000	0	0	+	-	0	0	0	0	=
F13	3,66621E-49	386126	874	114374	126	+	2,4171E-165	499500	999	0	0	+
F14	3,66621E-49	386126	874	114374	126	+	2,4171E-165	499500	999	0	0	+
F15	0,038921	15	5	0	0	+	5,1221E-165	497503	997	0	0	+
F16	2,58439E-11	1953	62	0	0	+	-	0	0	0	0	=
F17	3,04129E-14	3240	80	0	0	+	-	0	0	0	0	=
F18	0,018205	195898	439	160692	405	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F19	0,028005	1861	32	989	43	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F20	4,5545E-164	500500	1000	0	0	+	-	0	0	0	0	=
F21	1,8259E-149	11476	151	489024	849	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F22	8,2263E-138	479452	978	21048	22	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F23	0,283796	14849	151	13117	85	+	2,4171E-165	499500	999	0	0	+
F24	8,7387E-155	445096	943	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F25	5,84803E-09	195378	463	305122	537	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F26	3,69351E-46	118689	395	381811	605	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F27	0,027924	21	6	0	0	+	-	0	0	0	0	=

Tablo 6.9. Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları (devamı)

Fonksiyonlar	BBA/ bGold-SA						BDA/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F2	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F3	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F4	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F5	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F6	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F8	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F9	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F10	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F11	-	0	0	0	0	=	0,022750	1	1	0	0	+
F12	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F13	2,4171E-165	499500	999	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F14	2,4171E-165	499500	999	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F15	5,1221E-165	497503	997	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F16	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F17	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F18	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F19	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1	0	0	500500	1000	-
F20	-	0	0	0	0	=	0,036819	3	2	0	0	+
F21	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F22	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F23	2,4171E-165	499500	999	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F24	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F25	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F26	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F27	-	0	0	0	0	=	0,036819	3	2	0	0	+

Tablo 6.9. Çok modlu sabit boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları (devamı)

Fonksiyonlar	BGWO/ bGold-SA						BPSOGSA / bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F2	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F3	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F4	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F5	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F6	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F8	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F9	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F10	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F11	-	0	0	0	0	=	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F12	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F13	2,4171E-165	499500	999	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F14	2,4171E-165	499500	999	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F15	5,1221E-165	497503	997	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F16	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F17	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F18	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F19	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1	0	0	500500	1000	-
F20	-	0	0	0	0	=	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F21	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F22	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F23	2,4171E-165	499500	999	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F24	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F25	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F26	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F27	-	0	0	0	0	=	0,022305	10	4	0	0	+

6.7.4. Çok Modlu Değişken Boyutlu Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testi Deneysel Sonuçları

Elde edilen deneysel sonuçlar Tablo 6.10'da verilmektedir. Tablo incelendiğinde bGold-SA'nın 17 fonksiyondan Gold-SA'ya karşı 11'inde, BBA'ya karşı 14'ünde, BPSOGSA ve BDA'ya karşı 16'sında, BPSO ve BGWO'ya karşı tamamında üstün olduğu görülmektedir.

Tablo 6.10. Çok modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları

Fonksiyonlar	Gold-SA/ bGold-SA						BPSO/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	6,6435E-158	4778	5	495722	995	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F2	0,004171	77	11	1	1	+	0,010330	68	8	10	4	+
F3	0,027924	21	6	0	0	+	0,004792	36	8	0	0	+
F4	4,4832E-116	40060	96	460440	904	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F5	0,055276	118	10	35	7	+	0,148836076	98	7	55	10	+
F6	0,003280669	78	12	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	0,000248	190	19	0	0	+	6,07379E-05	190	19	0	0	+
F8	1,46196E-63	95341	107	405159	893	-	4,0161E-163	497793	962	1707	37	+
F9	0,001574	105	14	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F10	1,7259E-123	33387	35	467113	965	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F11	0,003281	78	12	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F12	0,387307	122	7	109	14	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F13	0,398942	0	0	1	1	-	0,022750	1	1	0	0	+
F14	2,01022E-51	71399	134	288577	714	-	2,5805E-150	488566	988	11934	12	+
F15	9,71889E-85	290420	744	32386	59	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F16	2,3419E-153	492135	902	8365	98	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F17	0,000150	286523	422	213977	578	+	8,5055E-156	492940	992	7560	8	+

Tablo 6.10. Çok modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları (devamı)

Fonksiyonlar	BBA/ bGold-SA						BDA/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F2	0,887992	23	2	55	10	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F3	0,088765	12	3	3	2	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F4	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F5	0,907491845	48	3	105	14	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F6	1,01835E-43	32385	254	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	0,007124	28	7	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F8	1,4746E-121	464165	962	36334	37	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F9	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F10	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F11	0,015486	15	5	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F12	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	2,4171E-165	499500	999	0	0	+
F13	0,022750	1	1	0	0	+	0,5	0	0	1	1	-
F14	1	984	1	499516	999	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F15	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F16	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,85E-165	500464	992	36	8	+
F17	1,5196E-141	481397	912	19103	88	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+

Tablo 6.10. Çok modlu değişken boyutlu kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları (devamı)

Fonksiyonlar	BGWO/ bGold-SA						BPSOGSA/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F2	2,4171E-165	499500	999	0	0	+	2,45E-46	36585	270	0	0	+
F3	1,15313E-46	37128	272	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F4	1,15313E-46	37128	272	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F5	1,82805E-48	40186	283	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F6	4,05099E-49	41328	287	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	1,15313E-46	37128	272	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F8	1,2113E-160	495873	962	3627	37	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F9	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F10	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F11	1,15313E-46	37128	272	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F12	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	2,4171E-165	499500	999	0	0	+
F13	0,022750	1	1	0	0	+	0,5	0	0	1	1	-
F14	2,5805E-150	488566	988	11934	12	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F15	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F16	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,85E-165	500464	992	36	8	+
F17	6,7902E-107	450588	948	49912	52	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+

6.7.5. CEC 2017 Kıyaslama Fonksiyonlarına Ait Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testi Deneysel Sonuçları

Tablo 6.11'de yer alan CEC 2017 kıyaslama fonksiyonlarına ait deneysel sonuçlar incelendiğinde bGold-SA'nın Gold-SA hariç tüm algoritmalarda 29 fonksiyonun 28'inde üstün sonuç verdiğini göstermektedir. bGold-SA'nın Gold-SA'ya karşı 14 fonksiyonda daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 6.11.CEC 2017 kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları

Fonksiyonlar	Gold-SA/ bGold-SA						BPSO/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	5,0071E-135	475922	969	24578	31	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F2	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F3	1,6029E-163	500080	980	420	20	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F4	9,8206E-132	474299	973	26201	27	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F5	4,5682E-164	0	0	500500	1000	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F6	4,06711E-39	129412	456	371088	544	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	1,2196E-153	492360	966	8140	34	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F8	2,0694E-162	1275	5	499225	995	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F9	3,46713E-07	201985	590	298515	410	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F10	1,2148E-158	496298	978	4202	22	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F11	2,3887E-132	474825	974	25675	26	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F12	1,0728E-157	495558	992	4942	8	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F13	0,003528	278342	492	222158	508	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F14	8,2368E-128	29591	133	470909	867	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F15	7,96933E-95	60480	63	440020	937	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F16	1,39354E-27	149411	202	351089	798	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F17	4,5819E-164	1	1	500499	999	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F18	0,272579	242276	296	258224	704	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F19	3,4504E-160	497503	997	2997	3	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F20	5,3781E-118	462188	888	38312	112	+	2,4171E-165	499500	999	0	0	+
F21	5,0888E-164	36	8	500464	992	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F22	3,7805E-137	478896	944	21604	56	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F23	4,5682E-164	0	0	500500	1000	-	2,4171E-165	499500	999	0	0	+
F24	2,2074E-141	482427	978	18073	22	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F25	1,2301E-149	11338	25	489162	975	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F26	4,5682E-164	0	0	500500	1000	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F27	4,5682E-164	0	0	500500	1000	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F28	4,73137E-18	330905	756	169595	244	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F29	6,4204E-135	477014	973	23486	27	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+

Tablo 6.11. CEC 2017 kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları (devamı)

Fonksiyonlar	BBA/ bGold-SA						BDA/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F2	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F3	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F4	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F5	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F6	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F8	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F9	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F10	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F11	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	6,5534E-163	498501	998	1999	2	+
F12	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F13	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F14	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6654E-165	500499	999	1	1	+
F15	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F16	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F17	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F18	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	2,4584E-160	496503	994	3997	4	+
F19	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F20	2,4171E-165	499500	999	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F21	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F22	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F23	2,4171E-165	499500	999	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F24	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F25	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F26	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F27	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F28	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F29	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+

Tablo 6.11. CEC 2017 kıyaslama fonksiyonlarına ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları (devamı)

Fonksiyonlar	BGWO/ bGold-SA						BPSOGSA/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
F1	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F2	-	0	0	0	0	=	-	0	0	0	0	=
F3	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F4	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F5	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F6	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F7	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F8	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F9	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F10	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F11	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	6,5534E-163	498501	998	1999	2	+
F12	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F13	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F14	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6654E-165	500499	999	1	1	+
F15	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F16	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F17	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F18	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	2,4584E-160	496503	994	3997	4	+
F19	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F20	2,4171E-165	499500	999	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F21	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F22	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F23	2,4171E-165	499500	999	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F24	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F25	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F26	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F27	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F28	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
F29	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+

6.7.6. Mühendislik Tasarım Problemlerine Ait Wilcoxon'un İşaretli Sıra Testi Deneysel Sonuçları

Mühendislik tasarım problemlerine ait sonuçlar kullanılarak elde edilen Wilcoxon'un işaretli sıra testi değerleri Tablo 6.12'de yer almaktadır. Sonuçlar incelendiğinde bGold-SA'nın karşılaştırılan ikili algoritmalara göre daha başarılı olduğu görülmektedir. bGold-SA, 8 mühendislik tasarım probleminde Gold-SA'ya göre daha başarılı olmuştur.

Tablo 6.12.Mühendislik tasarım problemlerine ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları

Fonksiyonlar	Gold-SA/ bGold-SA						BPSO/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
E1	4,5682E-164	0	0	500500	1000	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E2	1,22257E-13	319600	799	180900	201	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E3	2,5197E-154	7596	9	492904	991	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E4	9,1478E-163	492528	992	0	0	+	1	43054	44	457446	956	-
E5	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	-	0	0	0	0	=
E6	1,0084E-107	47840	55	452660	945	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E7	1,22294E-64	406489	693	94011	307	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E8	1,09824E-96	58605	62	441895	938	-	3,5186E-165	498501	998	0	0	+
E9	1,6279E-133	475821	909	24679	91	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E10	3,9785E-150	489555	989	10945	11	+	7,4564E-165	496506	996	0	0	+
E11	6,6223E-99	444107	877	56393	123	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E12	0,000115	284371	585	211139	410	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E13	4,5682E-164	0	0	500500	1000	-	-	0	0	0	0	=
E14	4,5682E-164	0	0	500500	1000	-	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+

Tablo 6.12. Mühendislik tasarım problemlerine ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları (devamı)

Fonksiyonlar	BBA/ bGold-SA						BDA/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
E1	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E2	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,5776E-120	463241	962	37259	38	+
E3	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E4	1	13909	14	486591	986	-	1	41139	42	459361	958	-
E5	-	0	0	0	0	=	0,036819	3	2	0	0	+
E6	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E7	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E8	3,5186E-165	498501	998	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E9	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E10	7,4564E-165	496506	996	0	0	+	1,2463E-157	493520	992	5980	7	+
E11	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E12	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E13	-	0	0	0	0	=	1	0	0	496506	996	-
E14	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+

Tablo 6.12. Mühendislik tasarım problemlerine ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları (devamı)

Fonksiyonlar	BGWO/ bGold-SA						BPSOGSA/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
E1	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E2	1,5776E-120	463241	962	37259	38	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E3	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E4	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E5	-	0	0	0	0	=	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E6	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E7	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E8	3,5186E-165	498501	998	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E9	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E10	2,275E-156	492528	992	6972	7	+	7,4564E-165	496506	996	0	0	+
E11	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+

Tablo 6.12. Mühendislik tasarım problemlerine ait Wilcoxon'un işaretli sıra testi sonuçları (devamı)

Fonksiyonlar	BGWO/ bGold-SA						BPSOGSA/ bGold-SA					
	p-value	R+	N+	R-	N-	K	p-value	R+	N+	R-	N-	K
E12	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+
E13	1	0	0	499500	999	-	-	0	0	0	0	=
E14	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+	1,6604E-165	500500	1000	0	0	+

6.8. Özellik Seçimine Ait Deneysel Sonuçlar

Yüksek boyutlu verilerden en uygun özellikler seçilerek alt kümeler oluşturmak için sınıflandırma işlemi yapılır. Bu amaçla özellik seçimini gerçekleştirmek için birçok algoritma geliştirilmiştir. Çalışmamızda kıyaslama işleminde kullanılan algoritmaların özellik seçimi için geliştirilen yapılarını test etmek amacıyla 17 adet veri seti seçilmiştir. Bu algoritmalar 20 bağımsız çalışmada, 10 parçacık sayısı ve 100 iterasyon sayısı kullanılarak test edilmiştir. Test sonuçlarına göre doğruluk oranı, uygunluk değeri (fitness), sınıflandırma işlemi için seçilen özellik sayısı (boyut) ve işlem süresi (zaman) hesaplanarak Tablo 6.13 oluşturulmuştur.

Tablo 6.13 incelendiğinde;

- bGold-SA doğrulama değerinde 5/17, uygunluk değerinde 2/17, seçilen özellik sayısında 3/17, işlem süresi açısından 0/17 algortmada,
- Gold-SA doğrulama değerinde 5/17, uygunluk değerinde 2/17, seçilen özellik sayısında 3/17, işlem süresi açısından 4/17 algortmada,
- BPSO doğrulama değerinde 9/17, uygunluk değerinde 5/17, seçilen özellik sayısında 2/17, işlem süresi açısından 0/17 algortmada,
- BBA doğrulama değerinde 11/17, uygunluk değerinde 11/17, seçilen özellik sayısında 3/17, işlem süresi açısından 3/17 algortmada,
- BDA doğrulama değerinde 3/17, uygunluk değerinde 2/17, seçilen özellik sayısında 3/17, işlem süresi açısından 4/17 algortmada,
- BGWO doğrulama değerinde 6/17, uygunluk değerinde 4/17, seçilen özellik sayısında 4/17, işlem süresi açısından 1/17 algortmada,
- BPSOGSA doğrulama değerinde 4/17, uygunluk değerinde 3/17, seçilen özellik sayısında 7/17, işlem süresi açısından 4/17 algortmada başarılı sonuç elde etmiştir.

Sonuçlara göre önerilen bGold-SA'nın özellik seçimi konusunda başarılı olamadığı sonucuna varılmıştır. Bu konuda BBA ve BPSO'nun daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 6.13 Özellik seçimine ait sonuçlar

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
Covid19-Yeni Vaka	Doğruluk	90.909090	95	91.891891	96.428571	97.222222	91.176470	90.243902
	Fitness	0.155641	0.052833	0.083603	0.038690	0.0375	0.090686	0.231794
	Boyut	1	0.904263	1	1	3	1	1
	Zaman	31.127220	18.361379	29.436986	31.376371	5.686774	29.703548	5.771555
Covid19-Toplam Vaka	Doğruluk	100	100	100	100	100	100	100
	Fitness	0.195833	0.003333	0.003333	0.003333	0.01	0.003333	0.006666
	Boyut	1	1.428477	1	1	3	1	2
	Zaman	35.643042	28.416276	30.292188	31.219182	6.556432	30.516795	6.249125
Covid19-Yeni Ölüm	Doğruluk	33.962264	35.064935	36.363636	34.693877	31.288343	34.228187	34.545454
	Fitness	0.657106	0.646190	0.633333	0.649863	0.690245	0.654474	0.651333
	Boyut	0.795222	0.807134	1	1	1	1	1
	Zaman	10.457137	11.923768	18.706589	15.529105	3.035339	16.973869	3.284976
Covid19-Toplam Ölüm	Doğruluk	100	100	100	100	100	100	100
	Fitness	0.003333	0.003333	0.003333	0.003333	0.01	0.003333	0.003333
	Boyut	1	0.707546	1	1	2	1	1
	Zaman	29.175206	22.780248	27.660058	32.488667	6.351623	30.400072	6.595648
M-of-n	Doğruluk	100	100	100	100	85.8	100	76.4
	Fitness	0.004615	0.005384	0.005384	0.004615	0.14658	0.004615	0.023973
	Boyut	6	7.169198	7	6	6	6	7
	Zaman	11.663801	11.859422	13.102353	10.232038	13.809258	11.324615	10.385303
breastEW	Doğruluk	82.394366	81.403508	84.098939	84.912280	73.684210	81.754385	73.333333
	Fitness	0.182571	0.188932	0.161903	0.152472	0.197242	0.184769	0.182675
	Boyut	24	14.809190	13	9	4	12	5
	Zaman	9.789650	9.083191	11.056837	11.199810	12.341730	11.714902	9.208531
Clean	Doğruluk	89.915966	91.596638	94.957983	95.798319	79.831932	93.277310	84.453781
	Fitness	0.104802	0.091516	0.054407	0.045728	0.142538	0.071824	0.094299
	Boyut	83	85.254543	75	69	7	88	2
	Zaman	15.324174	16.271618	15.172195	11.507129	13.844956	14.872554	12.084508
coil	Doğruluk	99.722222	99.722222	100	99.861111	30.694444	99.861111	32.222222
	Fitness	0.005240	0.005220	0.004560	0.005555	0.021490	0.006033	0.003523
	Boyut	354	180.612013	467	428	8	477	5
	Zaman	428.293051	188.691846	257.752395	242.962770	277.590580	463.884115	526.473734
ionosphere	Doğruluk	90.909090	93.181818	96.590909	95.454545	93.181818	93.75	92.045454
	Fitness	0.092058	0.070147	0.039044	0.050588	0.060073	0.065404	0.092353
	Boyut	14	11.269208	18	19	6	12	6
	Zaman	11.024948	5.563392	10.100223	11.023261	11.926601	11.962162	9.677007

Tablo 6.13.Özellik seçimine ait sonuçlar (devamı)

	İstatistik	bGold-SA	Gold-SA	BPSO	BBA	BDA	BGWO	BPSOGSA
smeion	Doğruluk	98.117942	97.867001	98.996235	98.870765	90.840652	98.619824	90.966123
	Fitness	0.02353	0.028701	0.014201	0.015858	0.028884	0.0186448	0.023160
	Boyut	130	122.41635	113	124	6	132	3
	Zaman	142.724471	129.682758	119.401063	83.966875	87.891437	142.848390	72.139167
SPECT	Doğruluk	74.626865	77.611940	79.850746	80.597014	65.671641	75.373134	70.149253
	Fitness	0.258466	0.222096	0.202659	0.197544	0.270061	0.250169	0.234938
	Boyut	16	1.490518	7	12	5	14	7
	Zaman	12.736676	5.850303	10.496176	10.598188	11.721202	11.031385	9.199461
zoo	Doğruluk	100	100	100	100	94.117647	100	100
	Fitness	0.065110	0.0075	0.101433	0.00375	0.004375	0.005625	0.025829
	Boyut	12	12.397875	7	6	6	9	1
	Zaman	13.884776	11.655194	11.922577	10.859606	11.644098	8.634238	7.894940
glass	Doğruluk	100	100	100	100	98.130841	100	100
	Fitness	0.007	0.007	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003
	Boyut	7	7.05922	3	2	7	3	4
	Zaman	12.959466	9.918616	11.622547	14.871519	9.125629	12.308026	10.098222
heart	Doğruluk	80	84.444444	85.925925	86.666666	65.925925	82.962962	69.629629
	Fitness	0.201076	0.157076	0.193743	0.135077	0.179846	0.169435	0.193743
	Boyut	4	6.097353	4	4	6	1	4
	Zaman	11.870341	10.233025	12.006293	11.740268	11.738664	10.101605	9.503245
isolet5	Doğruluk	84.358974	83.333333	85.128205	86.538461	30.641025	84.102564	26.410256
	Fitness	0.161167	0.171628	0.152498	0.138164	0.214512	0.162165	0.200766
	Boyut	266.147090	269.060837	325	302	8	295	7
	Zaman	397.936417	261.001828	342.492374	341.964455	330.20915	194.98321	248.675075
lipid	Doğruluk	74.315068	75.342465	73.630136	98.876404	69.178082	72.945205	68.150684
	Fitness	0.258280	0.245110	0.266061	0.014969	0.301965	0.271842	0.300356
	Boyut	4	4.066913	5	5	6	4	5
	Zaman	12.157287	9.523746	10.323421	9.050078	12.492288	10.503125	12.105407
wine	Doğruluk	96.629213	96.629213	97.752808	97.752808	97.752808	98.876404	92.134831
	Fitness	0.038755	0.037216	0.026093	0.026093	0.016508	0.015739	0.048340
	Boyut	7	5.562145	5	5	6	6	5
	Zaman	11.742359	11.843805	10.347092	8.043776	10.384896	10.466984	10.234820

7. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çalışmada ikili optimizasyon kullanılarak sunulan hibrid algoritmaların başarımını değerlendirmek için 97 adet kıyaslama fonksiyonu kullanılarak elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Sonuçlar Tablo 7.1’de gösterilmektedir. Analiz sonucunda elde edilen bulgulara göre;

- bGold-SA 66,
- Gold-SA 64,
- BPSO 25,
- BBA 26,
- BDA 9,
- BGWO 19,
- BPSOGSA 23 fonksiyonda optimum veya optimuma en yakın sonuca ulaşmıştır.

Tablo 7.1. Kalite test fonksiyonları sonucu optimuma veya en yakın sonuca ulaşan algoritmalar

	Tek Modlu Sabit Boyutlu	Tek Modlu Değişken Boyutlu	Çok Modlu Sabit Boyutlu	Çok Modlu Değişken Boyutlu	CEC 2017	Toplam
bGold-SA	F1,F2,F3,F4, F5,F6,F7,F8, F9	F1,F2,F3,F4, F5,F6,F7,F8, F10,F11,F12, F15	F1,F2,F3,F4,F5, F6,F7,F8,F10, F11,F13,F14, F15,F16,F17, F18,F19,F20, F21,F22,F23, F24,F25,F26,F27	F2,F3,F5,F6, F9,F10,F11, F12, F15	F4,F5, F7,F9, F11,F14, F17,F20, F21,F22, F24	66
Gold-SA	F3,F4,F5, F8,F9	F1,F2,F3,F4, F6,F7,F8,F10, F12, F15	F1,F2,F3,F4,F5, F6,F7,F8,F9,F10, F11,F12,F13, F14,F15,F16, F17, F18,F19, F22,F23,F24, F25,F26,F27	F2,F3,F5,F6, F9,F10,F11, F12, F17	F4,F5, F7,F8,F9 F14,F17, F20,F21, F23,F25, F26,F27, F28, F29	64
BPSO	F4,F7,F8	F1, F2, F3, F7, F8, F9, F12, F15	F1,F11,F16, F17, F20,F27	F2,F3,F5,F6, F9,F11,F14	F6	25
BBA	F4,F7,F8	F1, F2, F3, F7, F8, F9, F10, F12,F15	F1,F11,F16, F17, F20,F27	F2,F3,F5,F6, F9,F11,F14	F6	26
BDA	F4,F7,F8	-	F1,F11,F16, F17, F20,F27	-	-	9
BGWO	F4,F7,F8	F2, F4, F7, F13,F15	F1,F11,F16, F17, F20,F27	F2,F3,F5,F6	F6	19
BPSOGSA	F4,F7,F8	F1, F2, F3, F7, F8, F10,F15	F1,F11,F16, F17, F20,F27	F2,F3,F5,F6, F11,F13,F14	-	23

İkili algoritmaların başarımları mühendislik tasarım problemleri üzerinde uygulandı. Bu problemler üzerinde elde edilen veriler incelendiğinde bGold-SA'nın diğer ikili algoritmalar karşısında önemli ölçüde başarı elde ettiği gözlemlenmiştir. Kıyaslama için kullanılan 14 problemin tamamında bGold-SA, diğer ikili algoritmalarından daha iyi sonuç elde etmiştir. Tablo 7.2'ye göre bGold-SA 9, Gold-SA 11 problemde optimuma yakın sonuca ulaştığı görülmektedir. İki algoritma da tüm problemlerde bir birine çok yakın sonuçlar üretmiştir. Diğer ikili algoritmaların herhangi bir problemde etkili olmadığı gözlenmiştir.

Tablo 7.2. Mühendislik tasarım problemleri sonucu optimuma ulaşan algoritmalar

	Problem Kodu	Problem Adı
bGold-SA	E1,E2,E3,E4, E7,E8,E10, E11,E12	Süreç tasarımı sorunu
		Çok ürünli parti tesisi
		Bir hız düşürücünün ağırlık minimizasyonu
		Endüstriyel soğutmanın optimum tasarımı
		Kaynaklı giriş
		Üç çubuklu kafes tasarım problemi
		Robot tutucu sorunu
		Yuvarlanan eleman yatak sorunu
		Gaz iletim kompresör tasarımı
Gold-SA	E1,E2,E3,E5, E6,E8,E9,E10, E12,E13,E14	Süreç tasarımı sorunu
		Çok ürünli parti tesisi
		Bir hız düşürücünün ağırlık minimizasyonu
		Gerginlik/sıkıştırma yayı tasarımı (durum 1)
		Basınçlı kap tasarımı
		Üç çubuklu kafes tasarım problemi
		Adım koni kasnağı sorunu
		Robot tutucu sorunu
		Gaz iletim kompresör tasarımı
		Dişli tren tasarım sorunu
		Himmelblau Fonksiyonu

97 adet kıyaslama fonksiyonlarına ait sonuçlar kullanılarak Wilcoxon'un işaretli sıralar testinde bGold-SA ile ikili optimizasyon algoritmaları kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bGold-SA 97 fonksiyondan Gold-SA'ya karşı 65'inde, BPSO'ya karşı 86'sında, BBA'ya karşı 80'inde, BGWO'ya karşı 85'inde, BDA'ya karşı 87'sinde ve BPSOGSA'ya karşı 87'sinde üstün başarı elde etmiştir. bGold-SA, mühendislik tasarım problemlerinin 14 tanesinin 8'inde Gold-SA'ya karşı başarılı sonuç elde ederken 6 tanesinde Gold-SA başarılı olmuştur.

Özellik seçimi için geliştirilen bGold-SA, 17 veri setinden beşinde en yüksek sonuca ulaşsa da bu alanda BBA ve BPSO algoritmaları kadar etkin bir sonuç üretmediği gözlemlenmiştir.

8. SONUÇLAR

Gerçek hayat problemlerini çözmek için evet/hayır, seçme/seçmeme ya da 0-1 gibi net sonuçlar verdiği için ikili optimizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Literatürde ikili optimizasyon kullanılarak bir çok algoritma geliştirilmiştir. Bu çalışmada ikili optimizasyon algoritmaları ve ikili değerlere dönüşüm için kullanılan modifikasyon teknikleri hakkında bilgi verilmiştir. Literatür taraması sonucu elde edilen çalışmalardan BPSO, BPSOGSA, BGWO, BBA ve BDA'nın çalışma şekli ve kullanılan formüller ile ilgili bilgilendirme yapılarak bu alanlarda ne tür çalışmalar yapıldığı hakkında inceleme yapılmıştır. Gold-SA'nın ikili optimizasyon ile hibrid versiyonu olan bGold-SA geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma, özellik seçimi için kullanılabilecek bir yöntem olarak tasarlanmıştır.

Yapılan çalışmada optimizasyon algoritmalarının performans kıyaslamasını gerçekleştirmek için kullanılan kıyaslama fonksiyonları tanıtılmıştır. Bu amaçla 9 adet tek modlu sabit boyutlu, 15 adet tek modlu değişken boyutlu, 27 adet çok modlu sabit boyutlu, 17 adet çok modlu değişken boyutlu ve 29 adet CEC 2017 kıyaslama fonksiyonu olmak üzere 97 adet kıyaslama fonksiyonu kullanılmıştır. Kıyaslama işleminde kullanılan algoritmalar mühendislik tasarım problemleri üzerinde test edilmiştir. Kıyaslama fonksiyonları sonucu elde edilen verilerle Wilcoxon'un işaretli sıralar testi kullanılarak başarımlar değerlendirilmesine tabi tutulmuştur. Özellik seçimi için 17 adet veri seti belirlenerek elde ettiği doğruluk değerleri tespit edilmiştir. Test sonuçlarının eşit şartlarda olması için iterasyon sayısı, parçacık sayısı, değişken boyutu ve kullanılan fonksiyonun türü eşit olarak uygulandı. Tüm kıyaslama işlemlerinde Gold-SA ile karşılaştırma işlemi yapılmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuca göre bGold-SA'nın Gold-SA dahil ikili optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırıldığında kıyaslama fonksiyonlarının 97'sinin 66'sında en iyi sonucu elde ederek etkili sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Mühendislik tasarım problemlerinin tamamında ikili algoritmalara göre en iyi sonucu verdiği tespit edilmiş olup Gold-SA ile kıyaslandığında bir birine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Diğer geliştirilen ikili optimizasyon algoritmalarının mühendislik tasarım problemleri üzerinde herhangi bir başarı durumunun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Algoritmaların bGold-SA karşısında başarı durumlarını belirlemek için performans karşılaştırmasında kullanılan kıyaslama fonksiyonlarına ait test sonuçları Wilcoxon'un işaretli sıralar testinde kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bGold-SA'nın kıyaslama işleminde kullanılan tüm ikili algoritmalara göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

Özellik seçimi için algoritmalar kıyaslandığında bGold-SA'nın etkili olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu konuda özellikle BBA ve BPSO'nun yüksek başarımlara sahip olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Korkmaz, S. (2019). *İkili Optimizasyon Problemlerinin Çözümü İçin Yapay Alg Algoritması Tabanlı Yeni Yaklaşımlar*, Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- [2] Tanyıldızı, E., Çelik, A. (2020). Güncel İkili Optimizasyon Algoritmalarının Kısıtsız Kıyaslama Fonksiyonlarındaki Performans Karşılaştırmaları, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32 (2), 369-380.
- [3] Özsağlam, Y. ve Çunkaş, M. (2008). Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçaçık Sürü Optimizasyonu Algoritması, *Politeknik Dergisi*, 4, pp.299-305.
- [4] Doğan, C. (2019). *Balina Optimizasyon Algoritması Ve Gri Kurt Optimizasyonu Algoritmaları Kullanılarak Yeni Hibrit Optimizasyon Algoritmalarının Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [5] Aytimur, A. (2019). *İkili Optimizasyon Yöntemlerinin Araştırılması ve İkili Test Problemleri Üzerinde Başarımının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [6] Çelik,Y., Yıldız, İ., Karadeniz,A.T. (2019). Son Üç Yılda Geliştirilen Metasezgisel Algoritmalar Hakkında Kısa Bir İnceleme, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı*, ss. 463-477.
- [7] Cebeci, S. (2012). *Alt Küme Tabanlı Ayrık Optimizasyon Problemleri İçin Ayrık Parçacık Sürü Optimizasyonu Modelleri*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] Altunbey, F. (2015). *Çok Amaçlı Sosyal Tabanlı Metasezgisel Optimizasyon Algoritmaları İle Sosyal Ağlarda Örtüşen Topluluk Keşfi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [9] Çelik, Y. (2013). Optimizasyon Problemlerinde Bal Arılarının Evlilik Optimizasyonu Algoritmasının Performansının Geliştirilmesi. Doktora Tezi. Konya, Türkiye: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [10] Zhang, J., Xiao, M., Gao, L., Pan, Q. (2018). Queuing search algorithm: A novel metaheuristic algorithm for solving engineering optimization problems, *Applied Mathematical Modelling*, 63:464–490. doi:10.1016/j.apm.2018.06.036
- [11] Holland, J.H. (1992). Genetic algorithms, *Sci Am*, 267: 66-72.
- [12] Geem, Z.W., Kim, J.H., Loganathan, G.V. (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search, *Simulation*, 76: 60-68.
- [13] Storn, R., Price, K. (1997). Differential evolution: a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces, *J Global Optim*, 11:341–359.
- [14] Kennedy, J., Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization, *Neural Networks*, vol.4, pp 1942–1948.
- [15] Mirjalili, S., Mirjalili, S.M., Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer, *Adv. Eng. Softw*, 69: 46–61.
- [16] Rashedi, E., Nezamabadi-pour, H., Saryazdi, S. (2010). BGSA : Binary Gravitational Search Algorithm, *Natural Computing*, 9(3): 727-745, doi: 10.1007/s11047-009-9175-3
- [17] Mirjalili, S., Wang, G., Coelho, L. (2014). Binary optimization using hybrid particle swarm optimization and gravitational search algorithm, *Neural Comput & Applic*, doi:10.1007/s00521-014-1629-6.

- [18] Holland, J.H. (1975). *Adaption in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Pres, Ann Arbor, MI, 1975.
- [19] Yang, X.S. (2010). *Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications*, doi:10.1002/9780470640425
- [20] Kennedy, J., Eberhart, R.C. (1997). A discrete binary version of the particle swarm algorithm, vol. 5, pp 4104–4108.
- [21] Emary, E., Zawbaa, H.M, Hassanien, A.E. (2015). Binary Gray Wolf Optimization Approaches for Feature Selection, *Neurocomputing*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.neucom.2015.06.083>
- [22] Yang, X.S. (2011). Bat algorithm for multi-objective optimisation, *International Journal of Bio-Inspired Computation*, vol. 3, no. 5, ss. 267–274.
- [23] Mirjalili, S., Mirjalili, S.M., Yang, X. (2013). Binary bat algorithm, *Neural Comput & Applic*, doi: 10.1007/s00521-013-1525-5
- [24] Mirjalili, S. (2016). Dragonfly algorithm: a new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective, discrete, and multi-objective problems, *Neural Comput. Appl*, 27: 1053–1073.
- [25] Mafarja, M. M., Eleyan, D., Jaber, I., Hammouri, A., Mirjalili, S. (2017). Binary Dragonfly Algorithm for Feature Selection, *2017 International Conference on New Trends in Computing Sciences (ICTCS)*, doi:10.1109/ictcs.2017.43
- [26] Dönmez, H. (2020). *Düello Optimizasyon Algoritmasının İkili Optimizasyon Problemlerine Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- [27] Mirjalili, S. ve Lewis, A. (2013). S-shaped versus V-shaped transfer functions for binary Particle Swarm Optimization, *Swarm and Evolutionary Computation*, 9; ss. 1-14.
- [28] Pampara, G., Engelbrecht, A.P., Franken, N. (2006). Binary Differential Evolution, *2006 IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, doi: 10.1109/CEC.2006.1688535
- [29] Nezamabadi-pour, H. (2015). A Quantum-Inspired Gravitational Search Algorithm for Binary Encoded Optimization Problems, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 40, ss. 62-75.
- [30] Banitalebi, A., İsmail, M., Abdulaziz, Z. (2016). A Self-Adaptive Binary Differential Evolution Algorithm For Large Scale Binary Optimization Problems, *Information Sciences*, vol. 367-368, pp. 487-511.
- [31] Ozturk, C., Hancer, E., Karaboga, D. (2015). Dynamic clustering with improved binary artificial bee colony algorithm, *Applied Soft Computing*, 28, ss. 69-80.
- [32] Kıran, M.S. ve Gündüz, M. (2013). XOR-based artificial bee colony algorithm for binary optimization, *Turkish Journal Of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 21, ss. 2307–2328.
- [33] Kashan, M.H., Nahavandi, N., Kashan, A.H. (2012). DisABC: A new artificial bee colony algorithm for binary optimization, *Applied Soft Computing*, 12, ss. 342-352.
- [34] Teng, X., Dong, H., Zhou, X. (2017). Adaptive feature selection using v-shaped binary particle swarm optimization, *PLoS ONE*, 12(3): e0173907. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173907>
- [35] Too, J., Abdullah, A., Saad, N.M. (2019). A New Co-Evolution Binary Particle Swarm Optimization with Multiple InertiaWeight Strategy For Feature Selection, *Informatics*, 6, 21, doi:10.3390/informatics6020021
- [36] Liu, J., Mei, Y., Li, X. (2015). An Analysis of the Inertia Weight Parameter for Binary Particle Swarm Optimization, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, doi:10.1109/TEVC.2015.2503422-8

- [37] Khanesar, M.A., Teshnehlab, M., Shoorehdeli, M.A. (2007). *A Novel Binary Particle Swarm Optimization*, 2007 Mediterranean Conference On Control and Automation, Atina, Yunanistan
- [38] Nezamabadi-pour, H., Rostami-sharbabaki, M., Farsangi, M. (2008). Binary Particle Swarm Optimization: Challenges and New Solutions, *The Journal of Computer Society of Iran (CSI) On Computer Science and Engineering (JCSE)*, vol. 6, no. (1-A), pp. 21-32.
- [39] Lee, S., Soak, S., Oh, S., Pedrycz, W., Jeon, M. (2008). Modified binary particle swarm optimization, *Progress in Natural Science*, 18, ss. 1161-1166.
- [40] Jin, N. ve Rahmat-Samii, Y. (2010). Hybrid Real-Binary Particle Swarm Optimization (HPSO) in Engineering Electromagnetics, *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, vol. 58, ss. 3786-3794.
- [41] Bansal, J.C. ve Deep, K. (2012). A Modified Binary Particle Swarm Optimization for Knapsack Problems, *Applied Mathematics and Computation*, 218, ss. 11042-11061.
- [42] Fan, K., You, W., Li, Y. (2013). An effective modified binary particle swarm optimization (mBPSO) algorithm for multi-objective resource allocation problem (MORAP), *Applied Mathematics and Computation*, 221, ss. 257-267.
- [43] Pookpant, S. ve Ongsakul, W. (2013). Optimal placement of wind turbines within wind farm using binary particle swarm optimization with time-varying acceleration coefficients, *Renewable Energy*, 55, ss. 266-276.
- [44] Clarke, J. ve McLeskey, J.T. (2015). Multi-objective particle swarm optimization of binary geothermal power plants, *Applied Energy*, 138, ss. 302-314.
- [45] Jain, I., Jain, V.K., Jain, R. (2017). Correlation Feature Selection based improved-Binary Particle Swarm Optimization for Gene Selection and Cancer Classification, *Applied Soft Computing*, doi:10.1016/j.asoc.2017.09.038
- [46] Reséndiz, E. ve Rull-Flores, C.A. (2013). Mahalanobis–Taguchi system applied to variable selection in automotive pedals components using Gompertz binary particle swarm optimization, *Applied Energy*, 40, ss. 2361-2365.
- [47] Yang, J., Zhang, H., Ling, Y., Pan, C., Sun, W. (2014). Task Allocation for Wireless Sensor Network Using Modified Binary Particle Swarm Optimization, *IEEE Sensors Journal*, 3, vol. 14, ss. 882-892.
- [48] Banka, H., Dara, S. (2014). A Hamming distance based binary particle swarm optimization (HDBPSO) algorithm for high dimensional feature selection, classification and validation, *Pattern Recognition Letters*, 52, ss. 94-100.
- [49] Li, P., Xu, D., Zhou, Z., Lee, W., Zhao, B. (2015). Stochastic Optimal Operation of Microgrid Based on Chaotic Binary Particle Swarm Optimization, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, ss. 66-73
- [50] Jiang, F., Xia, H., Tran, Q.A., Ha, Q., M., Tran, N.Q., Hu, J. (2017). A New Binary Hybrid Particle Swarm Optimization with Wavelet Mutation, *Knowledge-Based Systems*, doi:10.1016/j.knosys.2017.03.032
- [51] Lin, G. ve Guan, J. (2017). A hybrid binary particle swarm optimization for the obnoxious p -median problem, *Information Sciences*, 425, ss. 1-17.
- [52] Pashaei, E., Pashaei, E., Aydın, N. (2018). Gene selection using hybrid binary black hole algorithm and modified binary particle swarm optimization, *Genomics*, doi:10.1016/j.ygeno.2018.04.004
- [53] Reséndiz-Flores, E.O., Navarro-Acosta, J.A., Hernández-Martínez, A. (2019). Optimal feature selection in industrial foam injection processes using hybrid binary Particle Swarm Optimization and Gravitational Search Algorithm in the Mahalanobis–Taguchi System, *Soft Computing*, 35, doi:10.1007/s00500-019-03911-w

- [54] Emary, E., Zawbaa, H.M., Hassanien, A.E.(2015). Binary grey wolf optimization approaches for feature selection, *Neurocomputing*, 172, ss. 371–381.
- [55] Too, J., Abdullah, A.R., Saad, N.M., Ali, N.M., Tee, W. (2018). A New Competitive Binary Grey Wolf Optimizer to Solve the Feature Selection Problem in EMG Signals Classification, *Computers*, 7, 58, doi: 10.3390/computers7040058
- [56] Reddy K, S., Panwar, L.K., Panigrahi, B.K., Kumar, R., Verma, A. (2017). Binary Grey Wolf Optimizer for large scale unit commitment problem, *Swarm and Evolutionary Computation*, vol.38, ss. 251-266.
- [57] Reddy K, S., Panwar, L.K., Panigrahi, B.K., Kumar, R., Alsumaiti, A. (2019). Binary grey wolf optimizer models for profit based unit commitment of price-taking GENCO in electricity market, *Swarm and Evolutionary Computation*, vol.44, ss. 957-971.
- [58] Velliangiri, S. (2019). A hybrid BGWO with KPCA for intrusion detection, *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, doi: 10.1080/0952813X.2019.1647558
- [59] Zhao, D., He, Y. (2015). Chaotic binary bat algorithm for analog test point selection, *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 84: 201–214.
- [60] Huang, X., Zeng, X., Han, R. (2017). Dynamic Inertia Weight Binary Bat Algorithm with Neighborhood Search, *Computational Intelligence and Neuroscience*. doi: 10.1155/2017/3235720
- [61] Jaafer, A.A., Al-Bazoon, M., Dawood, A.O. (2020). Structural Topology Design Optimization Using the Binary Bat Algorithm, *Applied Sciences*, 10,1481. doi:10.3390/app10041481
- [62] Mafarja, M., Aljarah, I., Heidari, A.A., Faris, H., Fournier-Viger, P., Li, X., Mirjalili, S. (2018). Binary Dragonfly Optimization for Feature Selection using Time-Varying Transfer functions, *Knowledge-Based Systems*, doi: 10.1016/j.knsys.2018.08.003
- [63] Abuomar, L. ve Al-Aubidy, K. (2018). Cooperative Search and Rescue with Swarm of Robots Using Binary Dragonfly Algorithm, *15th International Multi-Conference on Systems*, doi:10.1109/SSD.2018.8570410
- [64] Chen, Y. ve Wang, Z. (2019). Wavelength Selection for NIR Spectroscopy Based on the Binary Dragonfly Algorithm, *15th International Multi-Conference on S Journal of Electrical and Molecules*, 421; doi:10.3390/molecules24030421
- [65] Hariharan, M., Sindhu, R., Vijean, V., Yazid, H., Nadarajaw, T., Yaacob, S., Polat, K. (2018). Improved binary dragonfly optimization algorithm and wavelet packet based non-linear features for infant cry classification, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol.155, ss. 39-51.
- [66] Tanyıldızı, E. ve Demir, G.(2017). Golden Sine Algorithm:A Novel Math-Inspired Algorithm, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 17(2): 71-78.
- [67] Demir, G. (2017). Optimizasyon Problemlerinin Çözümünde Sinüs Kosinüs Algoritması (SKA) Yönteminin Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- [68] Mirjalili, S. (2015). The Ant Lion Optimizer, *Advances in Engineering Software*,83, ss. 80-98.
- [69] Jamil, M. ve Yang, X. (2013). A Literature Survey of Benchmark Functions For Global Optimization Problems, *Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*, 2, ss. 150–194.
- [70] Askari, Q., Saeed, M. ve Younas, I. (2020). Heap-based optimizer inspired by corporate rank hierarchy for global optimization, *Expert Systems with Applications*, 161: 113702.
- [71] Jamil, M. ve Yang, X. (2013). A Literature Survey of Benchmark Functions For Global Optimization Problems, *Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*, 2, ss. 150–194.

- [72] Kumar, A., Wu, G., Ali, MZ., Mallipeddi, R., Suganthan, PN., Das, S. (2020). A Test-suite of Non-Convex Constrained Optimization Problems from the Real-World and Some Baseline Results, *Swarm and Evolutionary Computation*, 56: 100693.
- [73] Tanyıldızı, E. (2018). A novel optimization method for solving constrained and unconstrained problems: modified Golden Sine Algorithm, *Turk J Elec Eng & Comp Sci*, 26: 3287 – 3304
- [74] Derrac, J., García, S., Molina, D., Herrera, F. (2011). A practical tutorial on the use of non-parametric statistical tests as a methodology for comparing evolutionary and swarm intelligence algorithms, *Swarm Evol. Comput*, 1:3–18.
- [75] Arora, S. ve Anand, P. (2018). Binary butterfly optimization approaches for feature selection, *Expert Systems with Applications*. doi:10.1016/j.eswa.2018.08.051
- [76] De Souza, R.C.T., Coelho, L.S., De Macedo, C. A., Pierezan, J. (2018). A V-Shaped Binary Crow Search Algorithm for Feature Selection, *2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, doi:10.1109/cec.2018.8477975

