



KAOTİK KUŞ SÜRÜSÜ OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI

Elif VAROL

**Yüksek Lisans Tezi
Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Bilal ALATAŞ
OCAK-2017**

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

KAOTİK KUŞ SÜRÜSÜ OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

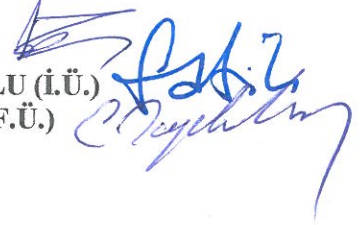
Elif VAROL

(141137110)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Aralık 2016

Tezin Savunulduğu Tarih : 06 Ocak 2017

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Bilal ALATAŞ (F.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Muhammed Fatih TALU (İ.Ü.)
Doç. Dr. Erkan TANYILDIZI (F.Ü.)



OCAK-2017

ÖNSÖZ

Bu Yüksek Lisans Tezi çalışmasında, sürü zekâsı optimizasyon algoritmalarından biri olan kuş sürüsü optimizasyonun kaotik haritalarla kullanımına ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

Tez çalışması sürecinde yardımlarını, desteklerini ve fikirlerini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Bilal ALATAŞ'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Sadece öğrenim hayatım değil, her koşulda fedakarlığını ve desteğini esirgemeyen her zaman yanımda olan değerli aileme, son olarak da sadece tez dönemim boyunca değil, her zaman yanımda olup, bana destek olan Osman ALTAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Elif VAROL
ELAZIĞ-2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	V
KISALTMALAR.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	XI
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XVI
1. GİRİŞ.....	1
2. SÜRÜ ZEKÂSINA DAYALI OPTİMİZYON ALGORİTMALARI.....	4
2.1. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması.....	4
2.2. Yapay Balık Sürüsü Optimizasyon Algoritması.....	5
2.3. Kırlangıç Sürüsü Optimizasyon Algoritması.....	5
2.4. Karga Arama Algoritması.....	6
2.5. Kral Kelebeği Optimizasyon Algoritması.....	7
2.6. Tavuk Sürüsü Optimizasyon Algoritması.....	7
2.7. Kril Sürüsü Optimizasyon Algoritması.....	8
2.8. Fil Sürüsü Optimizasyon Algoritması.....	8
2.9. Solucan Sürüsü Optimizasyon Algoritması.....	9
3. KUŞ SÜRÜSÜ ALGORİTMASI.....	10
3.1. Besin Arama Davranışı.....	12
3.2. Uyanıklık Davranışı.....	13
3.3. Uçma Davranışı.....	14
3.4. Hesaplama Usulleri ve KSA'nın Hesaplama Karmaşıklığı.....	14
4. KAOTİK HARİTALAR.....	16
4.1. Kaotik Harita.....	16
4.2. Kaotik Haritalı Kuş Sürüsü Algoritmaları (KHKSA).....	20
5. KALİTE TESTİ FONKSİYONLARI VE GERÇEK MÜHENDİSLİK PROBLEMLERİ.....	22
5.1. Kalite Testi Fonksiyonları.....	22
5.1.1. Sphere Fonksiyonu.....	23
5.1.2. Ackley Fonksiyonu.....	23

5.1.3. Schwefel Fonksiyonu	24
5.1.4. Griewank Fonksiyonu	24
5.1.5. Dönüştürülmüş Rastrigin Fonksiyonu.....	25
5.2. Gerçek Mühendislik Problemleri	25
5.2.1. Kaynaklı Kiriş Tasarım Problemi.....	26
5.2.2. Gerilim-Sıkıştırma Yay Tasarımı Problemi	28
5.2.3. Basınçlı Kap Tasarımı Problemi	29
6. DENEYLER.....	30
6.1. Kalite Testi Fonksiyonları ile Yapılan Deneyler.....	31
6.1.1. Sphere Fonksiyonu için Sonuçlar	31
6.1.2. Ackley Fonksiyonu için Sonuçlar	39
6.1.3. Schwefel Fonksiyonu için Sonuçlar	47
6.1.4. Griewank Fonksiyonu için Sonuçlar	55
6.1.5. Dönüştürülmüş Rastrigin Fonksiyonu için Sonuçlar.....	60
6.1.6. Farklı Kombinasyonlar	69
6.2. Gerçek Mühendislik Problemi ile Yapılan Deneyler	71
6.2.1. Kaynaklı Kiriş Tasarımı Problemi için Sonuçlar	71
6.2.2. Gerilim Sıkıştırma Yay Tasarımı Problemi için Sonuçlar.....	73
6.2.3. Basınçlı Kap Tasarımı Problemi için Sonuçlar	75
6.3. Bulgular	75
7. SONUÇLAR.....	82
8. KAYNAKÇA.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	90

ÖZET

Matematiksel programlama olarak da bilinen optimizasyon, bir amaç (değerlendirme) fonksiyonuna göre bir problemde belirli aralıktaki sayısal değerlerin en uygununu seçen işlemler topluluğudur. Optimizasyon problemleri için birçok algoritma önerilmiştir. Bu algoritmaların çoğu sistemin modeli ve amaç fonksiyonu için matematiksel modellere ihtiyaç duymaktadır. Matematiksel modelin çıkarılamadığı durumlarda kabul edilebilir sürede sonuç elde edebilmek amacıyla genel amaçlı sezgisel optimizasyon algoritmaları kullanılır. Genel amaçlı sezgisel optimizasyon algoritmaları, biyoloji tabanlı, fizik tabanlı, sürü tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı, kimya tabanlı, spor tabanlı ve matematik tabanlı olmak üzere sekiz farklı grupta değerlendirilmektedir. Sürü zekâsı tabanlı optimizasyon algoritmaları kuş, balık, kedi ve arı gibi canlı sürülerinin hareketlerinin incelenmesiyle geliştirilmiştir.

Optimizasyon algoritmalarının hızlı yakınsaması ve yüksek doğruluk oranını artırmak için kaotik haritalar birçok algorithmada kullanılmıştır. Kuş Sürüsü Algoritması (KSA) en güncel sürü zekâsı algoritmalarından biridir. KSA'nın kaotik global yakınsama özelliğinin artırılması ve lokal çözümde takılıp kalmasının önlenmesi ilk kez bu çalışma ile sunulmuştur. Bu tezde, KSA ve kaotik KSA detaylı olarak açıklanmış ve algoritmanın performansı, farklı boyutlardaki tek modlu ve çok modlu kalite testi fonksiyonları ve üç adet kısıtlı gerçek mühendislik problemi kullanılarak incelenmiştir. Söz konusu incelemelerde optimuma yakınsama eğilimi, performans ölçütü olarak kullanılmıştır. İnceleme sonuçları karşılaştırmalı tablolar ve grafikler aracılığıyla sunulmuş ve yorumlanmıştır. Bu algoritma ile hem tek modlu hem de çok modlu kalite testi fonksiyonlarında diğer sürü zekâsı algoritmalarından çok daha iyi sonuçlar elde edildiği için, algoritmanın ileride birçok problemde etkili olarak kullanılacağı beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürü Zekâsına Dayalı Optimizasyon Algoritmaları, Kuş Sürüsü Algoritması, Kaotik Haritalar, Kalite Testi Fonksiyonları

SUMMARY

Bird Swarm Algorithms with Chaotic Mapping

Optimization known as also mathematical programming, is a collection of processes that select the most appropriate values of decision variables according to a goal (evaluation) function. Many algorithms have been proposed for optimization problems. Most of these algorithms need mathematical models for model of system and objective function. General purposed heuristic optimization algorithms are used in order to obtain the solution in reasonable time when mathematical models cannot be derived. General purposed heuristic optimization algorithms are evaluated in eight different groups including biology-based, physics-based, swarm-based, social-based, music-based, chemistry-based, sports based, and mathematics based. Swarm intelligence based optimization algorithms have been developed by observing the movements of live swarms such as bird, fish, cat, and bee.

In order to increase the fast convergence and high accuracy of the optimization algorithms, chaotic maps have been used in many algorithms. Bird Swarm Algorithm (BSA) is one of the most recent swarm based algorithms. This is the first time chaos has been introduced to increase the global convergence feature and prevent from being stuck in the local solution of BSA. In this thesis, BSA and chaotic BSA were studied in detail and the performances of the algorithms have been tested on unimodal and multi modal benchmark functions with different dimensions and three constrained real-life problem. In these investigations, tendency of converging to optimum is used as a measure of performance. Experimental results have been presented and interpreted through comparative tables and graphs. It is expected that this algorithm will be efficiently used in many different types of complex problems due to high performance of the algorithm in both unimodal and multi modal functions.

Key Words: Swarm Intelligence based Optimization Algorithms, Bird Swarm Algorithm, Chaotic Maps, Benchmark Functions

KISALTMALAR

Gbest-PSO	:	Global En İyi Parçacık Sürü Optimizasyonu
Lbest-PSO	:	Lokal En İyi Parçacık Sürü Optimizasyonu
KSA	:	Kuş Sürüsü Algoritması
KSO	:	Kırlangıç Sürüsü Optimizasyonu
PSO	:	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
YBSA	:	Yapay Balık Sürüsü Algoritması
KHKSA	:	Kaotik Haritalı Kuş Sürüsü Algoritmaları
KAA	:	Karga Arama Algoritması
KKO	:	Kral Kelebeği Optimizasyonu
TSO	:	Tavuk Sürüsü Optimizasyonu
KSOA	:	Kril Sürüsü Optimizasyon Algoritması
FSO	:	Fil Sürüsü Optimizasyonu
SSO	:	Solucan Sürüsü Optimizasyonu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. KSA'nın akış diyagramı [17].....	12
Şekil 4.1. Kaotik haritaların gösterimi.....	19
Şekil 5.1.1. Sphere fonksiyonunun grafiği.....	23
Şekil 5.1.2. Ackley fonksiyonunun grafiği.....	23
Şekil 5.1.3. Schwefel fonksiyonunun grafiği.....	24
Şekil 5.1.4. Griewank fonksiyonunun grafiği.....	24
Şekil 5.1.5. Dönüştürülmüş Rastrigin fonksiyonunun grafiği.....	25
Şekil 5.2.1. Kaynaklı giriş tasarım problemi [46].....	26
Şekil 5.2.2. Yay tasarım problemi [46].....	28
Şekil 5.2.3. Basınçlı kap örneği [46].....	29
Şekil 6.1.1.1. Sphere fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	32
Şekil 6.1.1.2. Sphere fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	33
Şekil 6.1.1.3. Sphere fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	33
Şekil 6.1.1.4. Sphere fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	34
Şekil 6.1.1.5. Sphere fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	35
Şekil 6.1.1.6. Sphere fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	36
Şekil 6.1.1.7. Sphere fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	36
Şekil 6.1.1.8. Sphere fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	37
Şekil 6.1.1.9. Sphere fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	38
Şekil 6.1.1.10. Sphere fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	39

Şekil 6.1.2.1. Ackley fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	40
Şekil 6.1.2.2. Ackley fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	41
Şekil 6.1.2.3. Ackley fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	42
Şekil 6.1.2.4. Ackley fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	42
Şekil 6.1.2.5. Ackley fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	43
Şekil 6.1.2.6. Ackley fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	44
Şekil 6.1.2.7. Ackley fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	45
Şekil 6.1.2.8. Ackley fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	45
Şekil 6.1.2.9. Ackley fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	46
Şekil 6.1.2.10. Ackley fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	47
Şekil 6.1.3.1. Schwefel fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA yöntemleri ile elde edilen yakınsama grafiği.....	48
Şekil 6.1.3.2. Schwefel fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	49
Şekil 6.1.3.3. Schwefel fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	50
Şekil 6.1.3.4. Schwefel fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	50
Şekil 6.1.3.5. Schwefel fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	51
Şekil 6.1.3.6. Schwefel fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	52

Şekil 6.1.3.7. Schwefel fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	52
Şekil 6.1.3.8. Schwefel fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	53
Şekil 6.1.3.9. Schwefel fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	54
Şekil 6.1.3.10. Schwefel fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	54
Şekil 6.1.4.1. Griewank fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	56
Şekil 6.1.4.2. Griewank fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	56
Şekil 6.1.4.3. Griewank fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	57
Şekil 6.1.4.4. Griewank fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	57
Şekil 6.1.4.5. Griewank fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	58
Şekil 6.1.4.6. Griewank fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	58
Şekil 6.1.4.7. Griewank fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	59
Şekil 6.1.4.8. Griewank fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	59
Şekil 6.1.4.9. Griewank fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	60
Şekil 6.1.4.10. Griewank fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	60
Şekil 6.1.5.1. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	61
Şekil 6.1.5.2. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	62
Şekil 6.1.5.3. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	63

Şekil 6.1.5.4. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	64
Şekil 6.1.5.5. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	64
Şekil 6.1.5.6. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	65
Şekil 6.1.5.7. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	66
Şekil 6.1.5.8. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	66
Şekil 6.1.5.9. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	67
Şekil 6.1.5.10. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği.....	68
Şekil 6.2.1. Kaynaklı giriş tasarımı problemi üzerinde KSA ve KHKSA8'in literatür ile kıyaslanması sonucu elde edilen maliyet değerlerinin gösterimi.....	73
Şekil 6.2.2. Gerilim-sıkıştırma yay tasarım problemi üzerinde KSA ve KHKSA8'in literatür ile kıyaslanması sonucu elde edilen maliyet değerlerinin gösterimi.....	75
Şekil 6.2.3. Basıncılı kap tasarımı problemi üzerinde KSA ve KHKSA8'in literatür ile kıyaslanması sonucu elde edilen maliyet değerlerinin gösterimi.....	77

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Kargalar ve meta sezgisel optimizasyon arasındaki benzerlik.....	6
Tablo 3.2. KSA'nın sözde kodları.....	15
Tablo 5.1. Kalite testi fonksiyonları.....	22
Tablo 5.2. Kaynaklı giriş tasarımı probleminin parametre değerleri.....	28
Tablo 6.1.1.1. Sphere fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	31
Tablo 6.1.1.2. Sphere fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	32
Tablo 6.1.1.3. Sphere fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	33
Tablo 6.1.1.4. Sphere fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	34
Tablo 6.1.1.5. Sphere fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	35
Tablo 6.1.1.6. Sphere fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	35
Tablo 6.1.1.7. Sphere fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	36
Tablo 6.1.1.8. Sphere fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	37
Tablo 6.1.1.9. Sphere fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	38
Tablo 6.1.1.10. Sphere fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	38
Tablo 6.1.1.11. Sphere fonksiyonu için önerilen algoritmalar ile klasik KSA'nın kaç kez iyi sonuç verdiğini gösteren tablo.....	39
Tablo 6.1.2.1. Ackley fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	40
Tablo 6.1.2.2. Ackley fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	41

Tablo 6.1.2.3. Ackley fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	41
Tablo 6.1.2.4. Ackley fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	42
Tablo 6.1.2.5. Ackley fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	43
Tablo 6.1.2.6. Ackley fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	44
Tablo 6.1.2.7. Ackley fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	44
Tablo 6.1.2.8. Ackley fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	45
Tablo 6.1.2.9. Ackley fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	46
Tablo 6.1.2.10. Ackley fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	47
Tablo 6.1.2.11. Ackley fonksiyonu için önerilen algoritmalar ile klasik KSA'nın kaç kez iyi sonuç verdiğini gösteren tablo.....	47
Tablo 6.1.3.1. Schwefel fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	48
Tablo 6.1.3.2. Schwefel fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	49
Tablo 6.1.3.3. Schwefel fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	49
Tablo 6.1.3.4. Schwefel fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	50
Tablo 6.1.3.5. Schwefel fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	51
Tablo 6.1.3.6. Schwefel fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	51
Tablo 6.1.3.7. Schwefel fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	52
Tablo 6.1.3.8. Schwefel fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	53

Tablo 6.1.3.9. Schwefel fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	53
Tablo 6.1.3.10. Schwefel fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	54
Tablo 6.1.3.11. Schwefel Fonksiyonu ile önerilen algoritmalar ile klasik KSA'nın kaç kez iyi sonuç verdiğini gösteren tablo.....	55
Tablo 6.1.4.1. Griewank fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	55
Tablo 6.1.4.2. Griewank fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	56
Tablo 6.1.4.3. Griewank fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	56
Tablo 6.1.4.4. Griewank fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	57
Tablo 6.1.4.5. Griewank fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	57
Tablo 6.1.4.6. Griewank fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	58
Tablo 6.1.4.7. Griewank fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	58
Tablo 6.1.4.8. Griewank fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	59
Tablo 6.1.4.9. Griewank fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	59
Tablo 6.1.4.10. Griewank fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	60
Tablo 6.1.5.1. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	61
Tablo 6.1.5.2. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	62
Tablo 6.1.5.3. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	62
Tablo 6.1.5.4. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	63

Tablo 6.1.5.5. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	64
Tablo 6.1.5.6. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	65
Tablo 6.1.5.7. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	65
Tablo 6.1.5.8. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	66
Tablo 6.1.5.9. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	67
Tablo 6.1.5.10. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar.....	68
Tablo 6.1.5.11. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için önerilen algoritmalar ile klasik KSA'nın kaç kez iyi sonuç verdiğini gösteren tablo.....	68
Tablo 6.1.5.12. Kalite testi fonksiyonları için önerilen algoritmalar ile klasik KSA'nın kaç kez iyi sonuç verdiğini gösteren tablo.....	69
Tablo 6.1.6.1. Sphere fonksiyonu için çember ve yinelemeli haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar.....	69
Tablo 6.1.6.2. Sphere fonksiyonu için lojistik ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar	69
Tablo 6.1.6.3. Sphere fonksiyonu için sinus ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar	69
Tablo 6.1.6.4. Sphere fonksiyonu için singer ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar	70
Tablo 6.1.6.5. Sphere fonksiyonu için sinüzoidal ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar	70
Tablo 6.1.6.6. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çember ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar	70
Tablo 6.1.6.7. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için gauss ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar	70
Tablo 6.1.6.8. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için singer ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar	70
Tablo 6.1.6.9. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için sinüzoidal ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar	71

Tablo 6.2.1.1. KHKSA'nın kaynaklı giriş tasarımı problemi üzerindeki performansının karşılaştırmalı değerleri.....	71
Tablo 6.2.1.2. KHKSA'nın kaynaklı giriş tasarımı problemi üzerindeki performansının literatür ile karşılaştırmalı değerleri	71
Tablo 6.2.2.1. KHKSA'nın yay tasarımı problemi üzerindeki performansının karşılaştırmalı değerleri.....	73
Tablo 6.2.2.2. KHKSA'nın yay tasarımı problemi üzerindeki performansının literatür ile karşılaştırmalı değerleri.....	74
Tablo 6.2.3.1. KHKSA'nın basınçlı kap tasarımı problemi üzerindeki performansının karşılaştırmalı değerleri.....	75
Tablo 6.2.3.2. KHKSA'nın basınçlı kap tasarımı problemi üzerindeki performansının literatür ile karşılaştırmalı değerleri.....	76

SEMBOLLER LİSTESİ

j	: Boyut
i	: Kuş sayısı
M	: İterasyon sayısı
x_{ij}^t	: i . kuşun j . boyutunun t . anındaki pozisyon
FQ	: Kuşların uçuş davranışlarının sıklığı
P	: Yiyecek için besin bulma sıklığı
c	: Bilişsel hızlandırılmış katsayı
s	: Sosyal hızlandırılmış katsayı
$PFit_i$	: i . kuşun en iyi uygunluk değeri
$sumFit$	: Sürünün en iyi uygunluk değerlerinin toplamı
$mean_j$	: Bütün sürünün ortalama konumunun j . elemanı
p_{ij}	: Kuşun en eski en iyi konumu
a_1	: $[0,2]$ arasında sabit pozitif tamsayı
a_2	: $[0,2]$ arasında sabit pozitif tamsayı
C_1	: Kaynaklı malzemenin hacim başı maliyeti
C_2	: Metal çubuğun hacim başı maliyeti
τ_D	: Kaynaklı malzemenin kesme gerilimi
σ_d	: Çubuk malzemenin normal gerilimi
δ_d	: Çubuk sonundaki sapma
E	: Çubuk stokunun Young katsayısı
G	: Çubuk stokunun kesim katsayısı
L	: Kirişin çıkıntı uzunluğu
h	: Kaynak inceliği
l	: Kaynak bağlantı uzunluğu
t	: Kiriş genişliği
b	: Kiriş inceliği
d	: Tel çapı
D	: Ortalama bobin çapı
t	: Kiriş genişliği
N	: Aktif rulo sayısı
T_s	: Gövde kalınlığı
T_h	: Kafa kalınlığı
R	: İç yarıçapı

1. GİRİŞ

En temel tanımı ile optimizasyon eldeki az miktardaki verileri en optimum biçimde kullanmaktır [1]. Kısaca optimizasyon matematiksel olarak bir fonksiyonun minimize veya maksimize edilmesi işlemidir [2]. Optimizasyonun bir başka tanımı ise “en iyi amaç kriterinin en iyi değerini veren kısıtlardaki değişkenlerin değerini bulmaktır” [3]; özetle optimizasyonun tanımı en iyi sonuçları içeren işlemler topluluğu şeklinde ifade edilir [4]. Optimizasyon problemlerinde ilk yapılması gereken, amaç fonksiyonunu seçmektir. Amaç fonksiyonu olası çözümlerin kalitesini ve performansını belirlemektedir. Kâr, zaman gibi herhangi bir özelliği ya da özellikler grubunu yansıtan sayısal bir ifade, amaç fonksiyonun sonucu olabilir. Probleme göre amaç fonksiyonlarının hesaplanması sırasında bazı kısıtlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Uygunluk fonksiyonlarında ise çözüm uzayındaki bütün değişkenler değil, bu kısıtlara uyan değişkenler kullanılmaktadır. Hedef, değişkenlerin en uygun değerlerini bulmaktır. Amaç fonksiyonları problemin çeşidine göre bir maksimizasyon ya da minimizasyon fonksiyonu olabilir.

Bir optimizasyon probleminde değişkenlerin, kısıtların ve amaç fonksiyonlarının tanımlanması modelleme olarak adlandırılmaktadır. Bütün optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılabilecek genel bir optimizasyon algoritması yoktur. Probleme dayalı olarak kullanılabilecek çeşitli optimizasyon algoritmaları vardır. Probleme göre bu algoritmanın seçimi kullanıcı tarafından yapılmaktadır ve problemi çözme konusunda önemli bir etkiye sahiptir.

Optimizasyon algoritmalarının büyük bir çoğunluğu tekrarlamalıdır. Rastgele ya da belirli bir değer ile başlayan iterasyonlar program boyunca en iyi sonucu bulmayı hedeflemektedir. Bir iterasyondan, diğer bir iterasyona geçiş bütün optimizasyon algoritmalarında farklılık göstermektedir. Algoritmaların bazıları bir önceki iterasyondaki bulunduğu sonucu direkt olarak kullanırken, diğerleri her bir iterasyonda bağımsız çözümler elde etmektedir. Etkin bir optimizasyon algoritmasında olması gereken temel özellikler şunlardır [4]:

- Geniş bir uygulama alanına sahip olmalıdırlar.
- Çok fazla hesaplama zamanı ve hafızası gerektirmemelidirler.
- Verilerdeki hatalardan veya matematiksel yuvarlamalardan çok etkilenmeden detaylı çözümler bulabilmelidirler.

Meta sezgisel optimizasyon algoritmaları, büyük boyutlu optimizasyon problemleri için kabul edilebilir sürede, optimuma yakın çözümler üretebilen algoritmalarlardır. Son yıllarda

güçlenmekte ve giderek popülaritesini artırmaktadır. Bunların başlıca nedenleri aşağıda sıralanmıştır.

- Optimizasyon problemi, kesin çözümü bulma işleminin tanımlanmadığı bir yapıya sahip olabilmektedir.
- Anlaşılabilirlik açısından sezgisel algoritmalar karar verici için çok daha basit olabilmektedir (kural çıkartılabilmektedir).
- Öğrenme amaçlı ve kesin çözümü bulma işleminin bir parçası olabilmektedir.
- Matematiksel ifadeler ile yapılan tanımlamalarda genellikle birçok parametre/kısıt ihmal edilmektedir.
- Karar değişken sayısına, çözüm uzayı tipine ve kısıtlayıcı fonksiyon sayısına bağlı değildir.
- Çok iyi tanımlanmış matematiksel modellere ihtiyaç duymamaktadır.
- Hesaplama güçleri iyidir, bir başka deyişle aşırı derecede hesaplama zamanına ihtiyaç duymazlar.
- Dönüşümleri ve uyarlanmaları kolaydır.
- Büyük boyutlu ve doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinde etkili sonuçlar vermektedir.

Bu avantajlarından dolayı meta sezgisel algoritmalar; yönetim bilimi, mühendislik, bilgisayar gibi birçok farklı alanda yoğun olarak kullanılmakta ve bu algoritmaların yeni versiyonları önerilmektedir. Son zamanlarda, canlıların sürü halindeki davranışlarından esinlenerek geliştirilen sürü zekâsı tabanlı optimizasyon algoritmaları, matematiksel model oluşturulamayan veya oluşturulsa bile çözüm zamanı çok uzun zaman alan birçok kompleks problemin çözümünde popüler hale gelmeye başlamıştır.

Bu tezde, sürü zekâsı optimizasyon algoritmalarının en güncellerinden biri olan ve kuş sürülerinin hareketlerinden esinlenerek doğrusal olmayan nümerik problemlere optimum sonuçlar bulmak için önerilmiş en güncel meta sezgisel tekniklerinden olan KSA'ya eklentiler yapıp performansının artırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla yumuşak hesaplama tekniklerinden biri sayılan kaos, KSA ile birleştirilmiş ve sekiz farklı KSA önerilmiştir. Klasik KSA ile karşılaştırılmıştır.

Bu tezin kapsamı;

- En güncel sürü zekâsına dayalı algoritmalarından biri olan KSA'yı ayrıntılı olarak incelemek,

- KSA'nın parametrelerinin belirlenmesinde rastgele tabanlı bir seçim söz konusu olduğunda; farklı kaotik sistemleri rastgele sayı dizilerinin yerine kullanmak,
- KSA'nın yerel optimum noktalara takılıp kalmasını engelleyerek global yakınsama hızını arttırmak için kaos tabanlı çeşitli yöntemler önermek,
- Kalite testi fonksiyonlarında, önerilen bu yöntemleri kullanan KSA ve klasik KSA ile karşılaştırmalar yapmak,
- Gerçek mühendislik problemlerinden olan “Kaynaklı Kiriş Tasarımı”, “Gerilim Sıkıştırma Yay Tasarımı” ve “Basıncılı Kap Tasarımı”nı inceleyip literatürde yer alan çalışmalar ile kıyaslamalar yapmak,
- İstatiksel analizleri karşılaştırmalı tablolar ve grafikler aracılığıyla sunmak olacaktır.

Bu tez çalışmasının organizasyonu yedi bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde sürü zekâsına dayalı optimizasyon algoritmaları hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde en güncel sürü zekâsına dayalı algoritmalarından biri olan KSA detaylı olarak incelenmiştir. Dördüncü bölümde KSA'nın parametrelerinin belirlenmesi için rastgele tabanlı bir seçim söz konusu olduğunda, farklı kaotik sistemler rastgele sayı dizilerinin yerine kullanılmış ve sekiz farklı KSA önerilmiştir. Kullanılan kaotik haritalar tanıtılmış sonrasında da önerilen yöntemler açıklanmıştır. Bu şekilde KSA'nın global yakınsama özelliğinin artırılması ve lokal çözümde takılıp kalması önlenmeye çalışılmıştır. Beşinci bölümde kullanılan kalite testi fonksiyonları ve kullanılan gerçek mühendislik problemleri tanıtılmıştır. Altıncı bölümde önerilen kaotik KSA'lar ile klasik KSA'nın kalite testi fonksiyonlarındaki sonuçlara bağlı analiz ve yorumlar yapılmıştır. Yedinci bölümde ise tezde yapılan çalışmalar değerlendirilmiş ve gelecek çalışmalara ışık tutması için yeni öneriler sunulmuştur.

2. SÜRÜ ZEKÂSINA DAYALI OPTİMİZYON ALGORİTMALARI

Sürü zekâsı merkezi olmayan kontrol, doğal ya da yapay kendi kendini organize eden sistemlerin gösterdiği toplu davranış biçimidir [5]. Özellikle bireylerin birbirleriyle ve çevreleriyle yerel etkileşimlerinden kaynaklanan kolektif davranışlar üzerine odaklanan disiplindir. Hiçbir kontrol mekanizması olmayan sürüdeki basit yapı ve özellikteki bireylerin basit iletişim yolları ile az maliyet harcayarak, esnek ve sağlam bir yapı oluşturup zekice hareket etmeleri ve kendi karşılaştıkları problemlere çözüm getirmeleri, biyologların ilgisini çektiği gibi bilgisayar bilimcilerin ve mühendislerin de ilgisini çekmektedir. Çünkü iletişim, taşımacılık, endüstriyel üretim ve robot-bilimi gibi birçok alanda çözümler getirmeye çalışan bilgisayar ve mühendislik bilimleri bu alanların birçoğunda çözülmesi oldukça zor veya zaman ya da maliyet olarak masraflı olan problemlerle karşı karşıya kalmaktadır. Sürülerin karşılaştıkları ve çözümledikleri problemlerin birçoğu bu problemlerle paralellik göstermektedir. Bu da sürü zekâsı kavramının geliştirilmesinde önemli bir rol oynamıştır. Aşağıda şimdiye kadar farklı araştırmacıların önerdiği sürü zekâsı optimizasyon algoritmalarından bazıları alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

2.1. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması

Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), ilk olarak Eberhart ve Kennedy tarafından 1995 yılında geliştirilmiş bir optimizasyon yöntemidir [6]. PSO, bir hayvan (balık, kuş, böcek, vs.) sürüsünün davranışı üzerine geliştirilmiştir. Yöntem, genel olarak söz konusu sürünün, besin kaynağı ararken ortaya koyduğu davranış üzerine kuruludur. Sürüde bulunan hiçbir bireyin optimum kaynağın yerini bilmediği durumda bile sürünün tüm bireylerinin başarılı bir şekilde kaynağa ulaşabilmesinden esinlenilerek geliştirilmiş olan bu yöntem [7];

- Her bir bireyin kendi hatıralarında yer etmiş olan iyi konuma gitme eğilimi olarak tanımlanabilecek bilişsel davranış biçimi,
- Her bir bireyin iyi konumlarda bulunan diğer bireyleri takip etme eğilimi olarak tanımlanabilecek sosyal davranış biçimi,
- Her bir bireyin rastgele arama yapma eğilimini tanımlayabilecek keşifsel davranış biçimleri arasında bir denge olduğu varsayımına dayanmaktadır. Sürünün bu davranışı formüle edilerek optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır.

Algoritma temel olarak aşağıdaki basamaklardan oluşur.

Adım 1: Rastgele üretilen başlangıç pozisyonları ve hızları ile başlangıç sürüsü oluşturulur.

Adım 2: Sürü içerisindeki tüm parçacıkların uygunluk değerleri hesaplanır.

Adım 3: Her bir parçacık için mevcut jenerasyondan yerel en iyi (*pbest*) bulunur. Sürü içerisinde en iyilerin sayısı parçacık sayısı kadardır.

Adım 4: Mevcut jenerasyondaki yerel eniyiler içerisinde küresel en iyi (*gbest*) seçilir.

Adım 5: Pozisyon ve hızlar yenilenir.

Adım 6: Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar 2, 3, 4, 5 adımları tekrar edilir.

PSO algoritması, her bir parçacığın problem için muhtemel bir çözümü temsil ettiği parçacıkların bir sürüsü (popülasyonu) ile uğraşır. Evrimsel hesaplama paradigmalarına benzer olarak, sürü popülasyona karşılık gelmekte ve parçacıklar popülasyonlara benzemektedir. Basit bir ifadeyle, parçacıklar çok boyutlu araştırma uzayı boyunca akış içerisinde dirler ve her bir parçacığın pozisyonu kendi ve komşularının tecrübelerine göre ayarlanmaktadır.

2.2. Yapay Balık Sürüsü Optimizasyon Algoritması

Yeni bir evrim sayma tekniği olan Yapay Balık Sürüsü Algoritması (YBSA) ilk kez 2002 de önerilmiştir [8]. YBSA'nın fikri sürü teorisine ve basitleştirilmiş balık okulunun doğal sosyal davranışlarının simülasyonuna dayanmaktadır. YBSA nesnel fonksiyonların bağımsız gradyan bilgileri, karmaşık lineer olmayan yüksek-boyutlu problemleri çözme yeteneği gibi genetik algoritmanın benzer cezbedici özelliklerine sahiptir. Dahası daha hızlı yakınsamayla hızlı olmayı başarabilmekte ve gerekli birkaç parametreyi ayarlayabilmektedir.

YBSA genetik algorithmada kullanılan mutasyon süreçleri ve çaprazlamaya sahip değildir. Bu yüzden daha kolay bir şekilde yürütülmektedir. YBSA aynı zamanda popülasyona dayalı bir optimizasyondur. Yöntem başlangıçta rastgele üretilen bir dizi potansiyel çözümlerle başlatılmakta ve daha sonra tekrarlı bir şekilde optimum bir çözüm elde etmek için arama yapmaktadır [9].

2.3. Kırlangıç Sürüsü Optimizasyon Algoritması

Kırlangıç Sürüsü Optimizasyonu (KSO) sürü zekâsına dayalı bir algoritmadır. Bu optimizasyon yöntemi kırlangıç sürüsünün hareketlerini ve davranışlarını inceleyen yeni bir optimizasyon yöntemidir. Bu yöntemde parçacıkların 3 tipi vardır. Bunlar; kâşif parçacıklar, amaçsız parçacıklar ve lider parçacıklardır. Her parçacığın kişisel bir özelliği vardır ama bunların ortak özelliği, uçan bir merkezi kolonisinin olmasıdır. Her parçacık sürekli olarak adaptif bir yarıçap ile çevreyi araştırarak ve akıllı bir davranış sergilemektedir. Komşu parçacıkların durumları genel lider ve lokal lider olarak kabul edilmekte ve daha sonra bir hamle yapılmaktadır [10].

KSO algoritmasıyla yüksek verimlilik kanıtlanmıştır. Bu yüksek verimlilik; düz alanlarda hızlı hareketi (bu alanlarda gıda bulunmadığı için türev sıfıra eşittir), elde kalmış lokal ekstremum noktaları, yüksek yakınsama hızını ve parçacıkların farklı gruplar içindeki akıllı katılımını sağlamaktadır [10].

Bu parçacıklar birbirlerine paralel olarak hareket ederler ve her zaman etkileşim halindedirler. Kolonideki her parçacık (her koloni alt kolonilerden oluşmaktadır) bir şeyler yaparak ve deneyerek daha iyi bir duruma doğru kolonileri yönlendirmeden sorumludur.

Kırlangıç hareketleri, yüksek hız ve yüksek dinamikte gerçekleşmesi nedeniyle alt koloniler arasındaki gerçek sınırlar asla işaretlenemez. Kırlangıçların diyagramı ve sayıları alt koloni büyüklüklerine göre değişir.

Bu parçacıkların tümü sürekli birbirleriyle etkileşim halindedir ve her parçacık bu üç rolden birini üstlenir. Arama süresi sırasında bu parçacıklar sık sık rollerini değiştirebilir ama öncelikli hedefi optimum noktayı bulmaktır ki bu en önemli görevdir [10].

2.4. Karga Arama Algoritması

Kargalar en zeki hayvanların başında gelmektedir. Yüzleri hatırlayabilmekte, araç kullanabilmekte, diğer kargalarla iletişime geçebilmekte, farklı mevsimlerde yiyecek bulup saklayabilmektedir. Daha iyi yiyecek kaynağı bulabilmek için birbirlerini takip etmektedirler. Karga Arama Algoritması (KAA)'da kargaların bir sürü şeklindeki yaşamları, saklandıkları yerleri hatırlayabilme kabiliyetleri, yiyecek bulmadaki birbirlerini takip etmeleri ve gizlendikleri yerleri koruma davranışları göz önüne alınarak Askarzadeh tarafından 2016'da önerilmiştir [11]. Bu açıklamalara bağlı olarak kargaların davranışı ve popülasyon tabanlı meta sezgisel algoritma arasındaki benzerlik Tablo 2.1'de listelenmiştir. Algoritmanın akış diyagramı ise Şekil 2.2'de gösterilmiştir [11, 12].

Tablo 2.1. Kargalar ve meta sezgisel optimizasyon arasındaki benzerlik

Kargalar	Meta Sezgisel Optimizasyon
Kargalar	Arama ajanları
Çevre	Arama uzayı
Çevrenin her pozisyonu	Uygun çözümler
Yiyecek kaynağının kalitesi	Amaç fonksiyonu
Çevrenin en iyi yiyecek kaynağı	Global çözüm

2.5. Kral Kelebeği Optimizasyon Algoritması

Kral Kelebeği Optimizasyonu (KKO), kral keleklerin göçünün basitleştirilmesi ve idealleştirilmesi sonucunda ortaya çıkan meta sezgisel algoritmalar arasından biri olarak 2015 yılında, Gai-Ge Wang, Suash Deb ve Zhihua Cui tarafından önerilmiştir. Bu algoritmada kelekler iki farklı toprakta bulunurlar. Bunlar Güney Kanada, Kuzey Amerika (kara-1) ve Meksika (kara-2)'dır. Kral keleklerin pozisyonları iki farklı şekilde belirlenmektedir. Birincisinde; yavrular, geçiş operatörleri tarafından belirlenmektedir. Bu yavruların geçiş oranı ayarlanabilmektedir. İkincisinde ise; kelek ayarlama operatörleri ile kral keleklerin pozisyonları belirlenmektedir. Popülasyonu koruyup değiştirmeden, uygunluk değerlendirmelerini en aza indirmek için, bu iki yöntemde de üretilen yeni kelekler toplamdaki orijinal popülasyona eşit kalmaktadır. Algoritmanın kuralları şunlardır:

- 1) Tüm kral kelekleri sadece kara-1 ve kara-2'de bulunmalıdır.
- 2) Her yeni çocuk kara-1 veya kara-2 de göç operatörü ile kral kelebeğinden üretilmelidir.
- 3) Nüfusun değişmemesi için yeni bir çocuk üretildiğinde eski keleklerden biri ortadan kaldırılmalıdır. Kaldırma işlemi yeni çocuk, eski ebeveyni ile karşılaştırılmalı ve daha iyi bir uygunluğa sahipse yapılmalıdır. Diğer taraftan yeni üretilen ebeveyn göre daha iyi bir uyum göstermiyorsa atılacaktır. Bu senaryoda ebeveyn bozulmadan korunmaktadır.
- 4) En iyi uygunluk değerine sahip kral kelekler otomatik olarak yeni kuşağa geçer ve herhangi bir operatör ile değiştirilmezler. Bu durum, nüfusun kalitesini ve etkinliğini nesiller arttıkça bozulmamasını sağlamaktadır [13].

2.6. Tavuk Sürüsü Optimizasyon Algoritması

Sürü zekâsına dayalı optimizasyon algoritmalarından olan Tavuk Sürüsü Optimizasyonu (TSO) 2014 yılında Xianbing Meng, Yu Liu, Xiaozhi Gao ve Hengzhen Zhang tarafından önerilmiştir. Hiyerarşik düzendeki tavuk sürüleri içerisindeki tavuk, horoz ve civcivin tavuk sürüsündeki davranışlarını taklit ederek, optimizasyon problemlerini verimli bir şekilde en iyi duruma getirmeyi amaçlamaktadır. TSO, 4 maddeden oluşmaktadır.

- 1) Tavuk sürüsünde birkaç grup vardır. Bunlar; her grup için baskın bir horoz, birkaç tavuk ve civcivdir.
- 2) Tavuk sürüsü çeşitli gruplara ayrılır ve tavukların kimliğini (horoz, tavuk, civciv) belirlemek için uygunluk değeri kullanılır. En iyi uygunluk değerine sahip tavuklardan her biri, bir grupta baş horoz gibi davranır. En kötü uygunluk değerine sahip tavuklar ise civciv olarak belirlenir. Geriye kalanlar ise tavuk olur. Tavukların hangi grupta

yaşayacakları rastgele seçilir. Anne-çocuk ilişkisi tavuklar ve civcivler arasında rastgele kurulur.

- 3) Hiyerarşik düzen, egemenlik ilişkisi ve anne-çocuk ilişkisi değişmeden kalır. Bu durumlar sadece belirli zamanlarda değişir.
- 4) Tavuklar yiyecek aramak için kendi grup arkadaşları olan horozu izlerken, tavuklar kendi yiyeceklerini yemeye çalışanları önleyebilirler. Tavukların başkaları tarafından önceden bulunmuş yiyecekleri rastgele olarak çaldıkları varsayılır. Yavrular anneleri etrafında yiyecek ararlar ve baskın bireyler yiyecek bulmak için avantajlı kabul edilir [14].

2.7. Kril Sürüsü Optimizasyon Algoritması

Sürü zekâsına dayalı optimizasyon algoritmalarından olan Kril Sürüsü Optimizasyon Algoritması (KSOA) 2011 yılında Amir Hossein Gandomi ve Amir Hossein Alavi tarafından önerilmiştir. KSOA, kril sürülerinin davranışlarına dayanmaktadır. Her bir krilin yiyecek ve sürünün en yüksek yoğunlukta olduğu noktaya minimum uzaklığı, kril hareketi için amaç fonksiyonu olarak kabul edilmektedir. Kril bireylerinin zamana bağımlı konumu üç ana faktörde formüle edilmiştir.

- 1) Diğer bireylerin hareketinden kaynaklanan,
- 2) Yiyecek aramadan kaynaklanan hareket,
- 3) Rastgele difüzyondur.

KSOA, optimizasyon alanında yaygın kullanılan farklı kritik problemlerde kullanılarak doğrulanmıştır [15].

2.8. Fil Sürüsü Optimizasyon Algoritması

Fil Sürüsü Optimizasyonu (FSO), fillerin davranışlarından esinlenerek ortaya çıkmış güncel sürü zekâsına dayalı algoritmalarından biridir. Doğada farklı gruplara ait filler, grubun reisi kabul edilen liderin altında yaşarlar ve erkek filler büyüdüklerinde aile gruplarından ayrılırlar. Grubu güncelleme operatörü ve ayırıcı operatör olmak üzere iki davranış vardır. FSO'da her grubun filleri grubun reisi tarafından mevcut konumu ve grup güncelleme operatörü aracılığıyla grubu güncellemektedir. FSO, üç maddeden oluşmaktadır.

- 1) Fil nüfusu birkaç gruptan oluşur ve her grubun fil sayısı sabittir.
- 2) Sabit bir sayıdaki erkek fil, aile gruplarından ayrılacak ve her nesilde ana fil grubundan uzakta tek başlarına yaşayacaklardır.
- 3) Her gruptaki filler bir anne babanın öncülüğünde birlikte yaşamaktadırlar [16].

2.9. Solucan Sürüsü Optimizasyon Algoritması

Biyolojiden esinlenmiş yeni bir meta sezgisel algoritma olan Solucan Sürüsü Optimizasyonu (SSO), 2015 yılında Gai-Ge Wang tarafından önerilmiştir. SSO, doğadaki solucanların iki tür üremesinden esinlenmiştir. Solucanlar, toprağı havalandırır ve toprağı atık besinleri ile zenginleştirebilir. Solucanların doğaya katkısından yola çıkarak ortaya çıkmıştır. SSO, solucanların iki tür üremesinden (üreme-1 ve üreme-2) esinlenmiştir. Üreme-1’de tek çocuğı kendisi oluşturmaktadır. Üreme-2’de ise bir defada bir veya daha fazla çocuk üretilmektedir [17].



3. KUŞ SÜRÜSÜ ALGORİTMASI

Biyolojiden esinlenen en yeni yöntemlerden biri olan KSA optimizasyon problemlerini çözmek için önerilmiştir. KSA kuş sürülerindeki sosyal davranış ve sosyal etkileşimlerindeki sürü zekâsına dayanmaktadır. Kuşların çoğunlukla üç davranış biçimi vardır. Bunlar beslenme davranış biçimi, uyanıklık davranışı ve uçuş davranışdır. Kuşlar yiyecek arayabilir ve hayatta kalma şansını artırabilmek için sosyal etkileşimler aracılığıyla avcılardan kaçabilmektedirler. Bu tür sosyal davranışlar, sosyal etkileşimler ve ilişkili sürü zekâsı modellenerek; beş temel kural ile dört arama stratejisi KSA'da formüle edilmiştir [18].

İspinoz gibi birçok kuş türü sürü halinde yaşamaktadır. Toplu bir şekilde sürüde uçabilmekte, yiyecek arayışında bulunabilmekte ve konaklayabilmektedirler [19]. Böyle davranışlar ayrılık, hizalama, uyum gibi basit kurallardan kaynaklanan acil davranışlar olarak kabul edilmektedir. En basit sosyal etkileşim yoluyla sürü davranışlarında kompleks hareketler ve etkileşimler geliştirilebilmektedir.

Sürüde yiyecek arayan kuşlar kendi hisleriyle yola çıkarak daha fazla bilgi toplayabilmekte ve hayatta kalma şansına sahip olup, iyi verimli besin arayışında bulunabilmektedirler. Eğer bir kuş farklı yiyecek yolları bulursa diğerleri onlardan beslenir [20]. Besin ararken kuşlar genellikle avlanma tehdidine karşı bir araya toplanmaktadırlar [21]. Sık sık kafalarını kaldırarak çevrelerini taramaktadırlar. Böyle davranışlar uyanıklık davranışı olarak [19] yorumlanmakta ve tespit eden avcılar için elverişli olabilmektedir [22]. Çalışmalar kuşların rastgele bir şekilde yiyecek arama ve uyanık kalma arasındaki seçimi göstermektedir [23]. Yırtıcı bir hayvan tespit ettiklerinde kuşlar genellikle alarm çağrıları vermektedirler [24]. Bu yüzden bütün grup aceleyle hareket etmektedir. Sürüdeki kuşların potansiyel bir tehdidi yalnız olan kuştan daha iyi hissetme şansına sahip olduğu görülmüştür. Grup boyutundaki bir artış ile bireysel uyanıklıkta azalma birçok kuşta oldukça yaygındır [25]. Başka bir deyişle, bir kuş yırtıcı grup büyüklüğü arttıkça besin aramada daha fazla zaman harcayabilmektedirler [26, 27].

Bir grubun çevresindeki kuşların avcılar tarafından saldırıya uğrama şansı, merkezdekilerden daha fazladır. Çalışmalarda, sürünün merkezindeki besin arayışında bulunan hayvanların avcılar tarafından saldırıya uğradıklarında kendilerini korumak için komşularına hareket edebildiği görülmüştür [24]. Her kuş, sürünün merkezine doğru hareket etmeye çalışır. Çünkü onu algılayabilmektedirler. Fakat bu hareketin, kuş sürüleri arasında oluşan rekabetten etkilenme olasılığı vardır [28]. Bu yüzden kuşlar sürünün merkezine doğru, doğrudan hareket etmeyebilirler.

Kuşlar besin aramak için ya da avcılardan kaçmak için diğer yönlelere uçabilmektedir. Yeni bir yere vardiktan sonra yeniden yiyecek aramak istemektedirler. Burada sürüden beslenen kuşlarda üretme ve bedavacılığın var olduğu gözlenmektedir. Üreticiler aktif bir şekilde yiyecek arayışında bulunurken, bedavacılar sadece üreticiler tarafından bulunan yiyeceklerden beslenirler [29, 30]. Bireyler genellikle alternatif davranış stratejileri kullanabilmekte ve üretim ve bedavacılık yapma arasında seçim yapabilmektedirler [31, 32, 33]. Çalışmalar yüksek rezervli kuşların üretici, küçük rezervli kuşların bedavacı olabileceğini göstermiştir [33].

Sürüden beslenen kuşlar için sosyal davranışlar sosyal bir hayvanın hayatta kalabilmesi için bir avantaj sağlamaktadır [34]. Her kuş hayatta kalma ve verimli şekilde yem elde etmek için sosyal etkileşimlerden faydalanabilmektedir. Sosyal davranışların ve sosyal etkileşimlerin arkasındaki esas, yeni bir optimizasyon metodu tasarlama ile ilişkili olan sürü zekâsıdır.

Yukarıda belirtilen sosyal davranışlar aşağıdaki gibi bazı idealize edilmiş kurallarla basitleştirilmiştir [18].

Kural 1: Her kuş uyanıklık davranışı ve besin arama davranışı arasında geçiş yapabilir. İster kuş yem yesin ister uyanık kalsın; bir stokastik karar olarak modellenmiştir.

Kural 2: Besin ararken her kuş deneyimlerini hemen kaydetmeli ve önceki en iyi deneyimini ve sürülerin önceki gıda yönü hakkında en iyi deneyimini güncellemelidir. Bu deneyim aynı zamanda yiyecek arayışı için de kullanılabilir. Sosyal bilgiler bütün sürüler arasında anında paylaşılmaktadır.

Kural 3: Uyanık tutulduğunda her kuş sürünün merkezine doğru hareket etmeye çalışacaktır. Bu davranış sürü arasındaki rekabet ile uyarılan müdahaleden etkilenebilmektedir. Daha yüksek rezervli kuşların daha düşük rezervli olanlara göre sürünün merkezine daha yakın olması beklenir.

Kural 4: Kuşlar periyodik bir şekilde başka bir yöne uçmaktadırlar. Başka yöne uçtuklarında kuşlar sık sık üretim ve bedavacılık arasında geçiş yapabilmektedirler. En düşük rezervli kuş bedavacı olabilirken en yüksek rezervli kuş bir üretici olabilmektedir. En yüksek ve en düşük rezervli kuşlar arasındaki diğer rezervli kuşlar rastgele üretici ve bedavacı olmayı seçmektedirler.

Kural 5: Üreticiler aktif bir şekilde yiyecek ararken, bedavacılar rastgele bir üreticiyi takip ederek yiyecek aramaktadırlar.

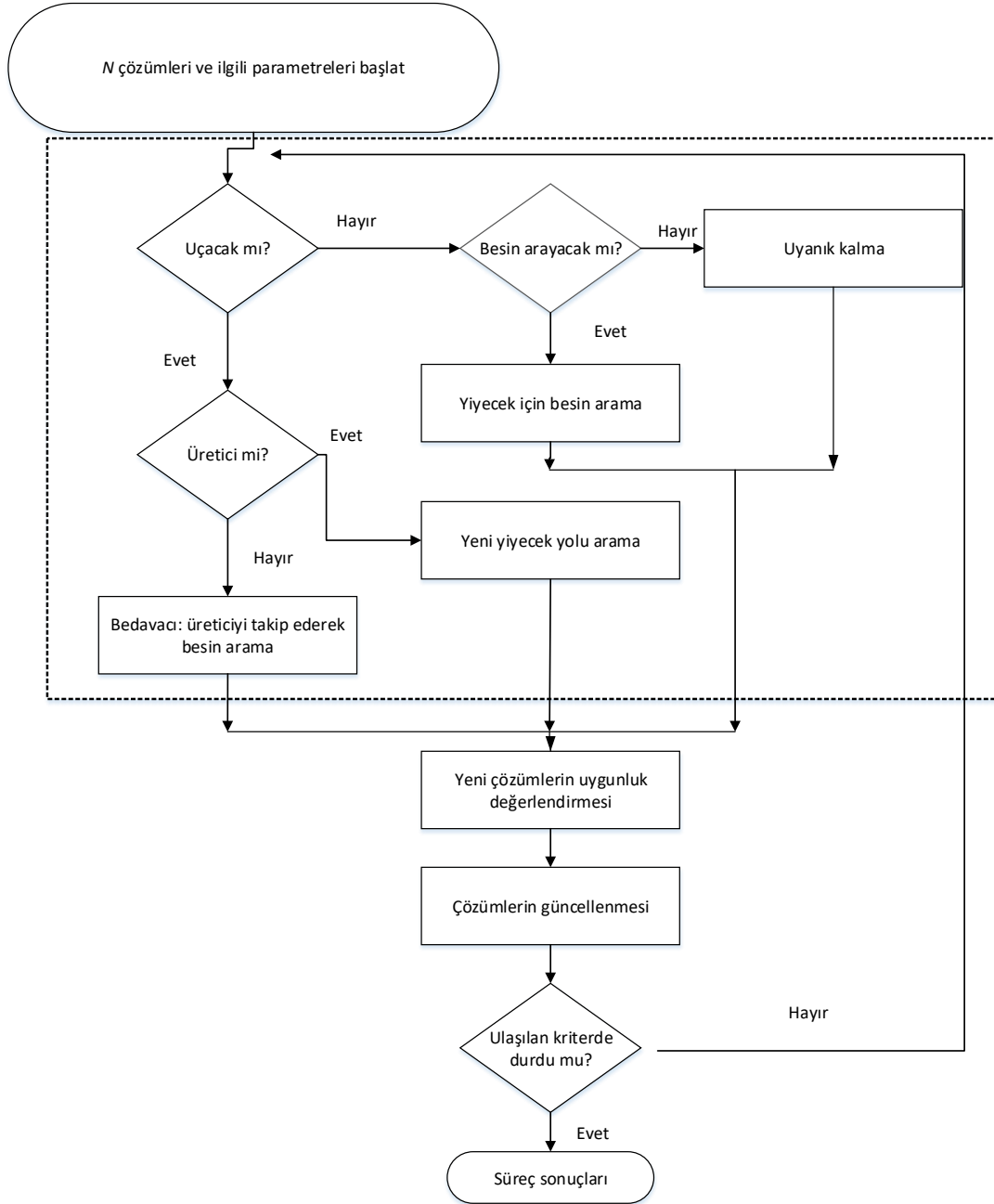
Verilen bu kurallara bağlı olarak KSA önerilmiş ve temel akış diyagramı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Tüm N sanal kuşlar, onların pozisyonları tarafından tasvir edilen t zaman adımı $x_i^t(i \in [1, \dots, N])$ d boyutlu uzayda uçmakta ve besin için yiyecek aramaktadırlar.

3.1. Besin Arama Davranışı

Her kuş kendi tecrübe ve sürülerin deneyimlerine göre yemek aramaktadır. Kural 2 Denklem (3.1)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + (p_{ij} - x_{ij}^t) \times c \times rand(0, 1) + (g_j - x_{ij}^t) \times s \times rand(0, 1) \quad (3.1)$$



Şekil 3.1. KSA'nın akış diyagramı [17]

Burada $jC[1, \dots, d]$, $rand(0, 1)$ 0 ile 1 arasındaki bağımsız eşit dağıtılmış sayıları temsil etmektedir. d boyut, i kuş sayısı, t iterasyon, c ve s sırasıyla bilişsel ve sosyal hızlandırılmış katsayılar olarak adlandırılan iki pozitif sayıdır. x_{ij}^t , i . kuşun j . boyutunun t . anındaki

pozisyonunu ifade etmektedir. p_{ij} , i . kuşun en eski en iyi konumu ve g_j sürü tarafından paylaşılan en eski en iyi pozisyonudur

Kolaylık olması açısından Kural 1 stokastik bir karar olarak formüle edilmiştir. Eğer 0 ile 1 arasında düzgün bir rastgele sayı $P(PE(0, 1))$ sabit değerinden daha küçükse kuş yiyecek için besin arayışında olur. Aksi takdirde kuşun uyanıklığı devam eder.

3.2. Uyanıklık Davranışı

Kural 3 göz önüne alındığında kuşlar sürünün merkezine hareket etmeye çalışmaktadır ve kaçınılmaz bir şekilde birbirleriyle rekabet halinde olmaktadır. Bu yüzden her kuşun doğrudan sürünün merkezine doğru hareket etme eğilimi yoktur. Böyle hareketler Denklem (3.2-3.4)'teki gibi ifade edilmektedir [18]:

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + A_1(mean_j - x_{ij}^t) \times rand(0, 1) + A_2(p_{kj} - x_{ij}^t) \times rand(-1, 1) \quad (3.2)$$

$$A_1 = a_1 \times \exp\left(-\frac{pFit_i}{sumFit + \epsilon} \times N\right) \quad (3.3)$$

$$A_2 = a_2 \times \exp\left(-\frac{pFit_i - pFit_k}{|pFit_k - pFit_i| + \epsilon}\right) \frac{N \times pFit_k}{sumFit + \epsilon} \quad (3.4)$$

$k(k \neq i)$ 1 ve N arasında rastgele seçilen pozitif bir tamsayıdır. a_1 ve a_2 $[0, 2]$ arasında sabit 2 pozitif sayıdır. $pFit_i$, i . kuşun en iyi uygunluk değerini göstermektedir ve $sumFit$ sürünün en iyi uygunluk değerinin toplamını temsil etmektedir. 0 bölünme hatasını önlemek için kullanılan ϵ , bilgisayardaki en küçük sabittir. $mean_j$, bütün sürünün j . elemanının ortalama konumunu ifade etmektedir.

Bir kuş sürünün merkezine doğru hareket ettiğinde kaçınılmaz bir şekilde birbirleriyle yarışacaklardır. Kolaylık olması açısından sürünün ortalama uygunluk değeri bir kuş sürünün merkezine doğru hareket ettiğinde çevresi tarafından uyarılan dolaylı etki olarak kabul edilmektedir. Her kuşun sürünün merkezinde durmak istediği gerçeği göz önüne alındığında, A_1 ve $rand(0, 1)$ 'in çarpımı 1'den fazla olmamalıdır. Burada bir kuş sürünün merkezine hareket ettiğinde A_2 özel bir girişim tarafından uyarılan doğrudan etkiyi simüle etmek için kullanılır. Rastgele k . bir kuşun en iyi uygunluk değeri, i . kuşun uygunluğundan daha iyi ise ($k \neq i$), $A_2 > a_2$ olur. Yani i . kuşun k . kuştan daha büyük bir girişim ortaya çıkarabildiği anlamına gelir. Bazı rastgelelik ve öngörülmezlik olmasına rağmen k . kuşun i . kuştan sürünün merkezine doğru daha fazla hareket etmesi muhtemeldir. Aksi belirtilmedikçe bu çalışma minimizasyon

problemlerini çözer. Bu yüzden daha küçük fonksiyon değeri, daha uygun bir çözüm adayı olacaktır [18].

3.3. Uçma Davranışı

Kuşlar bir başka bölgeye avlanma tehdidine karşılık olarak, besin arama ya da diğer herhangi bir sebepten uçabilirler. Yeni bir bölgeye vardıklarında yine yiyecek için besin aramaktadırlar. Üretici olarak davranan bazı kuşlar yiyecek yollarını arayabilmekte, diğerleri üreticiler tarafından bulunan yiyecek yolundan beslenmeye çalışmaktadırlar. Kural 4'e göre üreticiler ve bedavacılar sürüden ayrılabilirler. Üreticilerin ve bedavacıların davranışları sırasıyla Denklem (3.5, 3.6)'daki gibi matematiksel olarak ifade edilmiştir [18]:

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + rand(0, 1) \times x_{ij}^t \quad (3.5)$$

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + (x_{kj}^t - x_{ij}^t) \times FL \times rand(0, 1) \quad (3.6)$$

$randn(0, 1)$ standart sapması 1 ve ortalaması 0 olan rastgele sayı üreten Gauss'u göstermektedir. $k \in [1, 2, 3, \dots, N]$, $k \neq i$. FL ($FL \in [0, 2]$) bedavacıların yiyecek aramak için üreticileri takip ettiği anlamına gelmektedir.

Anlaşılabilir olması adına her kuşun FQ birim aralığının başka bir yere uçtuğunu göstermektedir. Burada FQ pozitif bir tamsayı ile ifade edilmektedir.

3.4. Hesaplama Usulleri ve KSA'nın Hesaplama Karmaşıklığı

Söz konusu açıklamalara dayanarak, KSA Tablo 3.1'de gösterilen sözde kod ile özetlenmiştir. KSA'nın karmaşıklığının hesaplanması tahmin edilebilmektedir. Tablo 3.1 ve Şekil 3.1'e göre üretme yöntemleri, değerlendirme ve güncellenen yeni çözümler KSA'nın en yüksek hesaplama yükünü oluşturmaktadır. Diğer adımların hesaplama karmaşıklığı oldukça basit ve ihmal edilebilmektedir. Bu yüzden en kötü durum karmaşıklığı yeni çözümleri güncelleme, değerlendirme ve üretme yöntemleri dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

Yeni çözümleri güncelleme, değerlendirme ve üretme zaman karmaşıklığı aynıdır. Yani $O(MN)$ ile ifade edilmektedir. Özetlemek gerekirse, KSA'nın genel hesaplama karmaşıklığı $O(MN)$ 'dir.

Tablo 3.1. KSA'nın sözde kodları

KSA
1.Girdi: N : Popülasyon tarafından içerilen bireylerin (kuş) sayısı 2. M : Maksimum iterasyon sayısı 3. FQ : Kuşların uçuş davranışlarının sıklığı 4. P : Yiyecek için besin bulma olasılığı 5. C, s, a_1, a_2, FL : 5 sabit parametre 6. $t = 0$; popülasyonu başlatmak ve ilgili parametreleri tanımlamak 7. N bireylerinin uygunluk değeri değerlendirme ve en iyi çözüm bulma 8.While($t < M$) 9. If($t \% FQ \neq 0$) 10. For $i = 1 : N$ 11. If $\text{rand}(0, 1) < P$ 12. Kuşlar yiyecek için besin arar (Denklem 3.1) 13. Else 14. Kuşlar uyanık kalır (Denklem 3.2) 15. End If End For 16.Else 17. Sürüyü iki parça haline bölün: Üreticiler ve bedavacılar 18. For $i = 1 : N$ 19. If i yapımcı ise 20. Üretici (Denklem 3.5) 21. Else 22. Bedevacı (Denklem 3.6) 23. End If End For 24. End If yeni çözümleri değerlendirme 25. If yeni çözümler önceki çözümlerden daha iyiye bunları güncelleştir 26. Mevcut en iyi çözümü bul 27. $t = t + 1$; End While 28. Çıkış : Popülasyondaki en iyi amaç fonksiyonlu birey

4. KAOTİK HARİTALAR

30 yıldan daha fazla süredir kaotik sistemlerin sıra dışı davranışları birkaç farklı toplumun ilgisini çekmiştir. Kaotik davranışlar mühendislik, tıp, ekoloji, biyoloji ve ekonomi gibi farklı alanlarda görülmüştür. Kaos matematiksel açıdan basit deterministik sistemler tarafından üretilen rastgelelilik olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak kaos üç önemli özelliğe sahiptir.

- Başlangıç koşullarına olan bağımlılığı
- Yarı stokastik özelliği
- Ergodiklik

Son zamanlarda rastgele sayı üretme yerine kaotik sistemleri kullanma fikri birçok alanda fark edilmiştir. Bu alanlardan biri de optimizasyon algoritmalarıdır. Rastgele tabanlı optimizasyon algoritmalarında rastgelelik rolü kaotik dinamikler aracılığıyla yapılır. Henüz matematiksel olarak kanıtlanmamış olmasına rağmen, deneysel çalışmalar rastgele sayılar kullanmak yerine kaotik haritaları kullanmanın daha faydalı olduğunu ortaya koymuştur [35].

4.1. Kaotik Harita

KSA'nın yakınsama özelliği çalışma sırasında çeşitli parametreler üzerine uygulanan rastgele sayı dizisine bağlı olabilmektedir. Özellikle, farklı rastgele diziler KSA sırasında kullanıldığında sonuçların çok yakın olduğu ama eşit olamayacağını görülmüştür. Aynı zamanda aynı optimum değerlere farklı iterasyon sayıları ile ulaşılabilir. Ancak diğer sürü zekâsına dayalı algoritmalarda olduğu gibi KSA'nın performansını artırmayı garantileyen özel analitik sonuçlar yoktur [36].

Son zamanlarda rastgele sayı dizilerinin yerini alan kaotik sayı dizileri güvenli iletişim [37], doğal fenomen modelleme [38], yapay sinir ağları [39] ve doğrusal olmayan devreler [40] gibi birçok uygulama da kullanılmıştır ve bazen çok güzel sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca kaotik sayı dizisi DNA bilgisayarları işlemlerinde de kullanılmaktadır [41].

KHKSA'da ergodik, düzensiz ve stokastik özelliklerine sahip kaotik haritalar kullanılarak KSA yöntemine oranla daha kolayca lokal çözümden kaçabilmeyi sağlamak amaçlanmıştır. Bu şekilde global yakınsamanın artırılması hedeflenmiştir. Rastgele sayılar özel bir kaotik harita bir adım ilerletilerek üretilmektedir. Yani, KSA'da ilk iterasyondan itibaren rastgele sayı üretimine ihtiyaç duyulduğunda seçilen kaotik harita seçilen bir başlangıç noktasından başlanarak birer adım ilerletilir. KSA parametreleri için kullanılacak kaotik sayı üreten haritalar aşağıda listelenmiştir [42].

- **Çebişev Haritası**

Çebişev harita Denklem (4.1)'de gösterildiği şekilde temsil edilmektedir [35].

$$X_{n+1} = \cos(k \cos^{-1} x_n) \quad (4.1)$$

- **Çember Harita**

Çember harita Denklem (4.2)'de gösterildiği şekilde temsil edilmektedir [35].

$$X_{n+1} = X_n + b - (a/2\pi) \sin(2\pi X_n) \bmod(1) \quad (4.2)$$

$a=0.5$ ve $b=0.2$ alınmıştır.

- **Gauss Harita**

Tek boyutlu, gerçek değer haritası olan bu harita zaman aralığı içinde ayırık uzay alanıdır. Gauss haritası bize tamamen kaotik nitel ve nicel özellikleri analiz etmemiz için izin verir ve literatürde test amaçlı kullanılmaktadır. Denklem 4.3 ve 4.4'teki gibi temsil edilmektedir [43].

$$X_{n+1} = \begin{cases} 0 & , X_n = 0 \\ 1/X_n \bmod(1) & , X_n \in (0,1) \end{cases} \quad (4.3)$$

$$1/X_n \bmod(1) = \frac{1}{X_n} - \left\lfloor \frac{1}{X_n} \right\rfloor \quad (4.4)$$

- **Yinelemeli Harita**

Yinelemeli harita Denklem (4.5)'te gösterildiği şekilde temsil edilmektedir [44].

$$X_{n+1} = \sin\left(\frac{a\pi}{x_n}\right) \quad a=0.7 \quad (4.5)$$

- **Lojistik Harita**

Lojistik harita kaosu gösterilmesi için ayırık zamanlı bir dinamik sistemdir. Kaotik davranış gösteren biyolojik nüfusun doğrusal olmayan dinamiklerinde ortaya çıkan bu harita Robert May tarafından 1976 yılında bilim adamlarının dikkatini çekmiştir. En basit ve en çok kullanılan dinamik sistemlerden biridir. Lojistik harita tek boyutludur ve doğrusal değildir. Denklem 4.6'daki gibi temsil edilmektedir [44].

$$X_{n+1} = aX_n(1 - X_n) \quad (4.6)$$

Bu denklemde, n iterasyon sayısını göstermekte, X_n de n . kaotik sayıyı temsil etmektedir. Ayrıca a parametresinin alacağı değere göre kaotik ya da kaotik olmayan davranış gösterecektir. a parametresinin 1 ile 3 arasındaki değerinde sistem kaotik değildir ve tek bir denge noktası vardır, sistem bu noktaya yaklaşarak orada sabit kalır ve herhangi birine yaklaşarak orada sabit kalır. Fakat 3.5 değerinden sonra sistem kaosa girmektedir ve davranışı kestirilememektedir [44]. a parametresi 4 olarak kullanılmıştır.

- **Parçalı Harita**

Parçalı harita Denklem (4.7)'de gösterildiği şekilde temsil edilmektedir [44].

$$x_{n+1} = \begin{cases} \frac{x_n}{P}, & 0 \leq x_n < P \\ \frac{x_n - P}{0.5 - P}, & P \leq x_n < 0.5 \\ \frac{1 - P - x_n}{0.5 - P}, & 0.5 \leq x_n < 1 - P \\ \frac{1 - x_n}{P}, & 1 - P \leq x_n < 1 \end{cases}, \quad P=0.4 \quad (4.7)$$

- **Sinus Harita**

Sinus harita Denklem (4.8)'de gösterildiği şekilde temsil edilmektedir [44].

$$X_{n+1} = \frac{a}{4} \sin(\pi x_n) \quad (4.8)$$

$0 < a \leq 4$ dür. Bu harita lojistik harita ile niteliksel açıdan aynıdır. Bu tür haritalara tek modlu haritalar denir. $a=4$ alınmıştır.

- **Singer Harita**

Singer harita Denklem (4.9)'da gösterildiği şekilde temsil edilmektedir [44].

$$X_{n+1} = \mu(7.86x_n - 23.31x_n^2 + 28.75x_n^3 - 13.302875x_n^4), \mu=1.07 \quad (4.9)$$

- **Sinüzoidal Harita**

Sinüzoidal harita Denklem (4.10) ve Denklem (4.11)'deki gibi temsil edilmektedir [35].

$$X_{n+1} = ax_n^2 \sin(\pi x_n) \quad (4.10)$$

$a = 2.3$ ve $X_0 = 0.7$ seçildiğinde Denklem (4.11)'deki gibi basitleştirilebilir.

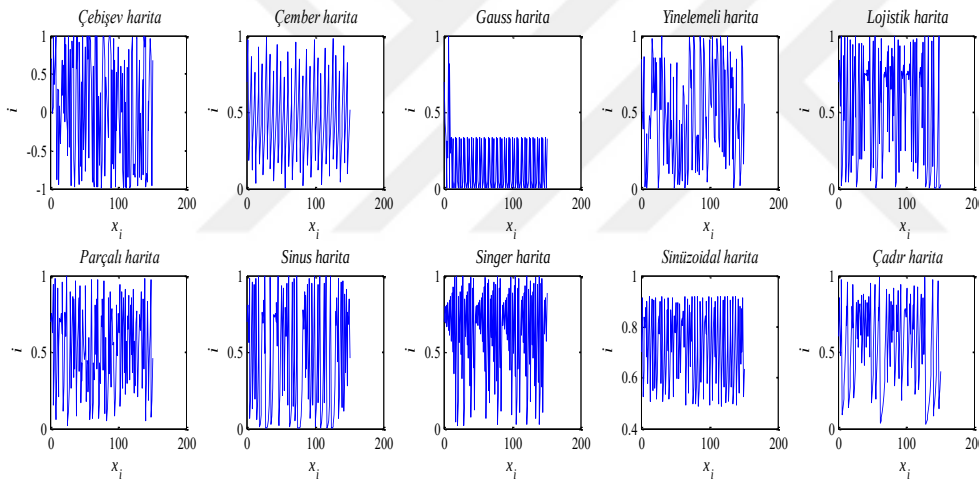
$$X_{n+1} = \sin(\pi x_n) \quad (4.11)$$

- **Çadır Harita**

Çadır harita lojistik haritaya benzemektedir. $(0, 1)$ aralığında sayılar üretmektedir ve formülü Denklem (4.12)'de gösterilmiştir [45].

$$X_{n+1} = \begin{cases} X_n / 0.7 & , X_n < 0.7 \\ 10/3X_n(1 - X_n) & , \text{değilse} \end{cases} \quad (4.12)$$

Tanıtılan on kaotik haritanın grafikleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kaotik haritaların gösterimi

4.2. Kaotik Haritalı Kuş Sürüşü Algoritmaları (KHKSA)

Bu tez çalışması kapsamında önerilen yeni KHKSA'lar basitçe aşağıda sınıflandırılmış ve açıklanmıştır.

- **KHKSA1:** Denklem (3.1)'in 1. rand değeri seçilen kaotik haritayla değiştirilir. Denklem (3.1)'in güncellenen hali Denklem (4.13)'te gösterilmiştir.

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + (p_{ij} - x_{ij}^t) \times c \times KH(tip) + (g_j - x_{ij}^t) \times s \times rand(0, 1) \quad (4.13)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $KH(tip)$ seçilen kaotik harita tabanlı bir fonksiyondur.

- **KHKSA2:** Denklem (3.1)'in 2. rand değeri seçilen kaotik haritayla değiştirilir. Denklem (3.1)'in güncellenen hali Denklem (4.14)'te gösterilmiştir.

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + (p_{ij} - x_{ij}^t) \times c \times rand(0, 1) + (g_j - x_{ij}^t) \times s \times KH(tip) \quad (4.14)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $KH(tip)$ seçilen kaotik harita tabanlı bir fonksiyondur.

- **KHKSA3:** Denklem (3.1)'in 1. ve 2. rand değeri seçilen kaotik haritayla değiştirilir. Denklem (3.1)'in güncellenen hali Denklem (4.15)'te gösterilmiştir.

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + (p_{ij} - x_{ij}^t) \times c \times KH + (g_j - x_{ij}^t) \times s \times KH(tip) \quad (4.15)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $KH(tip)$ seçilen kaotik harita tabanlı bir fonksiyondur.

- **KHKSA4:** Denklem (3.2)'nin 1. rand değeri seçilen kaotik haritayla değiştirilir. Denklem (3.2)'nin güncellenen hali Denklem (4.16)'da gösterilmiştir.

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + A_1(mean_j - x_{ij}^t) \times KH(tip) + A_2(p_{kj} - x_{ij}^t) \times rand(-1, 1) \quad (4.16)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $KH(tip)$ seçilen kaotik harita tabanlı bir fonksiyondur.

- **KHKSA5:** Denklem (3.1)'in 1. rand değeri ve Denklem (3.2)'nin 1. rand değeri seçilen kaotik haritayla değiştirilir. Denklem (3.1) ve Denklem (3.2)'nin güncellenen halleri sırasıyla Denklem (4.17) ve Denklem (4.18)'de gösterilmiştir.

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + (p_{ij} - x_{ij}^t) \times c \times KH(tip) + (g_j - x_{ij}^t) \times s \times rand(0, 1) \quad (4.17)$$

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + A_1(mean_j - x_{ij}^t) \times KH(tip) + A_2(p_{kj} - x_{ij}^t) \times rand(-1, 1) \quad (4.18)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $KH(tip)$ seçilen kaotik harita tabanlı bir fonksiyondur.

- **KHKSA6:** Denklem 3.1'in 2. rand değeri ve Denklem 3.2'nin 1. rand değeri seçilen kaotik haritayla değiştirilir. Denklem (3.1) ve Denklem (3.2)'nin güncellenen halleri sırasıyla Denklem (4.19) ve Denklem (4.20)'de gösterilmiştir.

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + (p_{ij} - x_{ij}^t) \times c \times rand(0, 1) + (g_j - x_{ij}^t) \times s \times KH(tip) \quad (4.19)$$

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + A_1(mean_j - x_{ij}^t) \times KH(tip) + A_2(p_{kj} - x_{ij}^t) \times rand(-1, 1) \quad (4.20)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $KH(tip)$ seçilen kaotik harita tabanlı bir fonksiyondur.

- **KHKSA7:** Denklem 3.1'in 1. ve 2. rand değeri ve Denklem (3.2)'nin 1. rand değeri seçilen kaotik haritayla değiştirilir. Denklem (3.1) ve Denklem (3.2)'nin güncellenen halleri sırasıyla Denklem (4.21) ve Denklem (4.22)'de gösterilmiştir.

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + (p_{ij} - x_{ij}^t) \times c \times KH(tip) + (g_j - x_{ij}^t) \times s \times KH(tip) \quad (4.21)$$

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^t + A_1(mean_j - x_{ij}^t) \times KH(tip) + A_2(p_{kj} - x_{ij}^t) \times rand(-1, 1) \quad (4.22)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $KH(tip)$ seçilen kaotik harita tabanlı bir fonksiyondur.

- **KHKSA8:** KSA'da kuşların yiyecek için besin arama ya da uyanık kalma modlarını ayarlamada kullanılan olasılığın belirlenmesi aşamasında rassal sayı üretici yerine ilgili kaotik haritalar kullanılmıştır. Tablo 3.1'in 11. satırındaki ifade seçilen kaotik haritayla değiştirilir. Güncellenen ifade Denklem (4.23)'te gösterilmiştir.

$$\text{If } KH(tip) < P \quad (4.23)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $KH(tip)$ seçilen kaotik harita tabanlı bir fonksiyondur.

5. KALİTE TESTİ FONKSİYONLARI VE GERÇEK MÜHENDİSLİK PROBLEMLERİ

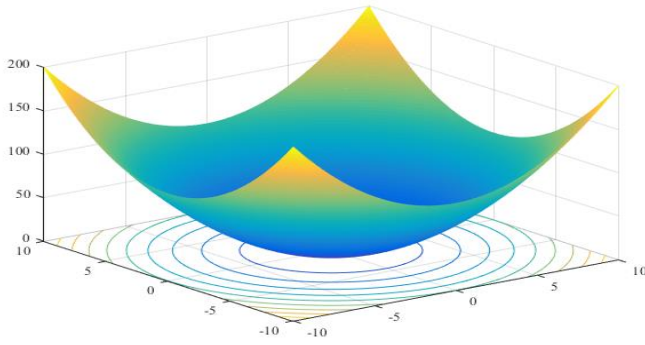
5.1. Kalite Testi Fonksiyonları

Kalite testi fonksiyonları optimizasyon algoritmalarının karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Literatürde birçok kalite testi fonksiyonu tanımlanmıştır. Bu fonksiyonlar yerel optimum sayılarına ve sıklıklarına göre sınıflandırılmaktadırlar. KSA'nın performanslarını ölçme ve yöntemler arasında kıyaslamalar yapabilmek için kalite testi fonksiyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu fonksiyonların her biri özel koşullarda optimizasyon algoritmalarını test etmektedir. Bu şekilde optimizasyon algoritmasının zayıf noktaları ortaya çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında da bu fonksiyonlar içinden en sık kullanılan beş temel fonksiyon seçilmiştir. Bu fonksiyonlar Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Kalite testi fonksiyonları

	Fonksiyon	Denklem	Tanımlı olduğu aralık	Boyut	Global Minimum
f_1	Sphere	$\sum_{i=1}^D x_i^2$	[-5.12, 5.12]	30	0
f_2	Ackley	$-a \exp \left(-b \sqrt{\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D x_i^2} \right) - \exp \left(\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \cos(cx_i) \right) + a + \exp(1)$	[-50, 50]	30	0
f_3	Schwefel	$418.9829d - \sum_{i=1}^D x_i \sin(\sqrt{ x_i })$	[-500, 500]	30	0
f_4	Griewank	$\frac{1}{4000} \sum_{i=1}^D (x_i)^2 - \prod_{i=1}^D \cos \left(\frac{x_i}{\sqrt{i}} \right) + 1$	[-600, 600]	30	0
f_5	Dönüştürülmüş Rastrigin	$\sum_{i=1}^D [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10], y = M * x$	[-5.12, 5.12]	30	0

5.1.1. Sphere Fonksiyonu

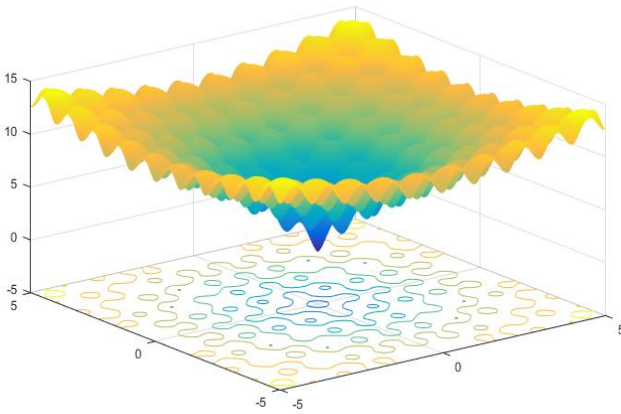


Şekil 5.1.1. Sphere fonksiyonunun grafiği

En basit test fonksiyonudur. Fonksiyon dış bükey, sürekli ve tek modludur. Grafik iki boyutlu olduğunu gösterir. Tanımlı olduğu aralık $-5.12 \leq x_i \leq 5.12$ arasındadır. Denklem (5.1)'deki gibi temsil edilmektedir.

$$f(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2 \quad (5.1)$$

5.1.2. Ackley Fonksiyonu

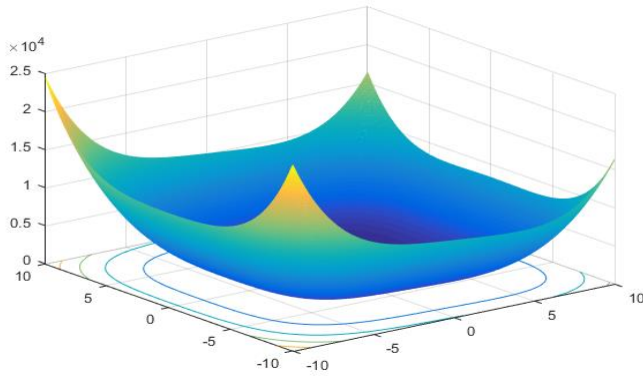


Şekil 5.1.2. Ackley fonksiyonunun grafiği

Ackley fonksiyonu yaygın olarak optimizasyon algoritmalarını test etmek için kullanılır. Önerilen değişken değerleri $a = 20$, $b = 0.2$ ve $c = 2\pi$ 'dir. Çok modludur. Tanımlı olduğu aralık $-50 \leq x_i \leq 50$ arasındadır. Denklem (5.2)'deki gibi temsil edilmektedir.

$$f(x) = -a \exp \left(-b \sqrt{\frac{1}{d} \sum_{i=1}^d x_i^2} \right) - \exp \left(\frac{1}{d} \sum_{i=1}^d \cos(cx_i) \right) + a + \exp(1) \quad (5.2)$$

5.1.3. Schwefel Fonksiyonu

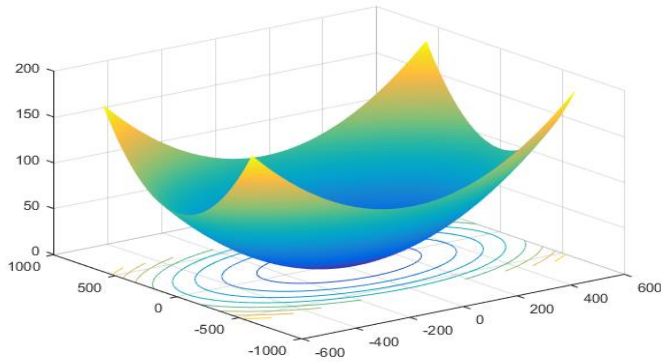


Şekil 5.1.3. Schwefel fonksiyonu

Schwefel fonksiyonu karmaşıktır ve birçok yerel minimum noktasına sahiptir. Şekil 5.1 fonksiyonun iki boyutlu formunu gösterir. Tek modludur. Tanımlı olduğu aralık $-500 \leq x_i \leq 500$ arasındadır. Denklem (5.3)'teki gibi temsil edilmektedir.

$$f(x) = 418.9829d - \sum_{i=1}^d x_i \sin(\sqrt{|x_i|}) \quad (5.3)$$

5.1.4. Griewank Fonksiyonu

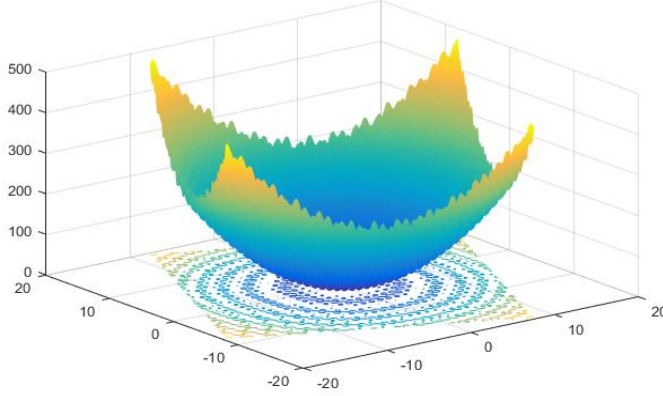


Şekil 5.1.4. Griewank fonksiyonunun grafiği

Griewank fonksiyonu düzenli bir şekilde dağıtılmış birçok lokal minimuma sahiptir. Bu fonksiyon sürekli, çok modlu, ölçeklenebilir ikinci dereceden bir fonksiyondur. Tanımlı olduğu aralık $-600 \leq x_i \leq 600$ arasındadır. Tanımındaki toplama terimi fonksiyona parabolik özellik kazandırmaktadır. Çarpım terimi baz alınarak arama uzayının boyutları artırılmakta ve yerel minimumların sayısı azaltılmaktadır. Arama aralığı ne kadar fazlaysa fonksiyon daha yatık (yassı) halde görülmektedir. Denklem (5.4)'teki gibi temsil edilmektedir.

$$f(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^D (x_i)^2 - \prod_{i=1}^D \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1 \quad (5.4)$$

5.1.5. Dönüştürülmüş Rastrigin Fonksiyonu



Şekil 5.1.5. Dönüştürülmüş Rastrigin fonksiyonunun grafiği

Tanımlı olduğu aralık $-5.12 \leq x_i \leq 5.12$ arasındadır. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu denklem (5.5)'te gösterildiği şekilde ifade edilmektedir.

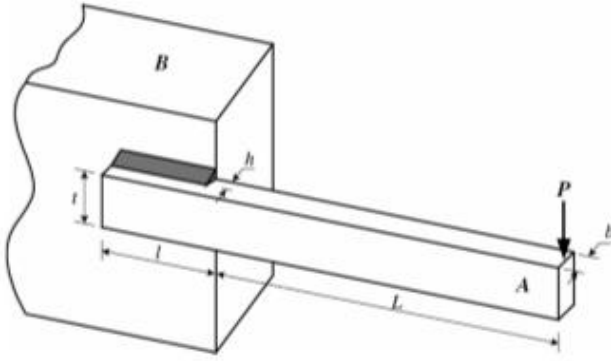
$$f(x) = \sum_{i=1}^D [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10], y = M * x \quad (5.5)$$

Burada M doğrusal dönüşüm matrisidir. $x^* = 1$ 'deki Genelleştirilmiş Rosenbrock fonksiyonu hariç, tüm fonksiyonlar için global minimum değeri, $x^* = 0$ 'da $F(x^*) = 0$ 'dır.

5.2. Gerçek Mühendislik Problemleri

Bu test aşamasında literatürden gerçek hayattaki bazı kısıtlı mühendislik problemleri seçilerek KSA ve kalite testi fonksiyonları ile yaptığımız deney sonuçlarını baz alarak en iyi çalışan KHKSA8'in performansının ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmalarda kaotik harita olarak iyi sonuçlar veren parçalı harita baz alınmıştır. Sonuçlar, her iki yöntem 30 kere çalıştırılarak elde edilmiştir.

5.2.1. Kaynaklı Kiriş Tasarım Problemi



Şekil 5.1.1. Kaynaklı Kiriş Tasarım Problemi [46]

Bu problemin amacı belli kısıtlar altında minimum maliyetle kaynaklı kiriş tasarımı elde etmektir. Şekil 5.2.1’de A kirişinden ve bu kirişin B nesnesine tutunması için ihtiyaç duyulan kaynaktan oluşan bir kaynaklı kiriş yapısını temsil etmektedir. Problem dört adet tasarım değişkeninden oluşmaktadır (x_1, x_2, x_3, x_4). Şekil 5.2’de kaynak inceliği $h, (x_1)$; kaynak bağlantı uzunluğu $l, (x_2)$; kiriş genişliği $t, (x_3)$; kiriş inceliği $b, (x_4)$ ile temsil edilmektedir. Bu değerlerin alabileceği değer aralıkları sırasıyla $0.1 \leq x_1, x_4 \leq 2$ ve $0.1 \leq x_2, x_3 \leq 10$ olarak tanımlanmıştır. Problemin amaç fonksiyonu denklem (5.6)’da kısıtları ise denklem (5.7-5.13)’te belirtilmiştir [48].

$$f(x) = (1 + C_1)x_1^2x_2 + C_2x_3x_4(L + x_2) \quad (5.6)$$

$$g_1(x) = \tau(x) - \tau_d \leq 0 \quad (5.7)$$

$$\tau(x) = \sqrt{(\tau')^2 + (2\tau'\tau'')\frac{x_2}{2R} + (\tau'')^2} \quad (5.7a)$$

$$\tau' = \frac{6000}{\sqrt{2}x_1x_2} \quad (5.7b)$$

$$\tau'' = \frac{MR}{J} \quad (5.7c)$$

$$M = 6000(14 + \frac{x_2}{2}) \quad (5.7d)$$

$$R = \sqrt{\frac{x_2^2}{4} + \left(\frac{x_1+x_3}{2}\right)^2} \quad (5.7e)$$

$$J = \left\{x_1x_2\sqrt{2}\left[\frac{x_2^2}{12} + \left(\frac{x_1+x_3}{2}\right)^2\right]\right\} \quad (5.7f)$$

$$g_2(x) = \sigma(x) - \sigma_d \leq 0 \quad (5.8)$$

$$\sigma(x) = \frac{504000}{x_4x_3^2} \quad (5.8a)$$

$$g_3(x) = x_1 - x_4 \leq 0 \quad (5.9)$$

$$g_4(x) = C_1x_1^2 + C_2x_3x_4(L + x_2) - 5 \leq 0 \quad (5.10)$$

$$g_5(x) = 0.125 - x_1 \leq 0 \quad (5.11)$$

$$g_6(x) = \delta(x) - \delta_d \leq 0 \quad (5.12)$$

$$\delta(x) = \frac{2.1952}{x_4x_3^3} \quad (5.12a)$$

$$g_7(x) = P - P_c(x) \leq 0 \quad (5.13)$$

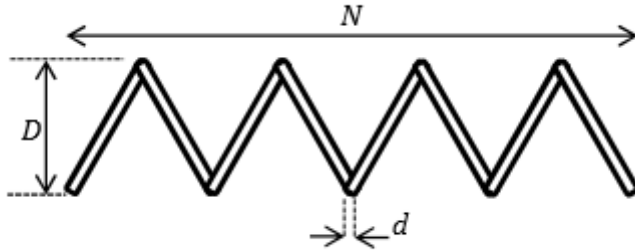
$$P_c(x) = \frac{4.013E\sqrt{\frac{x_3^2x_4^6}{36}}}{196} \left(1 - \frac{x_3\sqrt{\frac{E}{4G}}}{28}\right) \quad (5.13a)$$

Yukarıdaki fonksiyon ve kısıtlarda yer alan parametrelerin açıklamaları ve değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Kaynaklı kiriş tasarımı probleminin parametre değerleri

Parametre	Tanım	Değer
C_1	Kaynaklı malzemenin hacim başı maliyeti	0.10471 \$/in ³
C_2	Metal çubuğun hacim başı maliyeti	0.04811 \$/in ³
τ_D	Kaynaklı malzemenin kesme gerilimi	13600 psi
σ_d	Çubuk malzemenin normal gerilimi	30000 psi
δ_d	Çubuk sonundaki sapma	0.25 in
E	Çubuk stokunun Young katsayısı	30x10 ⁶ psi
G	Çubuk stokunun kesim katsayısı	12x10 ⁶ psi
P	Koşulların oluşumu	6000 pound
L	Kirişin çıkıntı uzunluğu	14 in

5.2.2. Gerilim-Sıkıştırma Yay Tasarımı Problemi

**Şekil 5.2.2.** Yay tasarımı örneği [46]

Çok bilinen, bir diğer mühendislik problemi olan yay tasarımı probleminin amacı minimum ağırlıkta bir yay tasarımı oluşturmaktır. Problem üç adet tasarım değişkeninden (x_1 , x_2 , x_3) ve dört adet kısıttan (g_1 , g_2 , g_3 , g_4) oluşmaktadır. Şekil 5.2.2’de tel çapı d , (x_1); ortalama bobin çapı D , (x_2); aktif rulo sayısı N , (x_3) ile temsil edilmektedir. Bu değişkenlerin alabileceği sınır değerleri sırasıyla $0.05 \leq x_1 \leq 1$, $0.25 \leq x_2 \leq 1.3$ ve $2 \leq x_3 \leq 15$ ’dir. Problemin amaç fonksiyonu denklem (5.14)’te kısıtları ise denklem (5.15-5.18)’de belirtilmiştir [46].

$$f(x) = (x_3 + 2)x_1^2x_2 \quad (5.14)$$

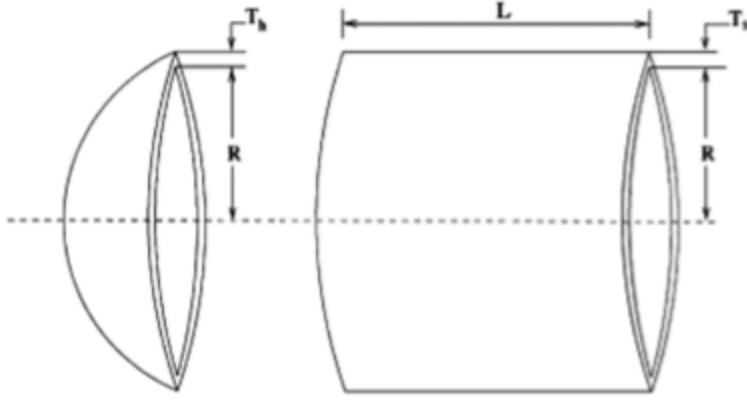
$$g_1(x) = 1 - \frac{x_2^3x_3}{71785x_1^4} \leq 0 \quad (5.15)$$

$$g_2(x) = \frac{4x_2^2 - x_1x_2}{12566(x_2x_1^3 - x_1^4)} + \frac{1}{5108x_1^2} \leq 0 \quad (5.16)$$

$$g_3(x) = 1 - \frac{140.45x_1}{x_2^3x_3} \leq 0 \quad (5.17)$$

$$g_4(x) = \frac{x_1+x_2}{1.5} - 1 \leq 0 \quad (5.18)$$

5.2.3. Basıncılı Kap Tasarımı Problemi



Şekil 5.2.3. Basıncılı kap örneği [46]

Her iki ucu yarı küresel kafa tarafından kapatılmış basıncılı kabın tasarımı Şekil 5.2.3'te verilmiştir. Bu tasarım probleminin amacı; şekillendirme, kaynaklama ve malzeme maliyeti dâhil toplam maliyet değerini minimize etmektir. Problem dört adet tasarım değişkeninden (x_1 , x_2 , x_3 , x_4) oluşmaktadır. Şekil 5.4'te gövde kalınlığı T_s , (x_1); kafa kalınlığı T_h , (x_2); iç yarıçapı R , (x_3) ve kabın gövde bölümünün uzunluğu L , (x_4) ile gösterilmiştir. Tasarım değişkenlerinden gövde kalınlığı (x_1) ve kafa kalınlığı (x_2) değişkenleri ayrık ve 0.0625 'in tam katları iken kafa kalınlığı (x_3) ve iç yarıçapı (x_4) değişkenleri sürekli ve alabileceği değer aralıkları sırasıyla $1 \times 0.0625 \leq x_1, x_2 \leq 99 \times 0.0625$ ve $10 \leq x_3, x_4 \leq 200$ olarak tanımlanmıştır. Problemin amaç fonksiyonu denklem (5.19)'da kısıtları ise denklem (5.20 - 5.23)'te belirtilmiştir.

$$f(x) = 0.6224x_1x_3x_4 + 1.7781x_2x_3^2 + 3.1661x_1^2x_4 + 19.84x_1^2x_3 \quad (5.19)$$

$$g_1(x) = -x_1 + 0.0193x_3 \leq 0 \quad (5.20)$$

$$g_2(x) = -x_2 + 0.00954x_3 \leq 0 \quad (5.21)$$

$$g_3(x) = -\pi x_3^2x_4 - \frac{4}{3}\pi x_3^3 + 1296000 \leq 0 \quad (5.22)$$

$$g_4(x) = -x_4 - 240 \leq 0 \quad (5.23)$$

6. DENEYLER

Bu tez çalışmasında iki adet tek modlu, iki adet çok modlu kalite testi fonksiyonları bir adet CEC2015'te kullanılan kalite testi fonksiyonu ve üç adet kısıtlı gerçek mühendislik problemi kullanılmıştır. Gerçek mühendislik problemlerinde; klasik KSA ve kalite testi fonksiyonlarında iyi sonuçların alındığı KHKSA8 deneysel olarak incelenmiştir. Söz konusu incelemelerde, optimuma yakınsama eğilimi ve elde edilen sonuç değerleri, performans ölçütü olarak kullanılmıştır. İnceleme sonuçları karşılaştırmalı tablolar ve grafikler aracılığıyla sunulmuş ve yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlara Friedman testi uygulanarak sonuçlar arasında anlamlı bir fark olup olmadığına bakılmıştır.

Friedman testi birbiri ile ilişkili iki ya da daha fazla değişkene ait dağılımların karşılaştırılarak dağılımlar arasında anlamlı fark olup olmadığını test etmek amacı ile kullanılır. Diğer bir deyişle örneklemin tekrarlanan ölçümleri arasında fark olup olmadığı test edilir. Bağımlı değişkenlere ilişkin veriler;

- Rastgele örneklem üzerinden elde edilmelidir.
- Sayısal karakterler ile ifade edilmelidir.
- Sıralı, aralık veya oran ölçeğindedir.

Friedman testi için X_R^2 test istatistiği;

$$X_R^2 = \frac{12}{nk(k+1)} \left[\sum_{j=1}^k R_j^2 \right] - [3n(k+1)]$$

n : satır sayısı

k : Grup (sütun sayısı)

R_j : Her bir gruba(sütuna) ilişkin sıra numaraları toplamı

X_R^2 : İstatistiği seçilen yanılma düzeyinde $k-1$ serbestlik dereceli ki-kare dağılımı gösterir.

Friedman testini uygularken belirli adımlar uygulanır.

1.adım: Hipotez belirleme

H_0 = KSA ve KHKSA'larda alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir.

H_1 = KSA ve KHKSA'larda alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

2.adım: alfa değeri = 0.05

3.adım: Serbestlik derecesini hesaplama

$$d_f = 9-1 = 8$$

4.adım: Sonuç belirleme

$X_R^2 > X_{tablo}^2$ ise H_0 reddedilir. Friedman testi için $k-1$ serbestlik dereceli ki-kare dağılımı uygulandığından tablodan $\alpha=0.05$ için X_{tablo}^2 değeri 15.5073'tür.

6.1. Kalite Testi Fonksiyonları ile Yapılan Deneyler

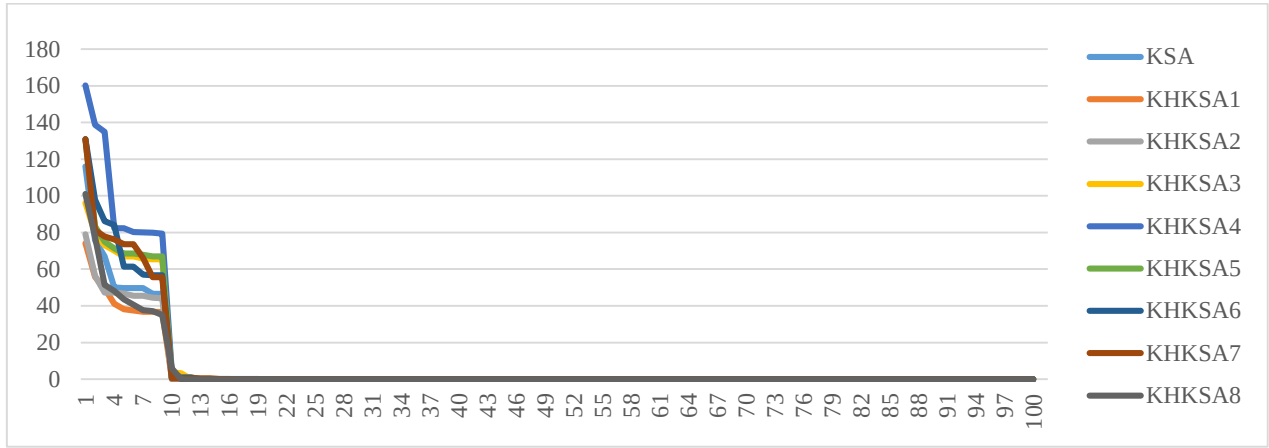
6.1.1. Sphere Fonksiyonu için Sonuçlar

Sphere fonksiyonu için farklı kaotik haritalar kullanılan KHKSA'ları ve literatürde iyi sonuç verdiği görülen KSA'nın simülasyon boyunca elde edilen uygunluk değerinin istatistiksel analizleri yapılmış ve aşağıdaki tablolarda verilmiş olup şekiller aracılığıyla gösterilmiştir. İterasyon sayısı 100, kuş sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Bilişsel ve sosyal hızlandırılmış katsayılar literatürde de kullanılan katsayılar olup $c_1 = c_2 = 1.5$ olarak seçilmiştir.

Tüm algoritmalar 100 kez çalıştırılıp sonuçlar kaydedilmiştir. Adil bir değerlendirme için tüm KHKSA'larda aynı değişkenler aynı değerler ile kullanılmıştır. Kaydedilen sonuçlardan istatistiksel analizler gerçekleştirilmiş ve sırayla Tablo 6.1.1.1 - Tablo 6.1.1.10, Şekil 6.1.1.1, Şekil 6.1.1.10 'da sunulmuştur. Her yöntem için Ortalama (Ort), En iyi (Min), En kötü (Mak), Standart Sapma (SS) hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.1.1.1. Sphere fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Çebişev Haritası									
f_1	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	1.28539E-24	2.11563E-24	2.93828E-26	6.00896E-16	3.33247E-29	2.19833E-24	2.00503E-28	1.79716E-13	3.73002E-26
Min	1.64696E-42	8.71535E-40	3.52747E-41	1.36382E-30	5.76916E-47	3.26599E-41	1.17721E-42	5.32083E-31	8.82575E-43
Mak	1.28188E-22	1.68128E-22	2.7614E-24	5.61674E-14	2.81085E-27	1.83097E-22	1.17361E-26	1.78923E-11	3.30613E-24
SS	1.28185E-23	1.69618E-23	2.76478E-25	5.61764E-15	2.8155E-28	1.84304E-23	1.2711E-27	1.78917E-12	3.30983E-25

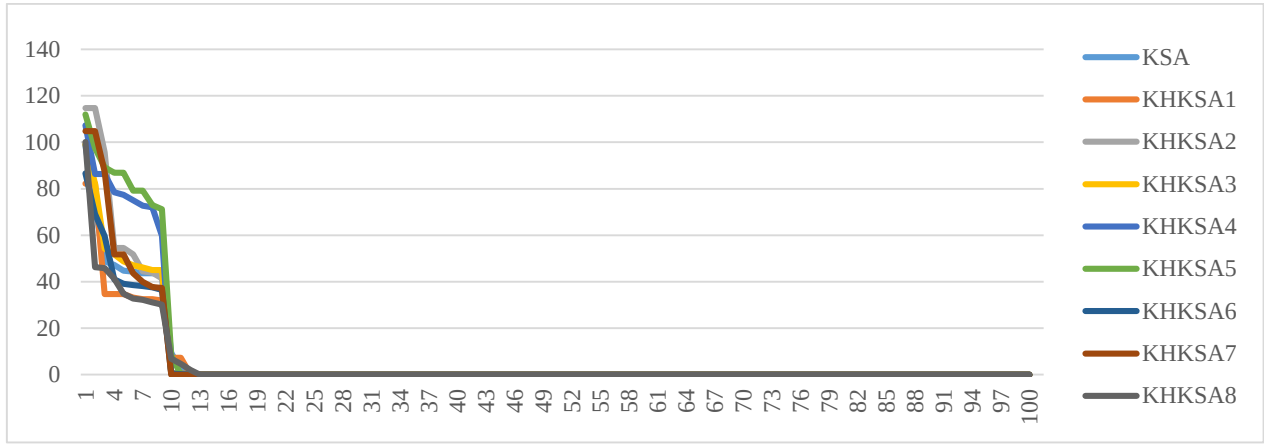


Şekil 6.1.1.1. Sphere fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Sphere fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $469.357 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'larda alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Tablo 6.1.1.2. Sphere fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Çember Harita									
f_1	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	1.28539E-24	1.74805E-26	3.32145E-27	1.46844E-26	1.28009E-27	2.41022E-23	5.17974E-29	2.33984E-25	3.64011E-27
Min	1.64696E-42	8.25299E-45	1.52031E-45	7.03493E-44	4.88979E-44	2.33292E-45	8.32836E-44	1.97072E-42	1.10839E-45
Mak	1.28188E-22	1.73777E-24	2.75758E-25	1.45185E-24	6.29018E-26	2.41012E-21	4.38681E-27	2.32081E-2	3.62379E-25
SS	1.28185E-23	1.7377E-25	2.80598E-26	1.45177E-25	8.30997E-27	2.41012E-22	4.3896E-28	2.32069E-24	3.62365E-26

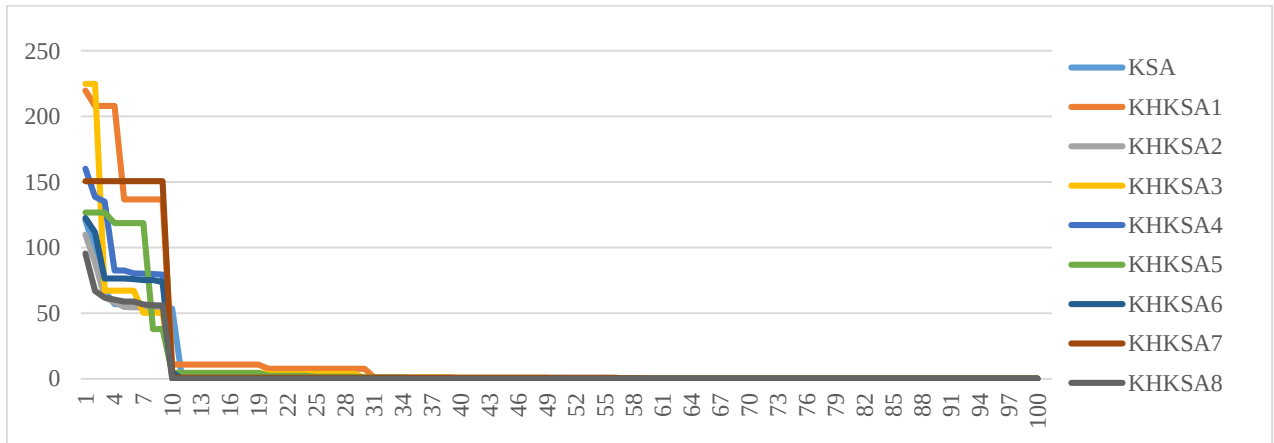


Şekil 6.1.1.2. Sphere fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Sphere fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $17.125 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.1.3. Sphere fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Gauss Harita									
f_1	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	1.28539 E-24	0.0001881 83	5.03937E- 27	0.0039950 48	1.49581E- 28	0.0001537 59	8.36616E-29	0.0070419 47	3.73941E- 31
Min	1.64696 E-42	6.06506E- 14	5.55312E- 45	3.66134E- 10	2.35777E- 43	1.97512E- 12	5.14475E-45	4.61007E- 10	1.5556E-48
Mak	1.28188 E-22	0.0075052 09	3.37343E- 25	0.0598255 32	8.14352E- 27	0.0051196 79	5.7499E-27	0.1283068 3	3.60417E- 29
SS	1.28185 E-23	0.0008795 47	3.65658E- 26	0.0105094 47	9.01435E- 28	0.0006314 12	6.27832E-28	0.0194055 5	3.60374E- 30

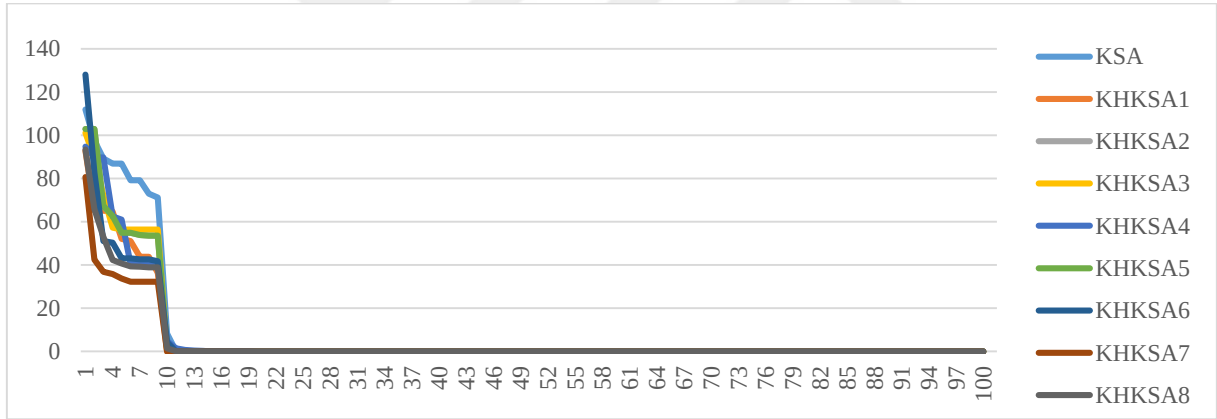


Şekil 6.1.1.3. Sphere fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Sphere fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $642.480 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.1.4. Sphere fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Yinelemeli Harita									
f_1	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	1.28539E-24	7.0477E-29	5.57756E-25	1.91222E-26	5.13581E-25	1.54343E-25	4.78568E-27	2.16986E-23	6.74068E-33
Min	1.64696E-42	8.79791E-50	8.37774E-46	1.30152E-44	1.41806E-42	4.64172E-46	1.19585E-42	1.92136E-41	7.9612E-50
Mak	1.28188E-22	5.27853E-27	5.5668E-23	1.06864E-24	4.45099E-23	1.54301E-23	4.01298E-25	1.11887E-21	1.55483E-31
SS	1.28185E-23	5.42336E-28	5.5667E-24	1.18543E-25	4.49651E-24	1.543E-24	4.0544E-26	1.50925E-22	2.59511E-32

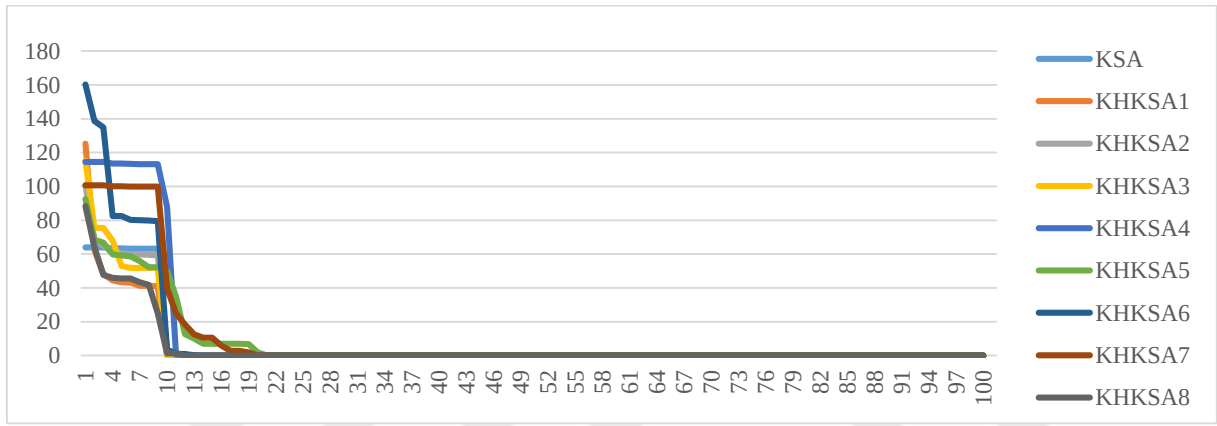


Şekil 6.1.1.4. Sphere fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Sphere fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $118.781 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.1.5. Sphere fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

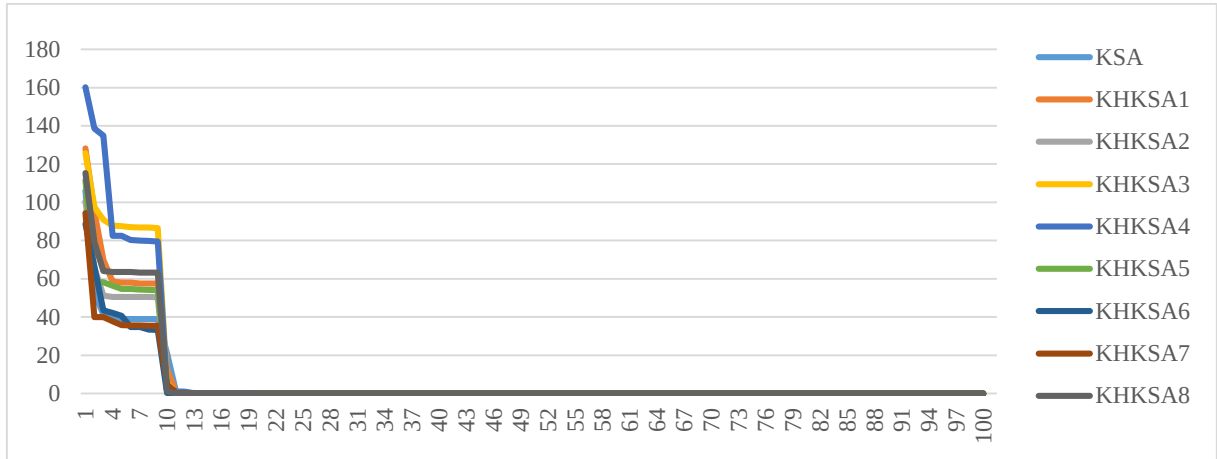
Lojistik Harita									
f_1	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	1.28539 E-24	3.327E-27	9.12794E-30	5.46686E-22	1.7651E-28	6.04098E-27	3.15338E-27	1.27725E-17	1.01693E-23
Min	1.64696 E-42	1.91981E-42	4.6892E-43	2.80723E-37	1.47976E-42	2.33283E-44	2.38572E-46	2.03652E-38	3.69519E-41
Mak	1.28188 E-22	3.23137E-25	5.77751E-28	5.39295E-20	1.70144E-26	4.47355E-25	3.14006E-25	1.27473E-15	1.01452E-21
SS	1.28185 E-23	3.23103E-26	6.10287E-29	5.39234E-21	1.70111E-27	4.52115E-26	3.13993E-26	1.27471E-16	1.01449E-22

**Şekil 6.1.1.5.** Sphere fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Sphere fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $275.165 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lerden alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.1.6. Sphere fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Parçalı Harita									
f_1	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	1.28539 E-24	1.49552E-30	1.00858E-26	1.68731E-29	2.19933E-27	1.03796E-27	2.82483E-26	1.12131E-29	7.42625E-28
Min	1.64696 E-42	3.22042E-43	1.11654E-44	4.2168E-44	1.23844E-43	3.42001E-46	1.04211E-43	2.03803E-46	4.58246E-44
Mak	1.28188 E-22	7.81008E-29	1.00525E-24	7.85563E-28	8.75649E-26	9.72931E-26	2.77916E-24	8.88734E-28	7.38299E-26
SS	1.28185 E-23	9.44865E-30	1.00522E-25	9.24815E-29	1.1558E-26	9.74387E-27	2.77902E-25	8.9309E-29	7.3826E-27

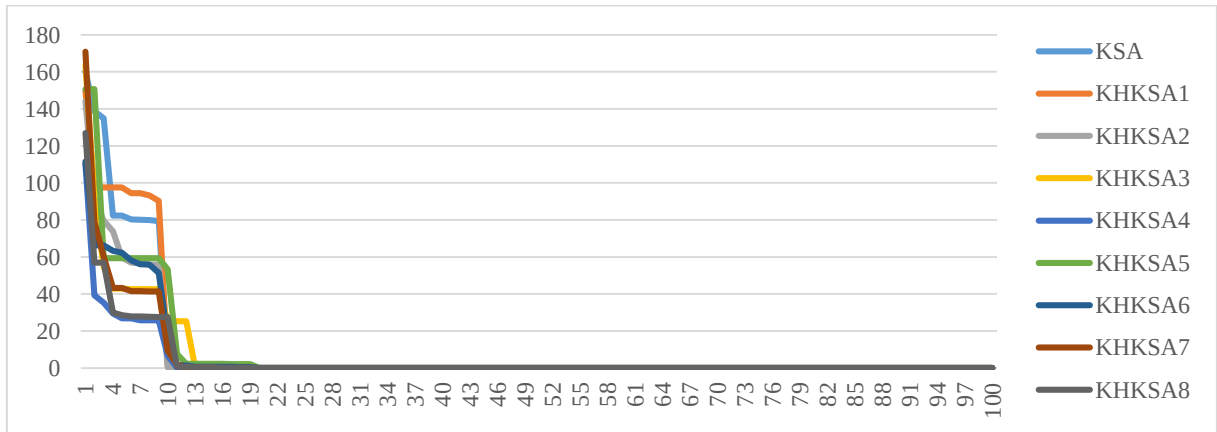


Şekil 6.1.1.6. Sphere fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Sphere fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $17.421 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.1.7. Sphere fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Sinus Harita									
f_1	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	1.28539E-24	9.84215E-24	4.46565E-28	1.42298E-18	1.57938E-27	5.15168E-27	8.51479E-28	3.63569E-21	4.70406E-26
Min	1.64696E-42	3.08106E-41	6.07191E-41	3.64972E-34	5.89211E-44	2.79938E-41	3.98862E-49	5.43455E-36	5.75193E-38
Mak	1.28188E-22	6.05267E-22	2.94851E-26	1.37879E-16	6.481E-26	2.88913E-25	7.80893E-26	1.3343E-19	2.18199E-24
SS	1.28185E-23	7.03781E-23	3.25504E-27	1.37855E-17	9.18456E-27	3.6422E-26	7.81117E-27	1.86197E-20	2.46902E-25

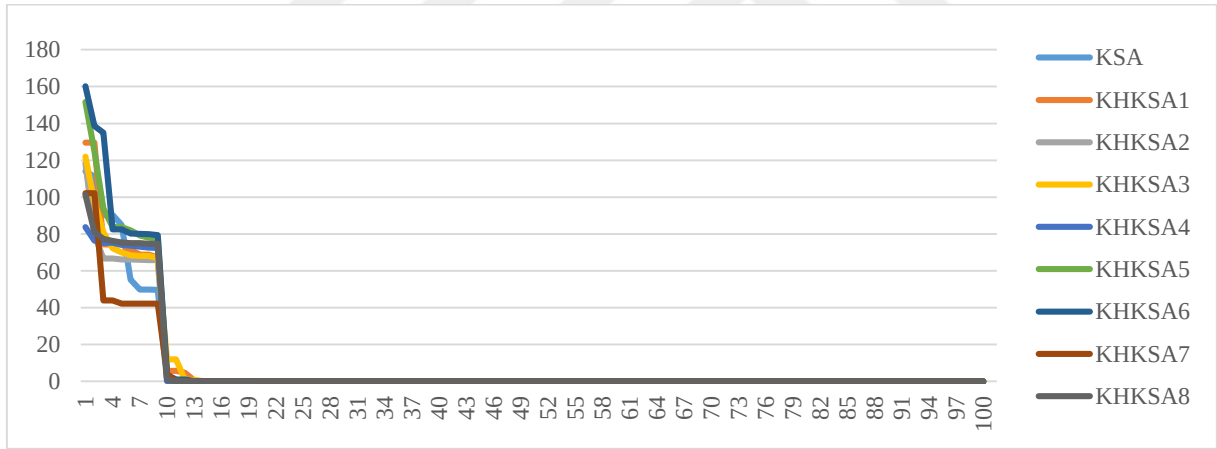


Şekil 6.1.1.7. Sphere fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Sphere fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $348.435 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lerden alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.1.8. Sphere fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Singer Harita									
f_1	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	1.28539E-24	4.47679E-27	1.43016E-25	1.47705E-13	1.51316E-28	3.55553E-27	2.2968E-27	3.60192E-16	9.65513E-22
Min	1.64696E-42	1.43985E-47	3.02402E-40	7.07687E-39	1.01142E-44	9.88977E-48	4.37153E-41	6.34706E-41	5.21275E-38
Mak	1.28188E-22	3.64482E-25	1.3369E-23	1.40192E-11	6.03648E-27	3.07573E-25	9.63569E-26	3.56003E-14	9.64276E-20
SS	1.28185E-23	3.66834E-26	1.33708E-24	1.40315E-12	7.58484E-28	3.09425E-26	1.17179E-26	3.55975E-15	9.64263E-21

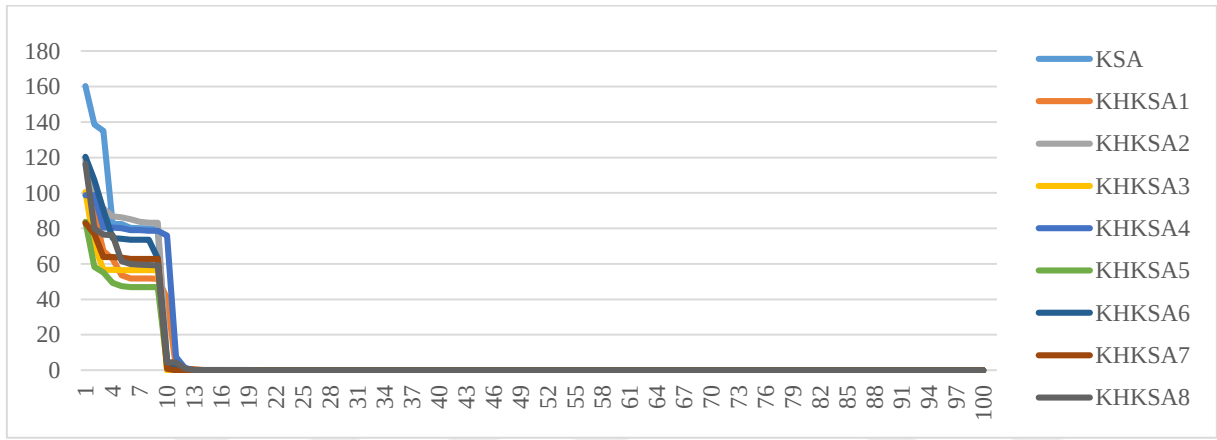


Şekil 6.1.1.8. Sphere fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Sphere fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $417.821 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lerden alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.1.9. Sphere fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

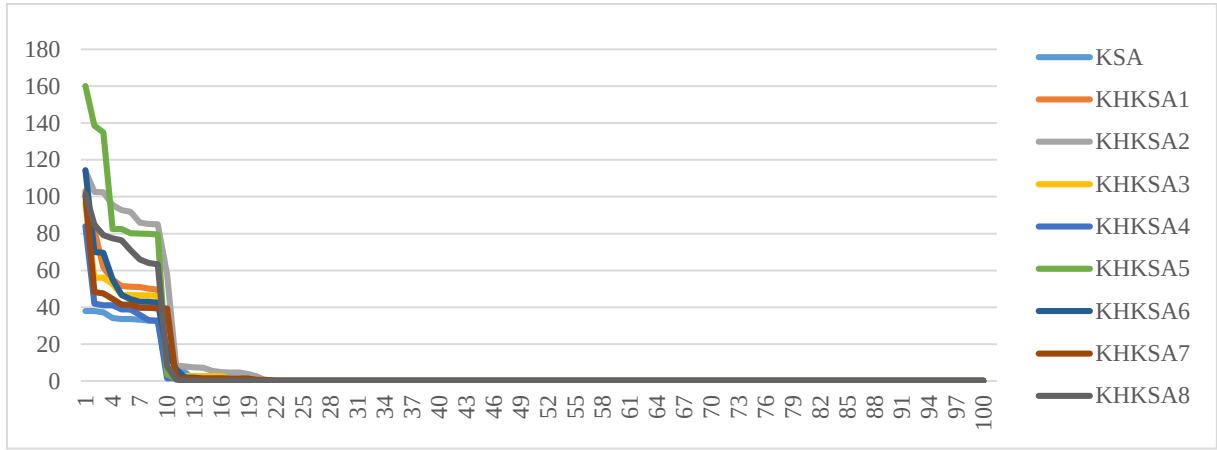
Sinüzoidal Harita									
f_1	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	1.28539E-24	4.94139E-20	2.51457E-23	1.75591E-06	1.03159E-27	5.84504E-24	2.26141E-24	2.73503E-06	3.50202E-25
Min	1.64696E-42	3.61447E-46	4.63239E-39	1.19407E-20	4.47545E-46	8.45056E-45	5.82657E-40	7.30211E-26	1.33972E-40
Mak	1.28188E-22	4.94139E-18	1.92332E-21	0.0001315	9.85074E-26	5.66947E-22	2.15596E-22	0.0001744	2.92984E-23
SS	1.28185E-23	4.94139E-19	1.95376E-22	1.35379E-05	9.8515E-27	5.66825E-23	2.15536E-23	1.78515E-05	2.94787E-24

**Şekil 6.1.1.9.** Sphere fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Sphere fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $515.995 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.1.10. Sphere fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Çadır Harita									
f_1	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	1.28539E-24	6.18486E-28	1.83489E-27	1.30191E-25	7.15725E-28	2.33678E-29	3.49152E-26	2.56309E-26	4.79708E-30
Min	1.64696E-42	1.16409E-41	1.33875E-41	8.00662E-43	1.12473E-42	2.11466E-46	7.07733E-41	4.46516E-42	1.78222E-45
Mak	1.28188E-22	4.17946E-26	1.76876E-25	1.296E-23	6.92316E-26	1.98739E-27	1.93395E-24	2.02754E-24	2.70213E-28
SS	1.28185E-23	4.54163E-27	1.76849E-26	1.29594E-24	6.92203E-27	1.99637E-28	2.26783E-25	2.05185E-25	3.00025E-29



Şekil 6.1.1.10. Sphere fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Sphere fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $75.051 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Sphere fonksiyonu ile elde edilen deneyler yukarıda gösterilmiştir. Sphere fonksiyonunun kaotik haritalar ve klasik KSA ile yapılan deneylerde hangi algoritmanın kaç kez iyi sonuç verdiği ile ilgili bilgi Tablo 6.1.1.11'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1.1.11. Sphere fonksiyonu için önerilen algoritmalar ile klasik KSA'nın kaç kez iyi sonuç verdiğini gösteren tablo

Sphere Fonksiyonu									
	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	-	1	2	-	3	-	1	-	3
Min	-	1	-	-	2	2	2	1	3

6.1.2. Ackley Fonksiyonu için Sonuçlar

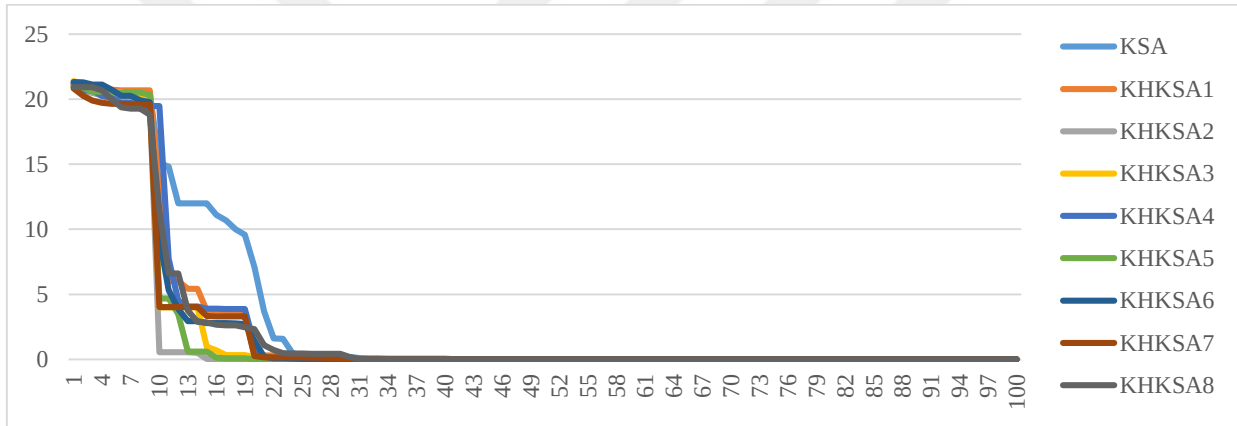
Ackley fonksiyonu için farklı kaotik haritalar kullanılan KHKSA ve literatürde iyi sonuç verdiği görülen KSA yönteminin simülasyon boyunca elde edilen uygunluk değerinin istatistiksel analizleri yapılmıştır ve aşağıdaki tablolarda verilmiştir. İterasyon sayısı 100 kuş sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Bilişsel ve sosyal hızlandırılmış katsayılar literatürde de kullanılan katsayılar olup $c_1 = c_2 = 1.5$ olarak seçilmiştir.

Tüm algoritmalar 100 kez çalıştırılıp sonuçlar kaydedilmiştir. Adil bir değerlendirme için tüm KHKSA yöntemlerinde aynı değişkenler aynı değerler ile kullanılmıştır. Kaydedilen sonuçlardan istatistiksel analizler gerçekleştirilmiş ve sırayla Tablo 6.1.2.1 - Tablo 6.1.2.10,

Şekil 6.1.2.1- Şekil 6.1.2.10’da sunulmuştur. Her yöntem için Ortalama (Ort), En iyi (Min), En kötü (Mak), Standart Sapma (SS) hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.1.2.1. Ackley fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Çebişev Haritası									
f_2	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0.008869013	5.19677E-11	1.85321E-08	3.36548E-08	1.17957E-12	4.06948E-11	2.35222E-12	4.12143E-10	6.75445E-12
Min	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	2.57572E-14	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16
Mak	0.886901314	1.69432E-09	1.84888E-06	1.86709E-06	9.9619E-11	1.52092E-09	1.11904E-10	5.14481E-09	2.90236E-10
SS	0.088690131	2.28875E-10	1.84884E-07	1.91276E-07	9.98781E-12	1.93802E-10	1.39293E-11	1.08453E-09	3.31854E-11

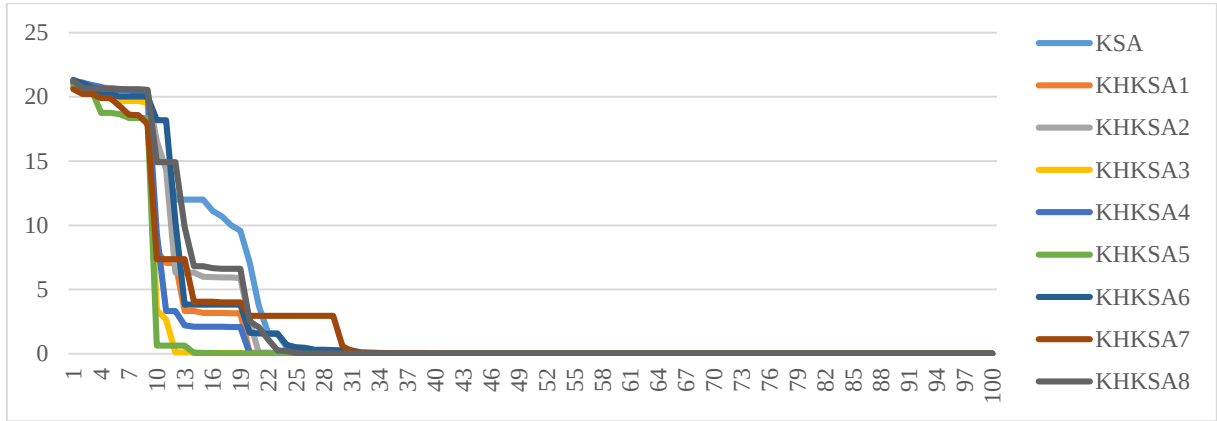


Şekil 6.1.2.1. Ackley fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Ackley fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA’nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $386.781 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA’lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.2.2 Ackley fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

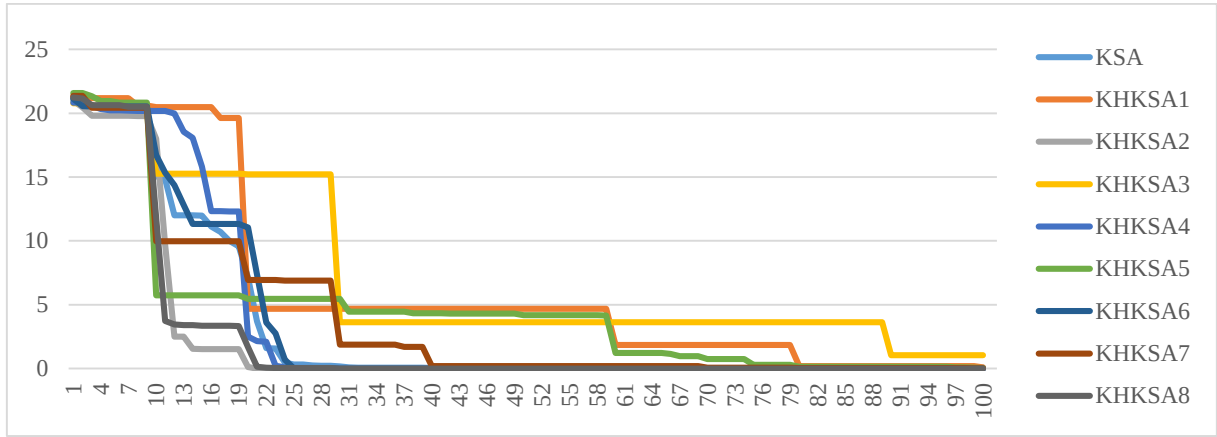
Çember Harita									
f_2	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0.008869013	2.04139E-13	0.000142902	2.64077E-12	3.20014E-12	2.42615E-13	0.199989875	1.45661E-15	1.90841E-10
Min	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16
Mak	0.886901314	1.1668E-11	0.014290206	1.46092E-10	2.7145E-10	9.82414E-12	19.99898749	1.15463E-14	1.41561E-08
SS	0.088690131	1.27751E-12	0.001429021	1.77708E-11	2.72455E-11	1.39951E-12	1.999898749	1.72871E-15	1.44288E-09

**Şekil 6.1.2.2.** Ackley fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Ackley fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $149.614 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lerden alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.2.3. Ackley fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Gauss Harita									
f_2	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0.008869013	0.204528365	3.59131E-11	1.351221	1.37071E-11	0.189693729	4.24194E-14	0.060036108	2.19007E-09
Min	8.88178E-16	7.56537E-06	8.88178E-16	0.000361	8.88178E-16	1.06468E-05	8.88178E-16	6.07552E-05	8.88178E-16
Mak	0.886901314	6.072960668	2.49825E-09	7.144638	1.32915E-09	3.162555833	3.32623E-12	0.924496734	2.10753E-07
SS	0.088690131	0.714395118	2.56628E-10	1.462178	1.3291E-10	0.433179975	3.33456E-13	0.122691525	2.10831E-08

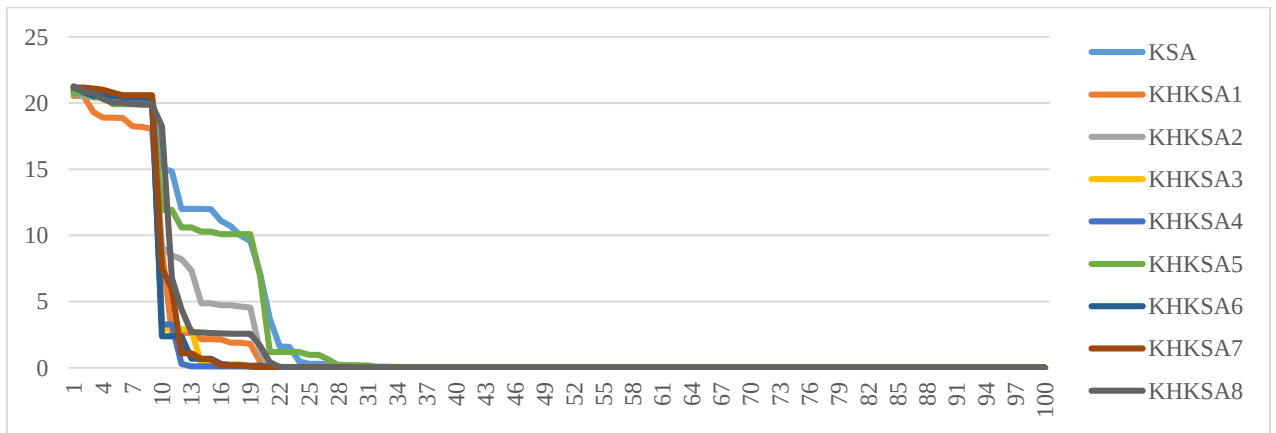


Şekil 6.1.2.3. Ackley fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Ackley fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $668.834 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.2.4. Ackley fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Yinelemeli Harita									
f_2	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0.008869013	4.07326E-12	2.38919E-11	1.19602E-09	2.8419E-10	3.31683E-10	8.92573E-12	2.21689E-14	9.94413E-10
Min	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16
Mak	0.886901314	2.87774E-10	2.38797E-09	1.04372E-07	2.19397E-08	3.31306E-08	6.09515E-10	1.15197E-12	9.94127E-08
SS	0.088690131	2.9861E-11	2.38796E-10	1.04774E-08	2.28114E-09	3.31302E-09	6.63525E-11	1.25026E-13	9.94124E-09

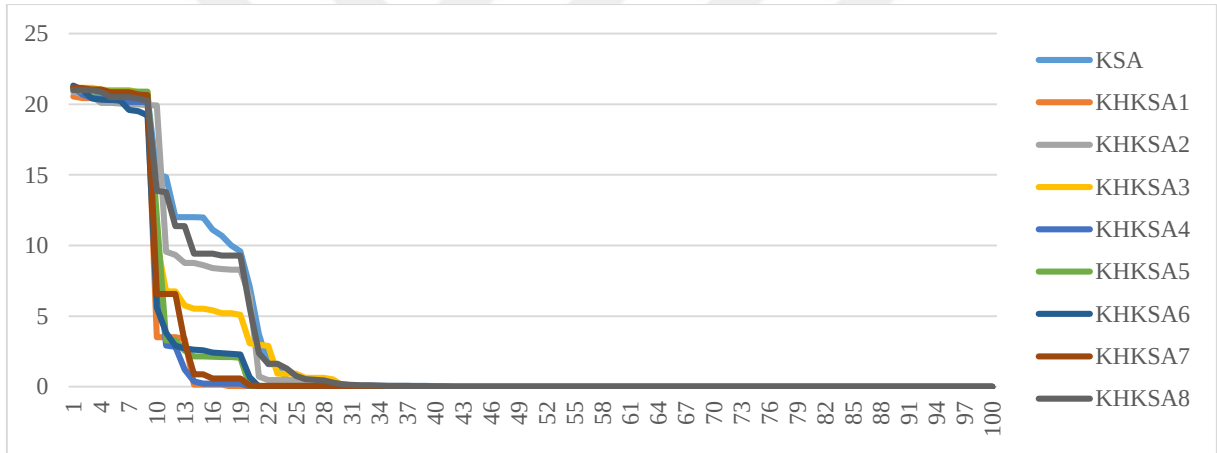


Şekil 6.1.2.4. Ackley fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Ackley fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $45.353 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.2.5. Ackley fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Lojistik Harita									
f_2	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0.008869013	3.59607E-10	8.03414E-08	2.26252E-10	3.29372E-13	3.94444E-12	3.19137E-12	9.16561E-12	7.55848E-10
Min	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16
Mak	0.886901314	2.97064E-08	4.2361E-06	1.68622E-08	1.49294E-11	3.32531E-10	2.87721E-10	6.80907E-10	5.69167E-08
SS	0.088690131	3.02887E-09	5.6606E-07	1.68721E-09	1.6777E-12	3.33213E-11	2.88173E-11	6.85848E-11	5.96954E-09

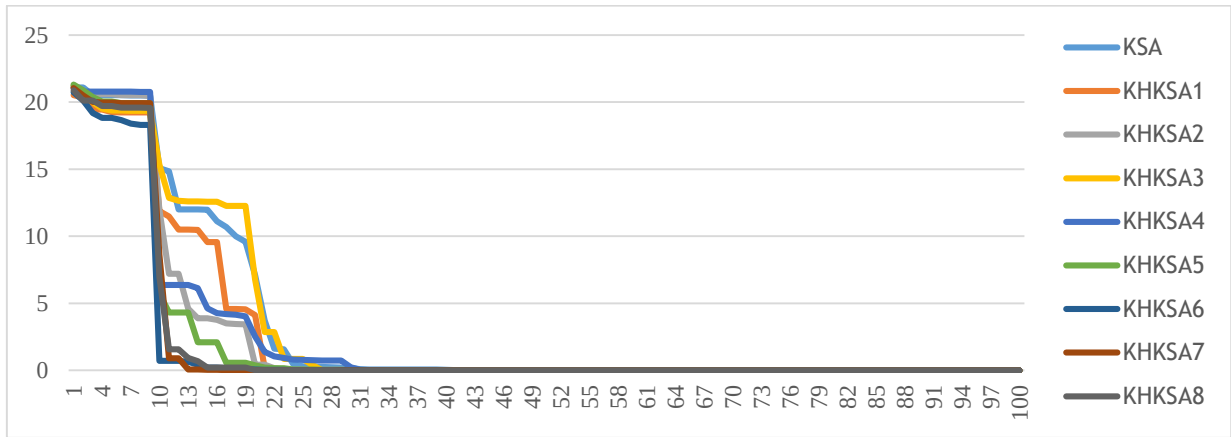


Şekil 6.1.2.5. Ackley fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Ackley fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $177.754 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.2.6. Ackley fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

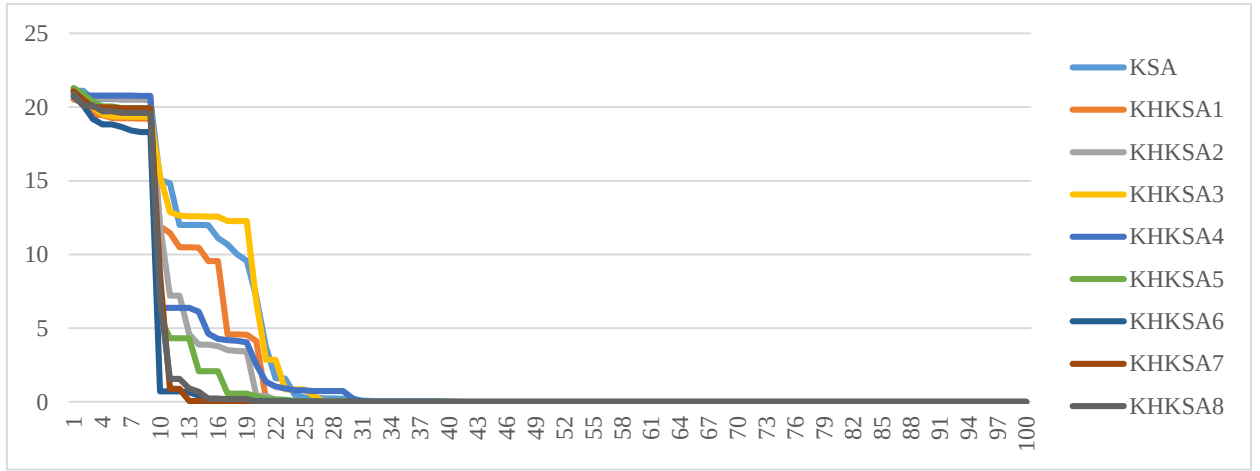
Parçalı Harita									
f_2	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0.008869013	7.76783E-12	2.84395E-13	1.02855E-12	2.55728E-07	2.16396E-13	1.17033E-12	1.10134E-14	8.28138E-14
Min	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16
Mak	0.886901314	7.06806E-10	1.96971E-11	9.34941E-11	2.55727E-05	2.06777E-11	1.08384E-10	4.34319E-13	3.67439E-12
SS	0.088690131	7.0771E-11	2.01076E-12	9.36303E-12	2.55727E-06	2.06745E-12	1.08352E-11	5.8672E-14	4.34661E-13

**Şekil 6.1.2.6.** Ackley fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Ackley fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $50.286 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.2.7. Ackley fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Sinus Harita									
f_2	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0.008869013	3.57293E-12	1.1568E-09	3.55074E-08	5.6751E-13	5.36707E-07	9.30859E-06	2.49786E-11	3.33788E-12
Min	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16
Mak	0.886901314	1.06046E-10	1.14729E-07	9.378E-07	2.22338E-11	5.36688E-05	0.000930856	1.26334E-09	6.24185E-11
SS	0.088690131	1.58076E-11	1.14722E-08	1.34576E-07	3.0884E-12	5.36687E-06	9.30856E-05	1.37503E-10	1.09178E-11

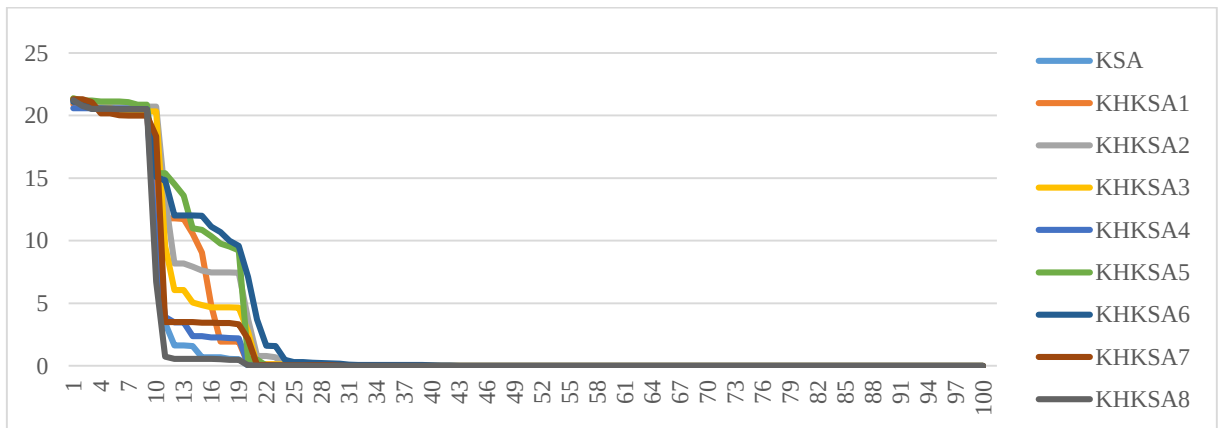


Şekil 6.1.2.7. Ackley fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Ackley fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $279.969 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lerden alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.2.8. Ackley fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Singer Harita									
f_2	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0.008869013	4.6489E-09	1.87587E-11	3.89236E-07	2.88133E-11	2.50352E-09	1.39134E-07	1.01188E-08	2.18562E-09
Min	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16
Mak	0.886901314	4.64877E-07	1.50769E-09	2.10556E-05	2.75883E-09	2.50031E-07	1.15006E-05	8.67298E-07	2.16448E-07
SS	0.088690131	4.64877E-08	1.52936E-10	2.33295E-06	2.75903E-10	2.50028E-08	1.16972E-06	8.68081E-08	2.1643E-08

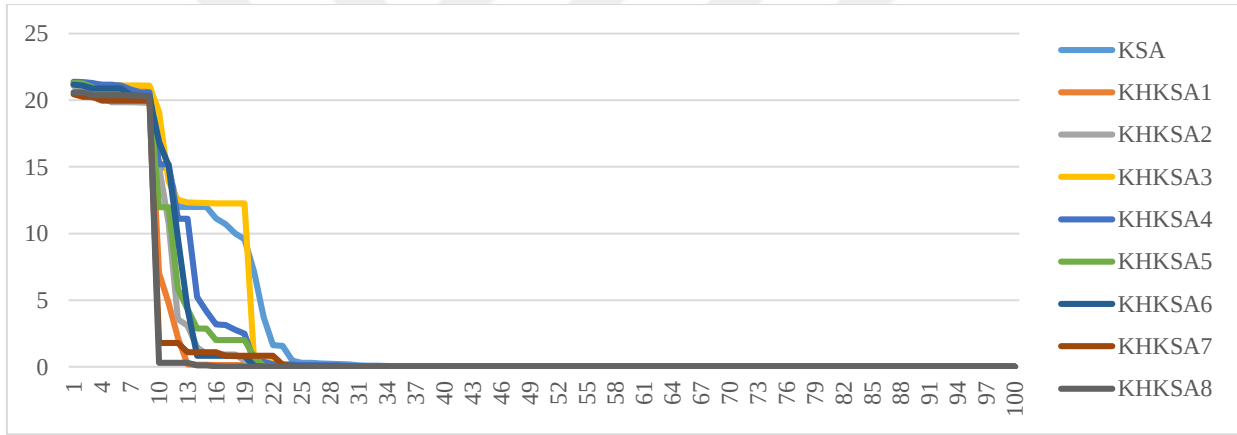


Şekil 6.1.2.8. Ackley fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Ackley fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $313.672 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.2.9. Ackley fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Sinüzoidal Harita									
f_2	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0.008869013	3.68214E-10	2.71141E-10	0.001719274	2.33982E-12	2.40737E-10	7.07925E-09	0.000221588	3.15286E-11
Min	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	1.15024E-10	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	2.38831E-12	8.88178E-16
Mak	0.886901314	2.82225E-08	1.33828E-08	0.024899573	2.06374E-10	1.34122E-08	5.26531E-07	0.007082625	1.37995E-09
SS	0.088690131	2.88046E-09	1.59541E-09	0.004366643	2.0649E-11	1.5192E-09	5.43097E-08	0.000883867	1.67498E-10

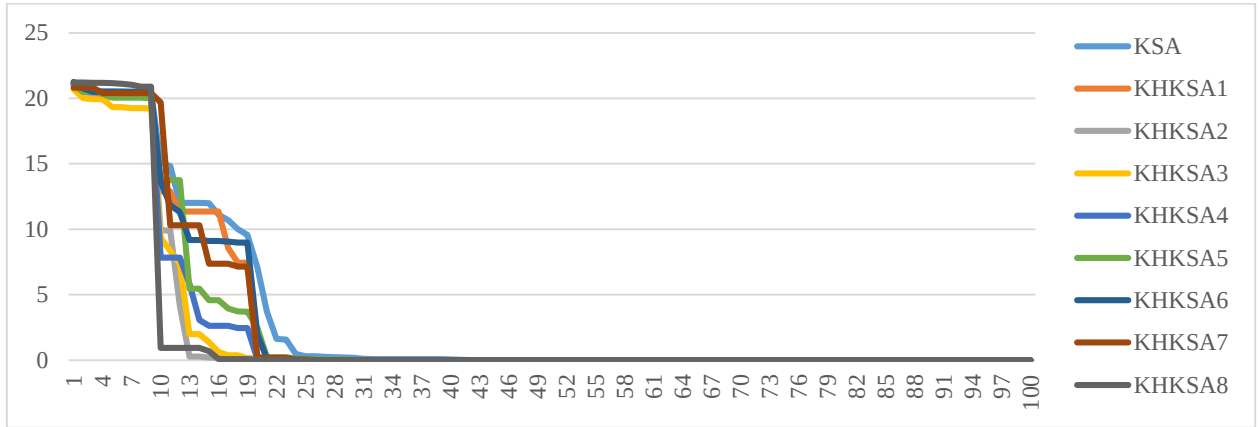


Şekil 6.1.2.9. Ackley fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Ackley fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $509.112 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.2.10. Ackley fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Çadır Harita									
f_2	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0.008869013	1.88893E-11	2.33122E-11	4.43264E-11	5.22782E-13	1.20073E-09	6.06804E-08	4.32149E-12	1.1584E-12
Min	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16	8.88178E-16
Mak	0.886901314	1.81818E-09	2.3252E-09	4.20111E-09	2.88098E-11	1.19808E-07	6.05147E-06	2.36722E-10	4.52838E-11
SS	0.088690131	1.81822E-10	2.32514E-10	4.20256E-10	3.46487E-12	1.19806E-08	6.05133E-07	2.87204E-11	6.60524E-12

**Şekil 6.1.2.10.** Ackley fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Ackley fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $32.320 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Ackley fonksiyonu ile elde edilen deneyler yukarıda gösterilmiştir. Sphere fonksiyonunun kaotik haritalar ve klasik KSA ile yapılan deneylerde hangi algoritmanın kaz kez iyi sonuç verdiği ile ilgili bilgi Tablo 6.1.2.11'de verilmiştir.

Tablo 6.1.2.11. Ackley fonksiyonu için önerilen algoritmalar ile klasik KSA'nın kaç kez iyi sonuç verdiği gösteren tablo

Ackley Fonksiyonu									
	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	-	-	1	-	5	-	1	3	-
Min	10	9	10	7	10	9	10	8	10

6.1.3. Schwefel Fonksiyonu için Sonuçlar

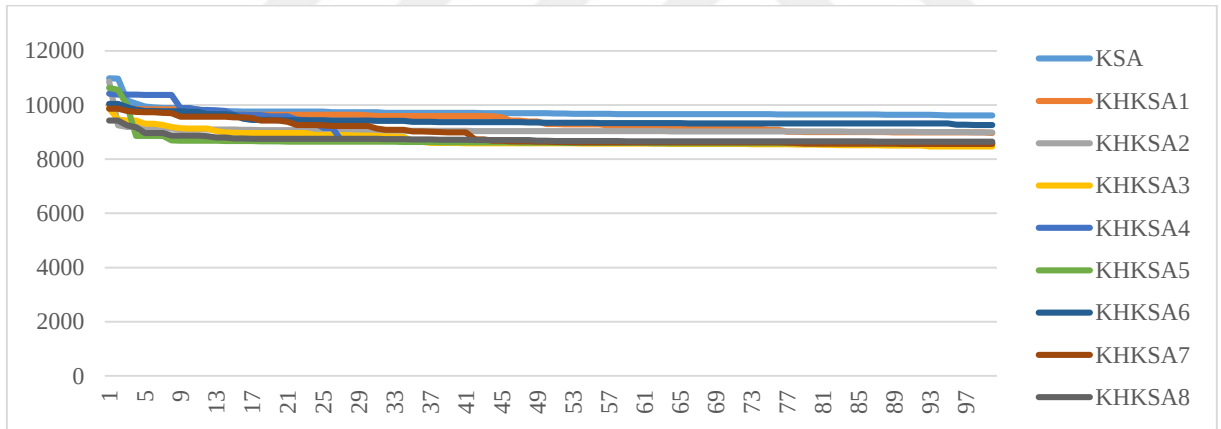
Schwefel fonksiyonu için farklı kaotik haritalar kullanılan KHKSA ve literatürde iyi sonuç verdiği görülen KSA yönteminin simülasyon boyunca elde edilen uygunluk değerinin

istatistiksel analizleri yapılmıştır ve aşağıdaki tablolarda verilmiştir. İterasyon sayısı 100 kuş sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Bilişsel ve sosyal hızlandırılmış katsayılar literatürde de kullanılan katsayılar olup $c_1 = c_2 = 1.5$ olarak seçilmiştir.

Tüm algoritmalar 100 kez çalıştırılıp sonuçlar kaydedilmiştir. Adil bir değerlendirme için tüm KHKSA yöntemlerinde aynı değişkenler aynı değerler ile kullanılmıştır. Kaydedilen sonuçlardan istatistiksel analizler gerçekleştirilmiş ve sırayla Tablo 6.1.3.1 - Tablo 6.1.3.10, Şekil 6.1.3.1 - Şekil 6.1.3.10'da sunulmuştur. Her yöntem için Ortalama (Ort), En iyi (Min), En kötü (Mak), Standart Sapma (SS) hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.1.3.1. Schwefel fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Çebişev Haritası									
f_3	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	9228.929	9027.165	9060.972	8650.762	8951.086	8919.05	9126.327	8699.92	9015.953
Min	7794.954	6939.45	6556.745	3373.612	5927.956	7169.598	7432.575	5957.471	7148.706
Mak	10566.82	10306.18	10270.53	10162.24	10974.4	10527.42	10416.58	9961.877	10133.83
SS	573.8269	613.2247	702.9549	923.5826	780.127	664.3973	608.9913	756.2831	689.6307



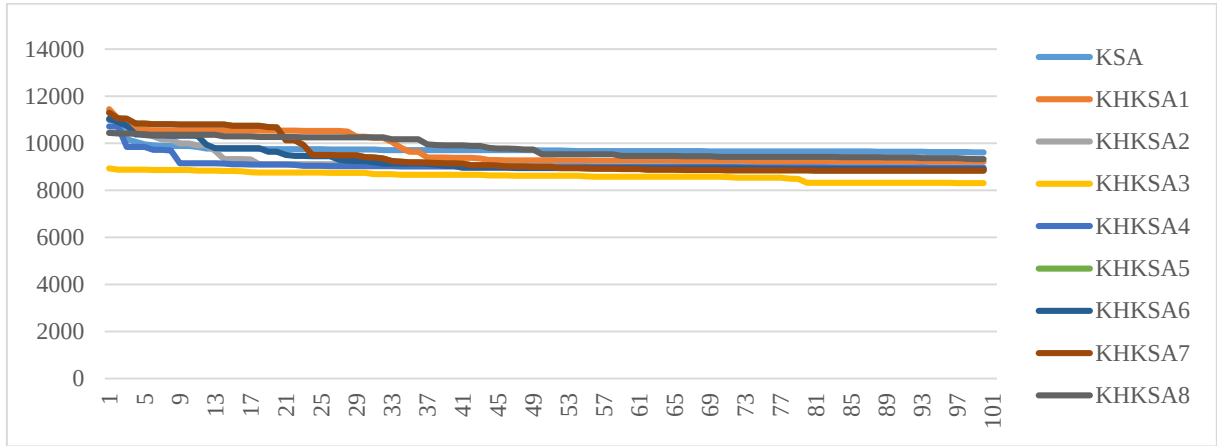
Şekil 6.1.3.1. Schwefel fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Schwefel fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $44.555 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

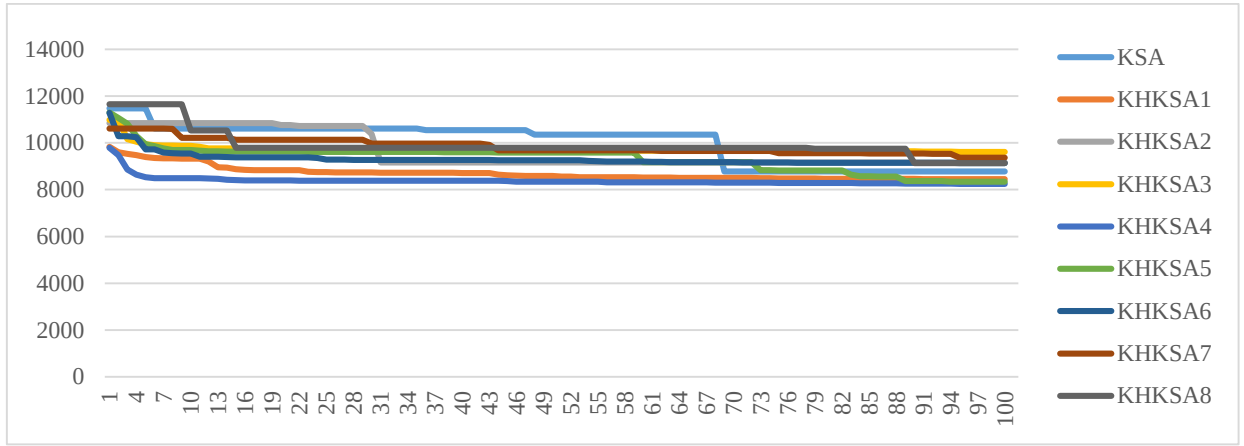
Schwefel fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $18.723 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.3.2. Schwefel fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Çember Harita									
f_3	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	9228.929	9112.056	9037.574	8934.388	9094.353	9169.601	8989.551	8949.531	9138.91
Min	7794.954	6715.176	6184.224	6195.884	6910.212	6653.685	6611.323	7075.899	7219.743
Mak	10566.82	10378.81	10341.21	10325.01	10176.81	10698.2	10780	10069.54	10714.57
SS	573.8269	667.3921	760.3333	691.0421	595.5416	654.7611	682.5272	681.118	686.2597

**Şekil 6.1.3.2.** Schwefel fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği**Tablo 6.1.3.3.** Schwefel fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Gauss Harita									
f_3	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	9228.929	9140.132	9410.651	9727.449	9120.266	9128.095	9287.277	9550.474	9346.398
Min	7794.954	7369.429	7184.098	8112.603	7335.395	7438.171	7835.957	6351.353	8099.889
Mak	10566.82	10119.52	10764.23	10844.27	10486.66	9992.557	10615.95	10603.63	10467.86
SS	573.8269	571.9077	665.3607	558.7468	682.8923	499.1489	618.124	716.6456	578.7417

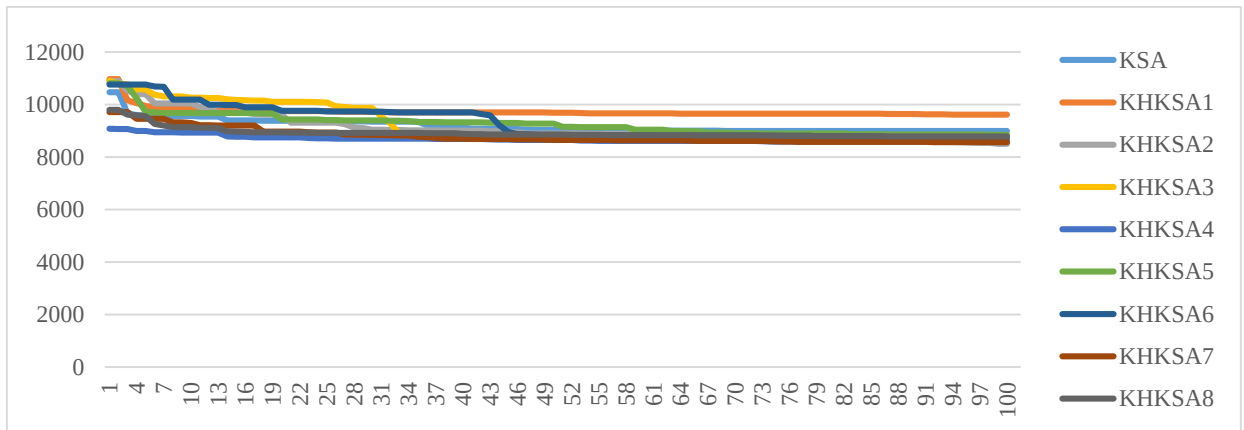


Şekil 6.1.3.3. Schwefel fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Schwefel fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $89.163 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.3.4. Schwefel fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Yinelemeli Harita									
f_3	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	9228.929	9270.399	8928.798	9044.202	9041.024	9099.885	9084.55	8980.262	9090.401
Min	7794.954	7199.621	6990.852	5808.933	7221.722	7132.603	7597.467	6059.276	7549.043
Mak	10566.82	10509.45	10132.08	10378.71	10657.74	10533.53	10481.81	10344.36	10940.42
SS	573.8269	613.8161	623.1241	786.2643	734.0742	663.9964	563.41	675.9017	581.1919



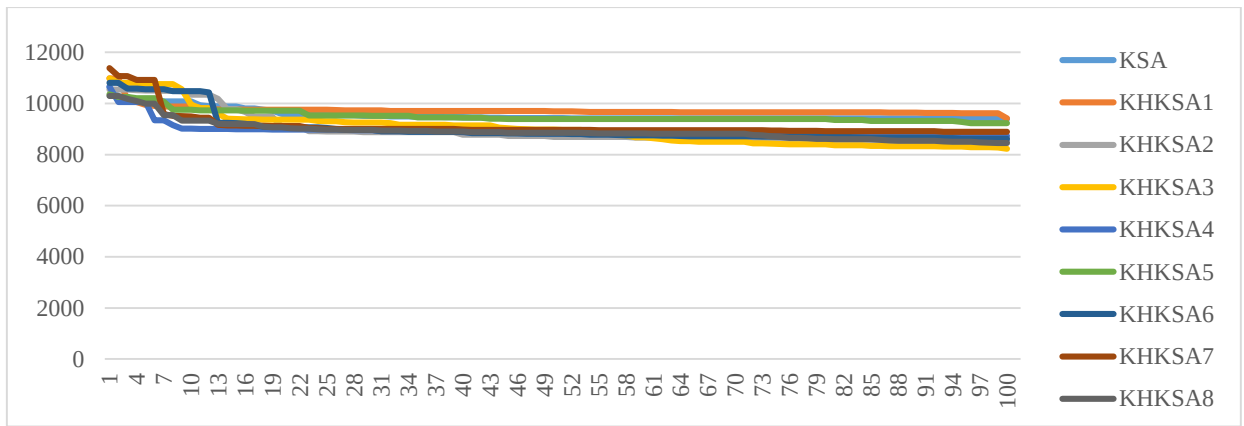
Şekil 6.1.3.4. Schwefel fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Schwefel fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $22.584 > 15.5073$

olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA’lardan alınan sonuçlar arasındaki fark anlamlıdır.

Tablo 6.1.3.5. Schwefel fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Lojistik Harita									
f_3	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	9228.929	9243.544	8952.551	8874.172	9021.695	9173.997	8981.489	9102.154	8907.379
Min	7794.954	7686.864	6177.621	5441.36	7012.718	4746.059	7190.18	6847.56	6885.751
Mak	10566.82	10744.32	10325.36	10280.6	10261.36	10526.62	10600.63	10221.59	10192.78
SS	573.8269	664.9397	733.1233	906.8675	640.2884	825.1371	617.5513	710.2611	658.3105

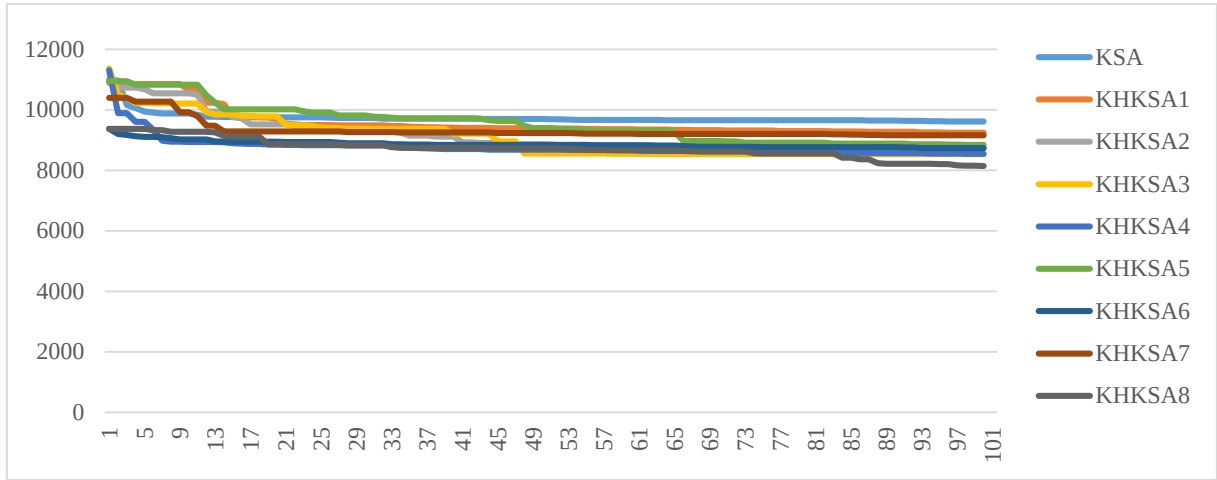


Şekil 6.1.3.5. Schwefel fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Schwefel fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA’sının Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $33.611 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA’larda alınan sonuçlar istatistiksel olarak anlamlıdır.

Tablo 6.1.3.6. Schwefel fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Parçalı Harita									
f_3	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	9228.929	9185.301	9083.591	8998.507	9056.777	9110.092	9104.333	9110.567	8969.939
Min	7794.954	7361.998	7293.676	7170.153	7242.586	6868.467	7518.434	6688.471	5936.705
Mak	10566.82	10243.6	10441.81	10449.63	10594.58	10741.77	10242.77	10308.18	10199.67
SS	573.8269	604.6251	669.5852	623.763	711.4875	760.8	595.4463	700.2279	668.6799

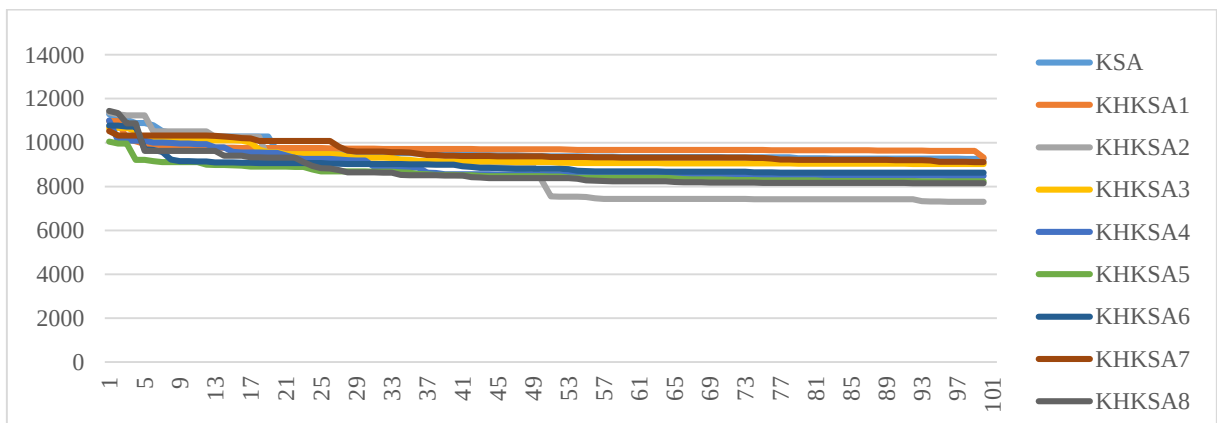


Şekil 6.1.3.6. Schwefel fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Schwefel fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $13.157 < 15.5073$ olduğundan H_0 kabul edilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lerden alınan sonuçlar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktur.

Tablo 6.1.3.7. Schwefel fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Sinus Harita									
f_3	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	9228.929	9264.923	8846.906	8985.703	8951.324	8936.111	8975.014	9102.89	8905.096
Min	7794.954	6818.151	5861.001	5049.137	4621.615	7037.863	7222.64	7072.16	6092.046
Mak	10566.82	10963.34	10629.5	10660.79	10149.64	10600.57	10253.75	10699.26	10108.7
SS	573.8269	709.0621	815.855	918.9789	755.3185	715.2392	602.0869	767.1038	644.4316

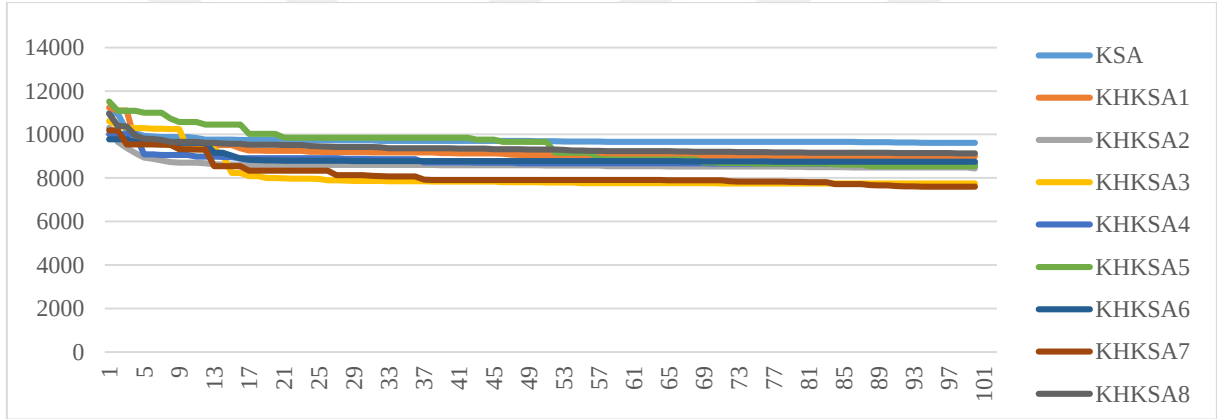


Şekil 6.1.3.7. Schwefel fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Schwefel fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $34.210 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Tablo 6.1.3.8. Schwefel fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Singer Harita									
f_3	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	9228.929	9049.262	8829.51	8625.65	8965.613	8922.385	9039.987	8576.837	9057.786
Min	7794.954	6658.783	6099.976	5984.259	7032.267	6765.601	6892.761	6182.901	5901.264
Mak	10566.82	10460.19	10073.04	9965.982	10467.9	10231.31	10358.46	10220.11	10325.56
SS	573.8269	676.2501	694.778	784.5616	764.8956	694.2242	682.6836	779.1787	665.8999

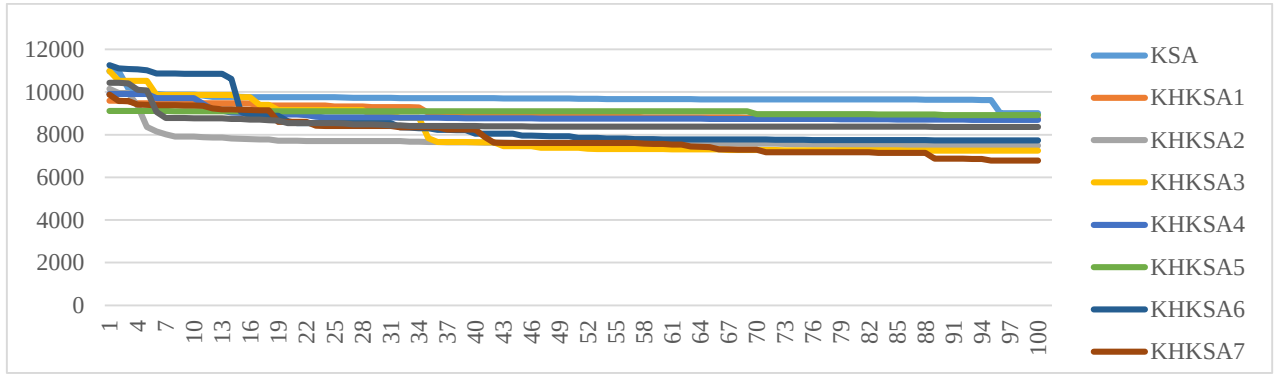


Şekil 6.1.3.8. Schwefel fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Schwefel fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $59.112 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Tablo 6.1.3.9. Schwefel fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Sinüzoidal Harita									
f_3	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	9228.929	9112.402	8780.278	8611.036	9047.749	9127.604	8781.405	8371.199	8989.043
Min	7794.954	6540.919	7182.141	5747.233	7657.409	6780.969	6868.388	4990.153	7571.46
Mak	10566.82	10337.63	9990.172	10384	10689.92	10696.91	10354.31	10188.62	9990.506
SS	573.8269	688.0853	566.9139	824.414	621.3509	666.5915	678.4463	995.7386	568.9722

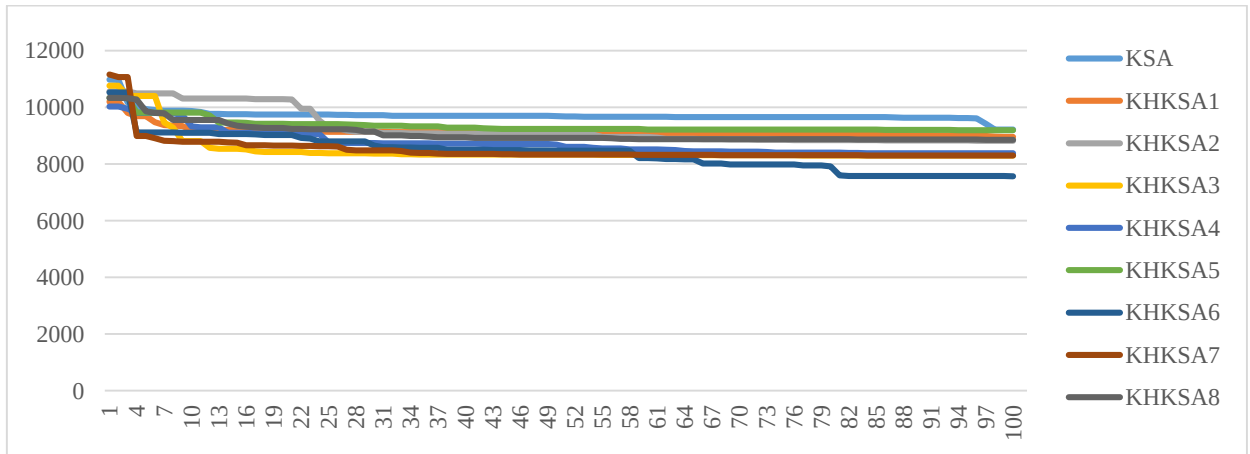


Şekil 6.1.3.9. Schwefel fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Schwefel fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $96.824 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lerden alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Tablo 6.1.3.10. Schwefel fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Çadır Harita									
f_3	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	9228.929	9191.678	9074.561	8954.547	9033.051	9206.839	8940.016	8970.259	9150.671
Min	7794.954	7560.045	6776.411	7004.183	7585.689	7563.815	7082.627	6879.129	6582.917
Mak	10566.82	10629.78	10624.94	10363.36	10209.47	10416.24	10744	10469.53	10488.19
SS	573.8269	590.4654	720.863	578.5396	584.1895	628.5387	722.0626	661.6786	634.8749



Şekil 6.1.3.10. Schwefel fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Schwefel fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $20.627 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir.

Friedman testine göre; KSA ve KHKSA’lardan alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Schwefel fonksiyonu ile elde edilen deneyler yukarıda gösterilmiştir. Tablo 6.1.3.11, Schwefel fonksiyonunun kaotik haritalar ve klasik KSA ile yapılan deneylerde hangi algoritmanın kaç kez iyi sonuç verdiği ile ilgili bilgi verilmiştir.

Tablo 6.1.3.11. Schwefel fonksiyonu için önerilen algoritmalar ile klasik KSA’nın kaç kaç kez iyi sonuç verdiğini gösteren tablo

Schwefel Fonksiyonu									
	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	-	-	2	3	1	-	1	2	1
Min	-	-	2	2	1	1	-	2	2

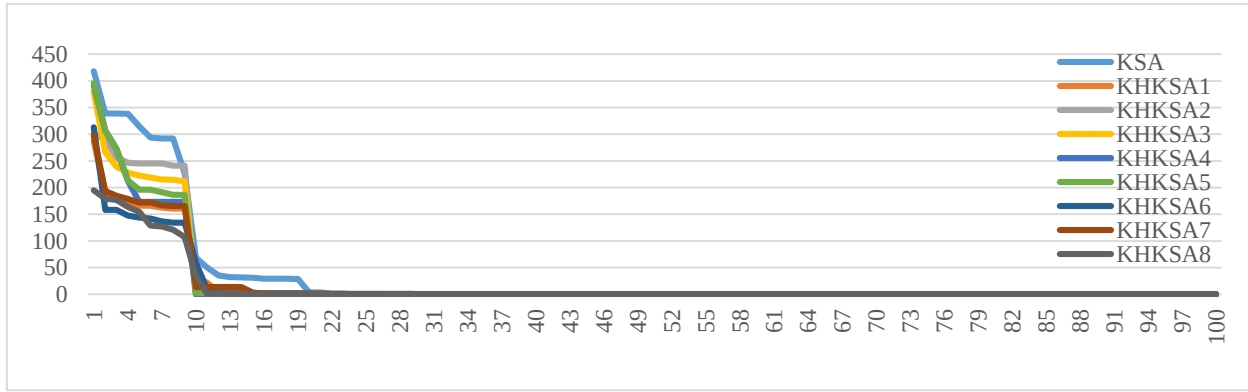
6.1.4. Griewank Fonksiyonu için Sonuçlar

Griewank fonksiyonu için farklı kaotik haritalar kullanılan KHKSA ve literatürde iyi sonuç verdiği görülen KSA yönteminin simülasyon boyunca elde edilen uygunluk değerinin istatistiksel analizleri yapılmıştır ve aşağıdaki tablolarda verilmiştir. İterasyon sayısı 100 kuş sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Bilişsel ve sosyal hızlandırılmış katsayılar literatürde de kullanılan katsayılar olup $c_1 = c_2 = 1.5$ olarak seçilmiştir.

Tüm algoritmalar 100 kez çalıştırılıp sonuçlar kaydedilmiştir. Adil bir değerlendirme için tüm KHKSA’larda aynı değişkenler aynı değerler ile kullanılmıştır. Kaydedilen sonuçlardan istatistiksel analizler gerçekleştirilmiş ve sırayla Tablo 6.1.4.1 - Tablo 6.1.4.10, Şekil 6.1.4.1- Şekil 6.1.4.10’da sunulmuştur. Her yöntem için Ortalama (Ort), En iyi (Min), En kötü (Mak), Standart Sapma (SS) hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.1.4.1. Griewank fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

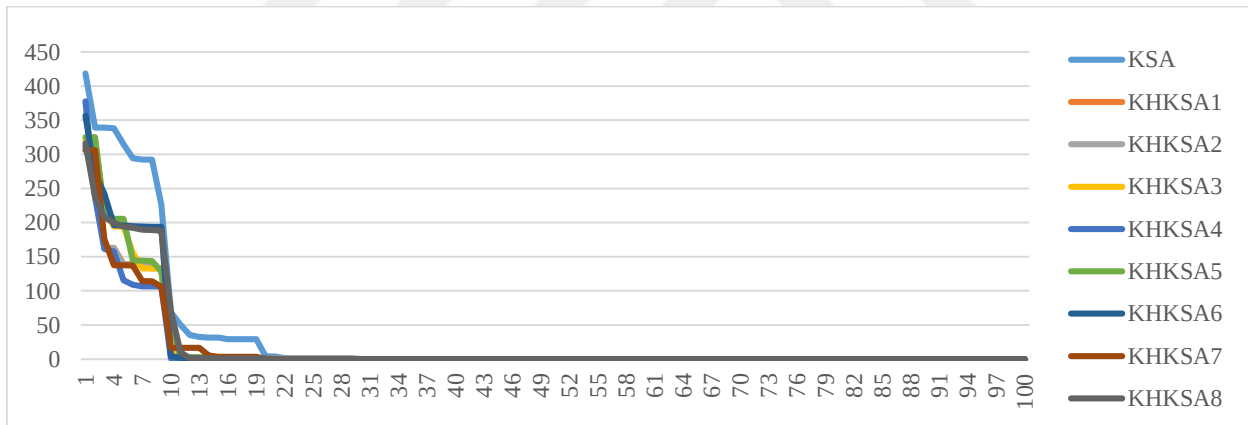
Çebişev Haritası									
f_4	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 6.1.4.1. Griewank fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Tablo 6.1.4.2. Griewank fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

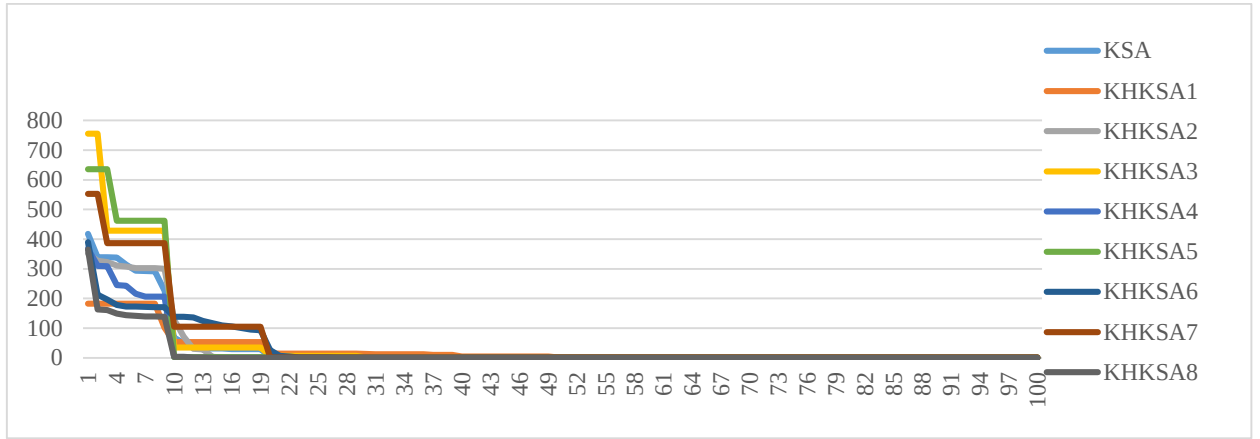
Çember Harita									
f_4	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 6.1.4.2. Griewank fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Tablo 6.1.4.3. Griewank fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

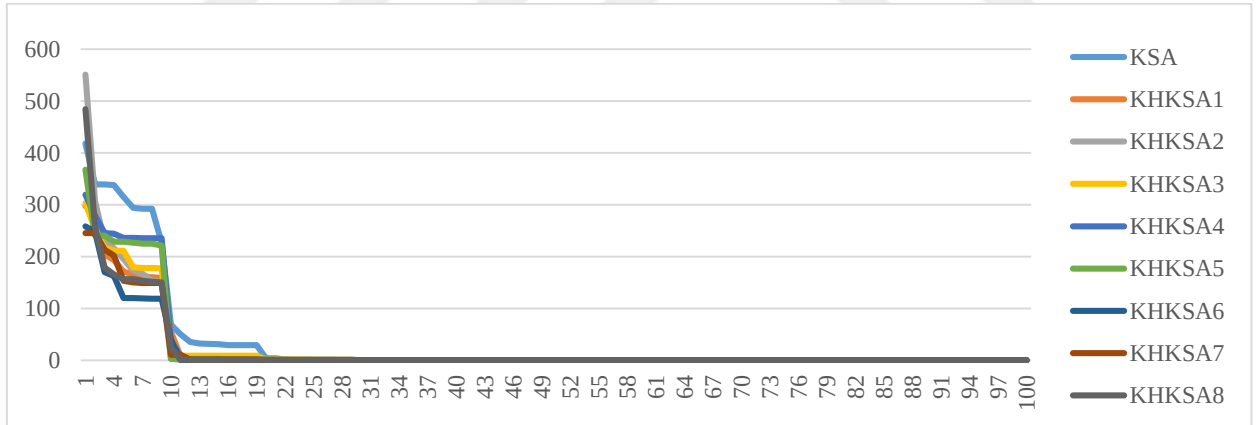
Gauss Harita									
f_4	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 6.1.4.3. Griewank fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Tablo 6.1.4.4. Griewank fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

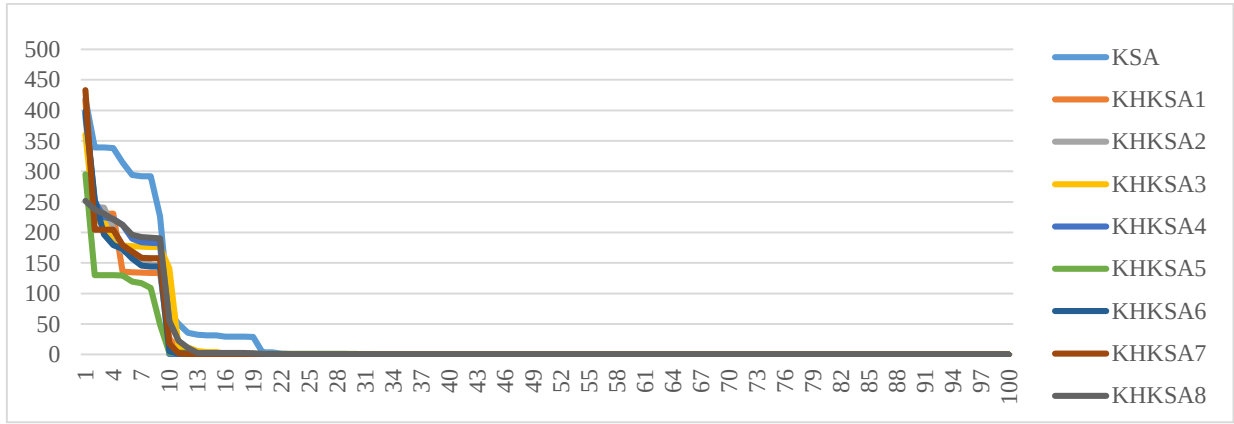
Yinelemeli Harita									
f_4	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 6.1.4.4. Griewank fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Tablo 6.1.4.5. Griewank fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

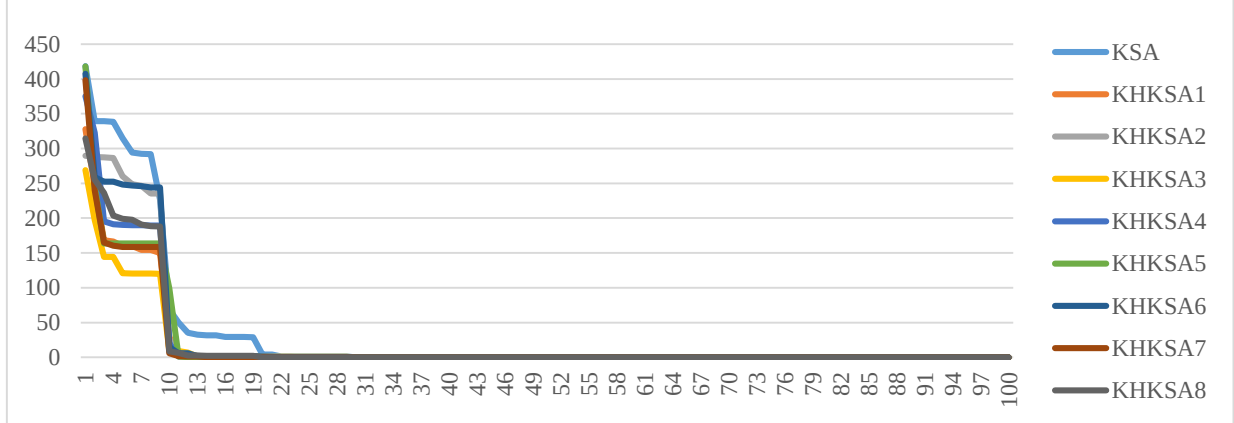
Lojistik Harita									
f_4	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 6.1.4.5. Griewank fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Tablo 6.1.4.6. Griewank fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

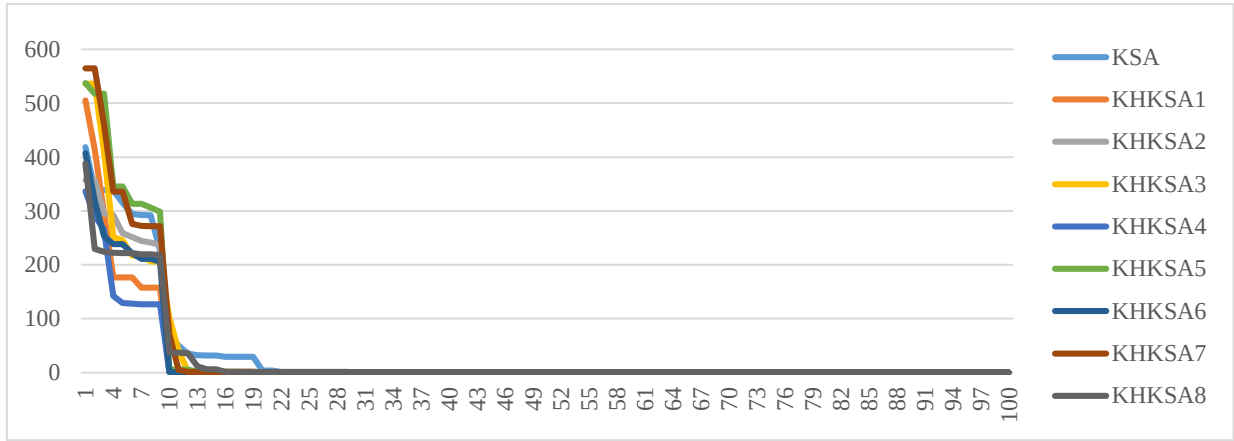
Parçalı Harita									
f_4	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 6.1.4.6. Griewank fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Tablo 6.1.4.7. Griewank fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

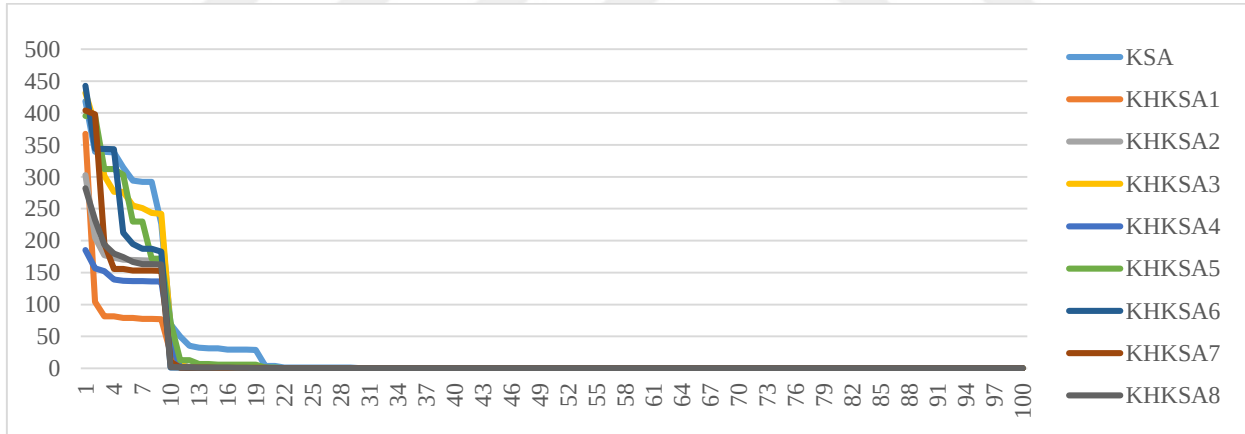
Sinus Harita									
f_4	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 6.1.4.7. Griewank fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Tablo 6.1.4.8. Griewank fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

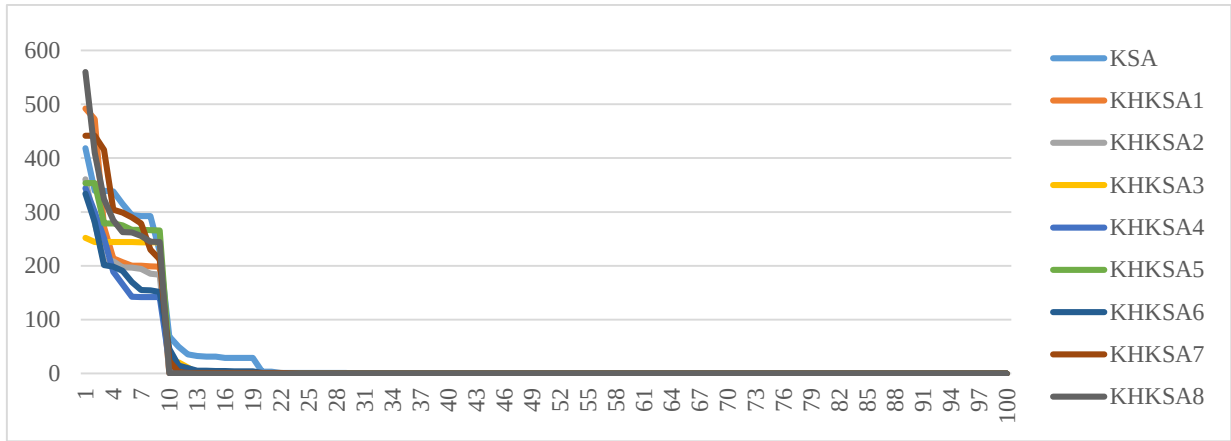
Singer Harita									
f_4	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 6.1.4.8. Griewank fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Tablo 6.1.4.9. Griewank fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

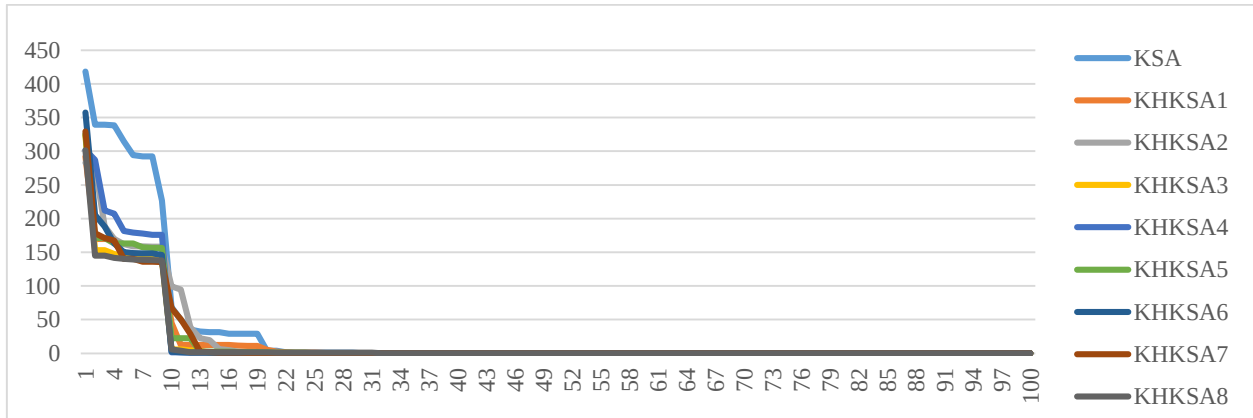
Sinüzoidal Harita									
f_4	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 6.1.4.9. Griewank fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Tablo 6.1.4.10. Griewank fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Çadır Harita									
f_4	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 6.1.4.10. Griewank fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

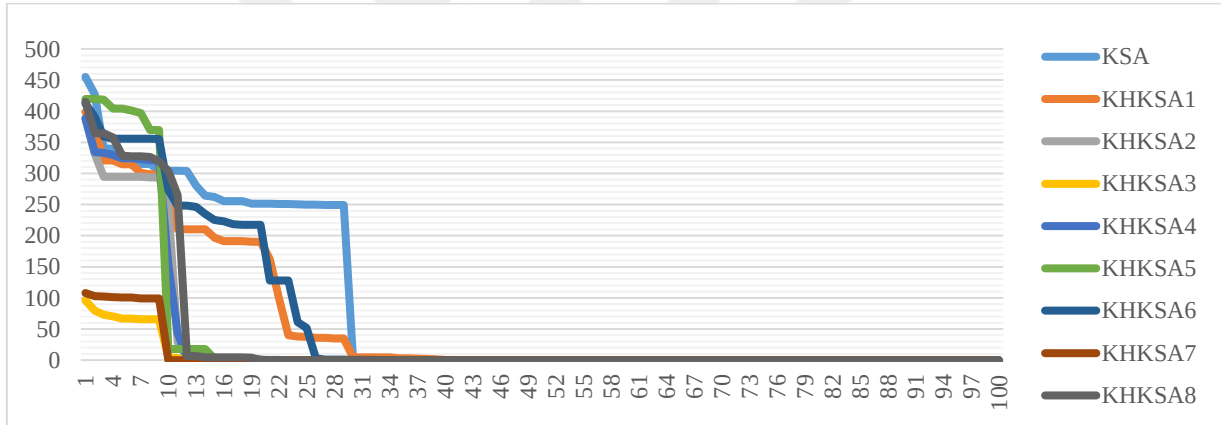
6.1.5. Dönüştürülmüş Rastrigin Fonksiyonu için Sonuçlar

Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için farklı kaotik haritalar kullanılan KHKSA klasik KSA yönteminin simülasyon boyunca elde edilen uygunluk değerinin istatistiksel analizleri yapılmıştır ve aşağıdaki tablolarda verilmiştir. İterasyon sayısı 100 kuş sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Bilişsel ve sosyal hızlandırılmış katsayılar literatürde de kullanılan katsayılar olup $c_1 = c_2 = 1.5$ olarak seçilmiştir.

Tüm algoritmalar 100 kez çalıştırılıp sonuçlar kaydedilmiştir. Adil bir değerlendirme için tüm KHKSA yöntemlerinde aynı değişkenler aynı değerler ile kullanılmıştır. Kaydedilen sonuçlardan istatistiksel analizler gerçekleştirilmiş ve sırayla Tablo 6.1.5.1 - Tablo 6.1.5.10, Şekil 6.1.5.1- Şekil 6.1.5.10'da sunulmuştur. Her yöntem için Ortalama (Ort), En iyi (Min), En kötü (Mak), Standart Sapma (SS) hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.1.5.1. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Çebişev Haritası									
f_5	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	8.34486E-07	0	1.8499E-13	4.19216E-09	1.59872E-16	8.02913E-15	1.11932E-12	9.56244E-11	7.4246E-12
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	8.34486E-05	0	1.8499E-11	4.10559E-07	1.42109E-14	7.90479E-13	1.1187E-10	8.22688E-09	7.34627E-10
SS	8.34486E-06	0	1.8499E-12	4.10549E-08	1.43036E-15	7.90407E-14	1.11869E-11	8.26561E-10	7.34588E-11

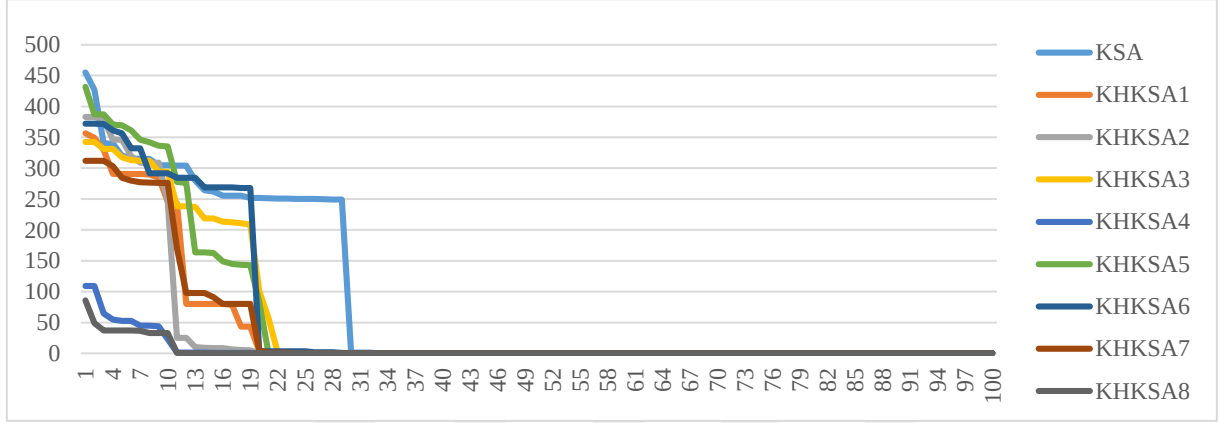


Şekil 6.1.5.1. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çebişev haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $197.559 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Tablo 6.1.5.2. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

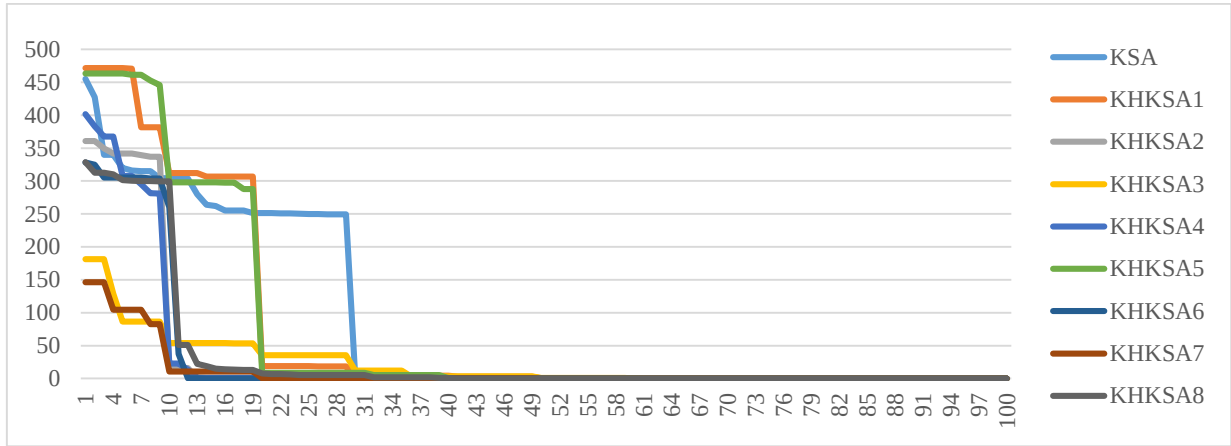
Çember Harita									
f_5	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	8.34486E-07	7.59393E-14	3.78542E-14	2.24901E-05	1.1724E-15	3.19744E-16	7.54962E-12	0.000685	0.010299
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	8.34486E-05	7.59393E-12	3.27383E-12	0.0022489	8.52651E-14	3.19744E-14	7.54961E-10	0.068513	1.029898
SS	8.34486E-06	7.59393E-13	3.30845E-13	0.0002248	9.07603E-15	3.19744E-15	7.54961E-11	0.006851	0.10299

**Şekil 6.1.5.2.** Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çember haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $29.565 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Tablo 6.1.5.3. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Gauss Harita									
f_5	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	8.34486E-07	0.234921639	5.32907E-17	0.947089845	4.428E-07	0.083098944	0	10.2785275	0
Min	0	1.00055E-08	0	1.06581E-14	0	1.06303E-08	0	3.7944E-08	0
Mak	8.34486E-05	15.86769626	5.32907E-15	63.72056462	4.42794E-05	3.706693168	0	228.474339	0
SS	8.34486E-06	1.606807913	5.32907E-16	6.592106789	4.42794E-06	0.390194904	0	33.2379149	0



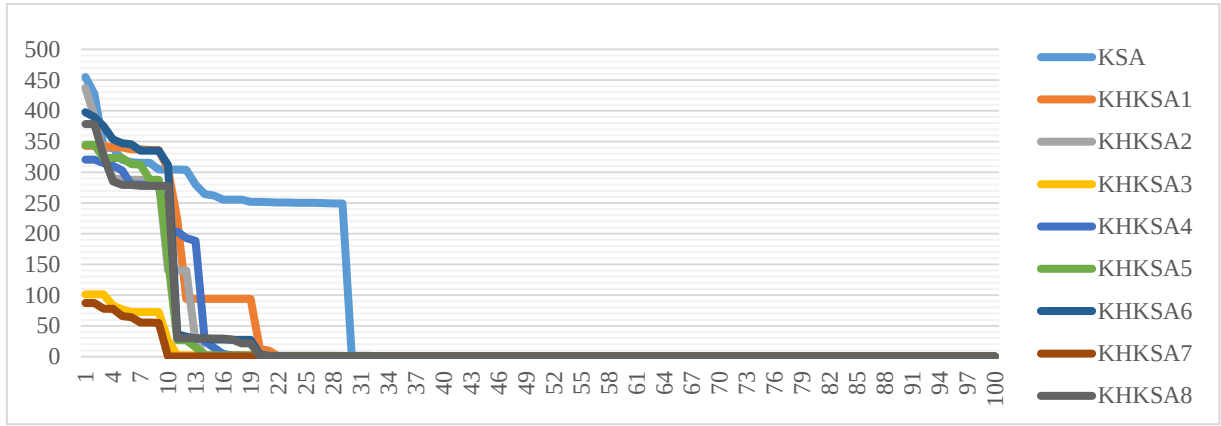
Şekil 6.1.5.3. Dönüştürülmüş rastriğin fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Dönüştürülmüş rastriğin fonksiyonu için gauss haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $748.096 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Dönüştürülmüş rastriğin fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $10.311 < 15.5073$ olduğundan H_0 kabul edilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir.

Tablo 6.1.5.4. Dönüştürülmüş rastriğin fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

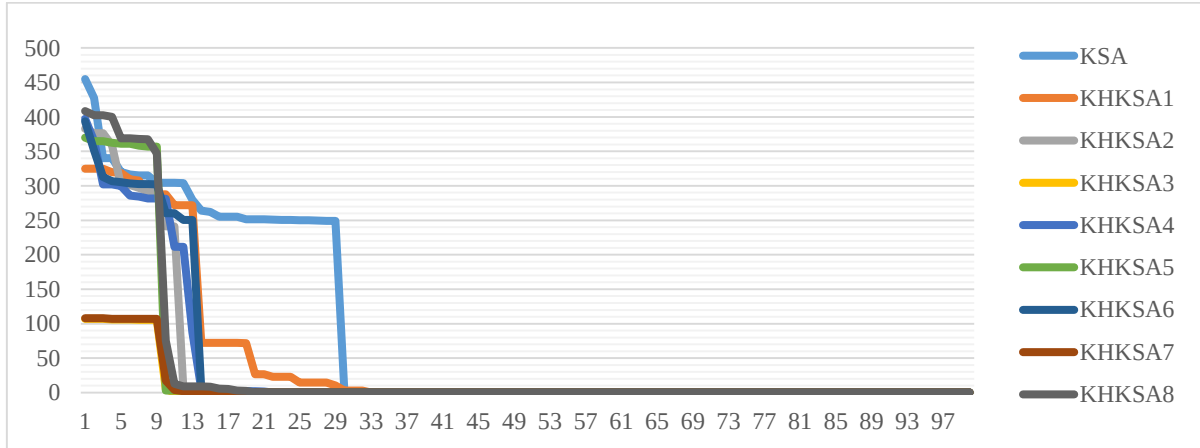
Yinelemeli Harita									
f_5	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	8.34486E-07	1.59896E-07	0.010243	0.000136	2.23714E-08	1.1648E-06	0	5.02887E-13	7.45593E-08
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	8.34486E-05	1.59896E-05	1.024309	0.013606	1.57402E-06	0.00011619	0	3.64935E-11	7.45318E-06
SS	8.34486E-06	1.59896E-06	0.102431	0.001361	1.70182E-07	1.16188E-05	0	3.75423E-12	7.45315E-07



Şekil 6.1.5.4. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için yinelemeli haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Tablo 6.1.5.5. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Lojistik Harita									
f_5	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	8.34486E-07	0	1.77636E-17	3.42267E-09	7.10543E-17	2.09752E-13	1.65556E-14	3.17968E-14	4.9738E-14
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	8.34486E-05	0	1.77636E-15	3.38156E-07	7.10543E-15	1.81011E-11	1.65556E-12	2.61835E-12	4.97025E-12
SS	8.34486E-06	0	1.77636E-16	3.3814E-08	7.10543E-16	1.82961E-12	1.65556E-13	2.67154E-13	4.97021E-13



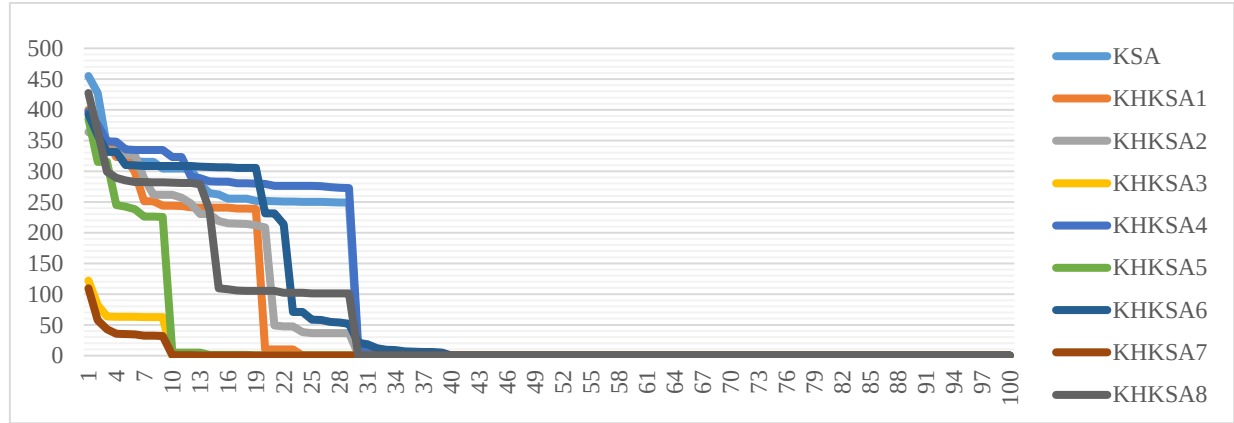
Şekil 6.1.5.5. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için lojistik haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ bulunmuştur. Yani

22.783>15.5073 olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lerden alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Tablo 6.1.5.6. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Parçalı Harita									
f_5	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	8.34486E-07	0	0	2.11837E-09	3.00082E-10	0	0	3.64285E-10	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	8.34486E-05	0	0	1.50335E-07	2.98836E-08	0	0	3.64001E-08	0
SS	8.34486E-06	0	0	1.61834E-08	2.98826E-09	0	0	3.63998E-09	0

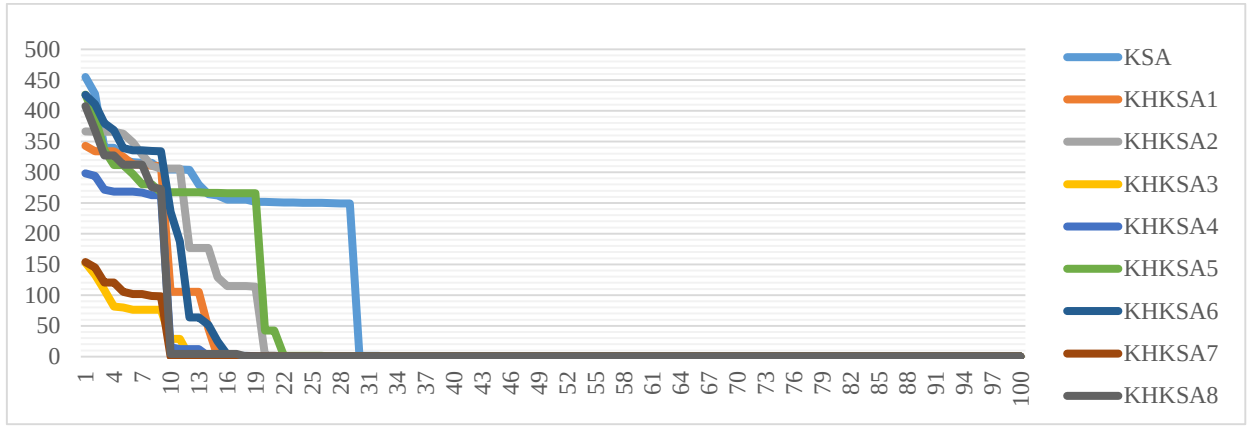


Şekil 6.1.5.6. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için parçalı haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani 20.247>15.5073 olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lerden alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Tablo 6.1.5.7. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Sinus Harita									
f_5	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	8.34486E-07	0	1.77636E-17	0.013866	1.66602E-08	2.29001E-10	2.68167E-11	1.373E-10	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	8.34486E-05	0	1.77636E-15	1.386574	1.66557E-06	2.28994E-08	2.68167E-09	1.36877E-08	0
SS	8.34486E-06	0	1.77636E-16	0.138657	1.66557E-07	2.28994E-09	2.68167E-10	1.36873E-09	0

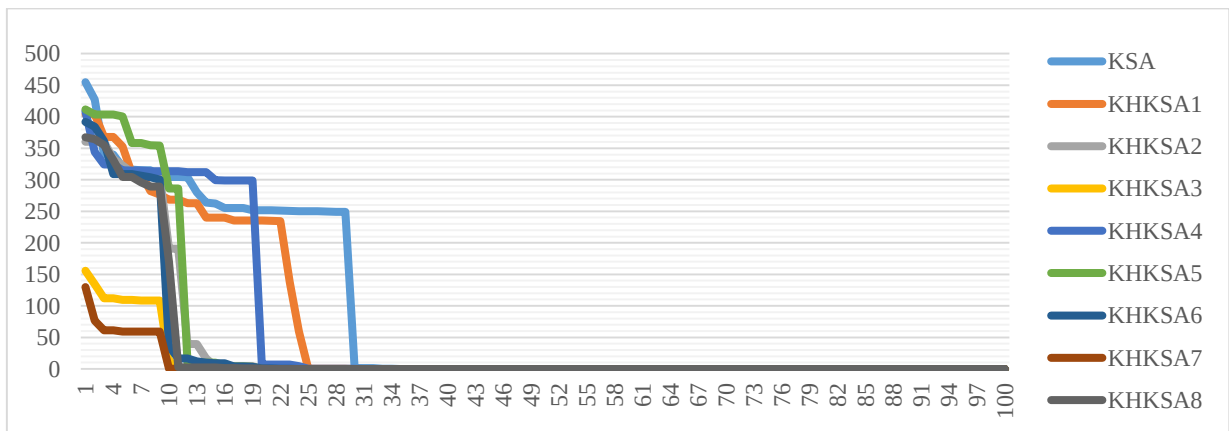


Şekil 6.1.5.7. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için sinus haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $38.548 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Tablo 6.1.5.8. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Singer Harita									
f_5	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	8.34486E-07	2.14784E-09	2.20428E-13	4.12527E-07	8.79466E-07	1.47438E-15	3.55271E-17	0.000284	1.62199E-11
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	8.34486E-05	2.14784E-07	2.2041E-11	3.81736E-05	8.79466E-05	1.47438E-13	3.55271E-15	0.02838	1.62196E-09
SS	8.34486E-06	2.14784E-08	2.2041E-12	3.82499E-06	8.79466E-06	1.47438E-14	3.55271E-16	0.002838	1.62196E-10

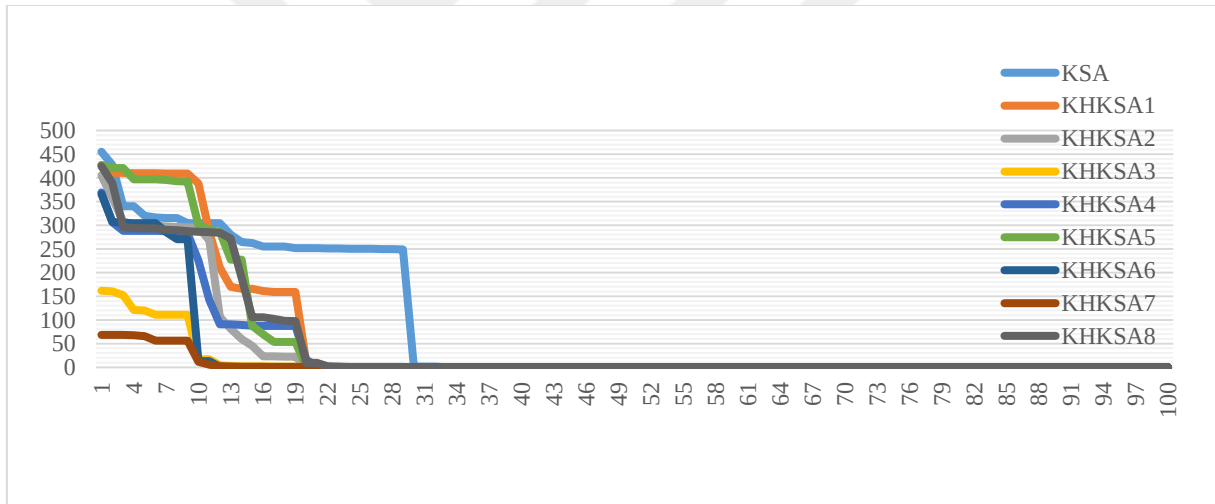


Şekil 6.1.5.8. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için singer haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $270.964 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'larda alınan sonuçlar istatistiksel olarak anlamlıdır.

Tablo 6.1.5.9. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Sinüzoidal Harita									
f_5	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	8.34486E-07	3.82965E-13	5.1493E-13	0.034075	1.44063E-14	0	7.25862E-08	0.029193	1.36412E-12
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	8.34486E-05	3.15499E-11	4.70148E-11	1.776948	1.04095E-12	0	6.74593E-06	1.695965	1.35703E-10
SS	8.34486E-06	3.20075E-12	4.71106E-12	0.202865	1.10998E-13	0	6.76021E-07	0.185145	1.35698E-11

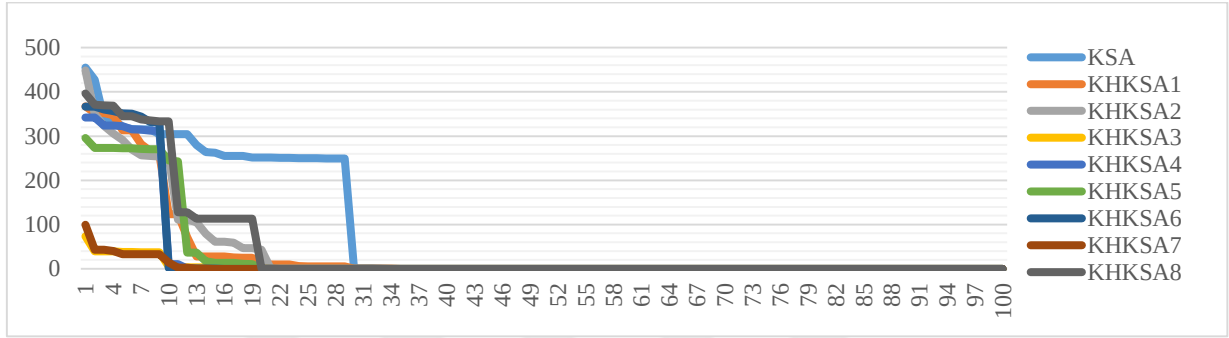


Şekil 6.1.5.9. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için sinüzoidal haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $703.523 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Tablo 6.1.5.10. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen sonuçlar

Çadır Harita									
f_5	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	8.34486E-07	6.53422E-08	6.40803E-06	1.57249E-10	8.88178E-17	6.69687E-14	5.14628E-13	0.001019	0.011323
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mak	8.34486E-05	5.46483E-06	0.0006408	1.39317E-08	8.88178E-15	6.65779E-12	5.14468E-11	0.101906	1.132264
SS	8.34486E-06	5.55787E-07	6.40803E-05	1.40282E-09	8.88178E-16	6.65751E-13	5.14467E-12	0.010191	0.113226

**Şekil 6.1.5.10.** Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile elde edilen yakınsama grafiği

Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çadır haritayı kullanan KHKSA ile klasik KSA'nın Friedman testi ile istatistiksel analizi yapılmıştır ve $X_R^2 > X_{tablo}^2$ yani $16.851 > 15.5073$ olduğundan H_0 reddedilir. Friedman testine göre; KSA ve KHKSA'lardan alınan sonuçlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu ile elde edilen deneyler yukarıda gösterilmiştir. Sphere fonksiyonu için KHKSA ve klasik KSA ile yapılan deneylerde hangi algoritmanın kaç kez iyi sonuç verdiği ile ilgili bilgi, Tablo 6.1.5.11'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1.5.11. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için önerilen algoritmalar ile klasik KSA'nın kaç kez iyi sonuç verdiğini gösteren tablo

Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu									
	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	-	4	1	-	1	3	4	-	3
Min	10	9	10	9	10	9	10	9	10

Farklı kalite testi fonksiyonu ile elde edilen deneyler yukarıda gösterilmiştir. Bu fonksiyonlar için KHKSA ve klasik KSA ile yapılan deneylerde hangi algoritmanın kaç kez iyi sonuç verdiği ile ilgili bilgi Tablo 6.1.5.12'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1.5.12. Kalite testi fonksiyonları için önerilen algoritmalar ile klasik KSA'nın kaç kez iyi sonuç verdiğini gösteren tablo

Kalite testi fonksiyonları									
	KSA	KHKSA1	KHKSA2	KHKSA3	KHKSA4	KHKSA5	KHKSA6	KHKSA7	KHKSA8
Ort	-	5	7	3	10	3	7	5	7
Min	20	19	22	18	22	21	22	20	25

6.1.6. Farklı Kombinasyonlar

Sphere ve dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonlarıyla yapılan deney sonuçlarında bazı haritaların önerilen algoritmalarından olan KHKSA3 ve KHKSA7'de klasik KSA'ya göre daha kötü sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bunun sebebinin de denklem (3.1)'de bulunan eşitlikte iki tane rand değerinin bulunması ve bu rand değerler yerine de aynı kaotik haritaların kullanılması olduğu düşünülmektedir. Bu durumu iyileştirebilmek adına rand değerlere farklı kaotik haritalar uygulanmıştır ve bu yolla klasik KSA'dan daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu yolla elde edilen bazı kaotik haritaların kombinasyonları Tablo 6.1.6.1-Tablo 6.1.6.9'da gösterilmiştir.

Tablo 6.1.6.1. Sphere fonksiyonu için çember ve yinelemeli haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar

Çember ve yinelemeli haritanın birlikte kullanımı			
	KSA	KHKSA3	KHKSA7
Ort	1.28539E-24	1.17712E-28	1.94491E-28
Min	1.64696E-42	2.2579E-43	3.74354E-44
Mak	1.28188E-22	1.02523E-26	1.74341E-26
SS	1.28185E-23	1.02963E-27	1.74672E-27

Tablo 6.1.6.2. Sphere fonksiyonu için lojistik ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar

Lojistik ve parçalı haritanın birlikte kullanımı			
	KSA	KHKSA3	KHKSA7
Ort	1.28539E-24	9.44478E-23	2.00501E-25
Min	1.64696E-42	2.22315E-41	1.22178E-42
Mak	1.28188E-22	9.44005E-21	1.99603E-23
SS	1.28185E-23	9.44E-22	1.99595E-24

Tablo 6.1.6.3. Sphere fonksiyonu için sinus ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar

Sinus ve parçalı haritanın birlikte kullanımı			
	KSA	KHKSA3	KHKSA7
Ort	1.28539E-24	9.83818E-26	3.33834E-25
Min	1.64696E-42	2.98145E-40	3.60936E-40
Mak	1.28188E-22	4.8376E-24	3.07839E-23
SS	1.28185E-23	5.89609E-25	3.08106E-24

Tablo 6.1.6.4. Sphere fonksiyonu için singer ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar

Singer ve parçalı haritanın birlikte kullanımı			
	KSA	KHKSA3	KHKSA7
Ort	1.28539E-24	4,70051E-26	1,1719E-29
Min	1.64696E-42	1,04742E-47	1,95008E-47
Mak	1.28188E-22	4,6975E-24	1,15423E-27
SS	1.28185E-23	4,69747E-25	1,15414E-28

Tablo 6.1.6.5. Sphere fonksiyonu için sinüzoidal ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar

Sinüzoidal ve parçalı haritanın birlikte kullanımı			
	KSA	KHKSA3	KHKSA7
Ort	1.28539E-24	2.63552E-27	4.20086E-31
Min	1.64696E-42	2.62375E-47	4.95965E-51
Mak	1.28188E-22	2.59692E-25	3.1946E-29
SS	1.28185E-23	2.59672E-26	3.27213E-30

Tablo 6.1.6.6. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için çember ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar

Çember ve parçalı haritanın birlikte kullanımı			
	KSA	KHKSA3	KHKSA7
Ort	8.34486E-07	5,32907E-17	0,017965
Min	0	0	0
Mak	8.34486E-05	5,32907E-15	1,796526
SS	8.34486E-06	5,32907E-16	0,179653

Tablo 6.1.6.7. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için gauss ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar

Gauss ve parçalı haritanın birlikte kullanımı			
	KSA	KHKSA3	KHKSA7
Ort	8.34486E-07	0,071986426	0,051354478
Min	0	2,19211E-09	2,14207E-07
Mak	8.34486E-05	1,520886527	0,990774226
SS	8.34486E-06	0,24439878	0,155153254

Tablo 6.1.6.8. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için singer ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar

Singer ve parçalı haritanın birlikte kullanımı			
	KSA	KHKSA3	KHKSA7
Ort	8.34486E-07	1,15463E-15	0
Min	0	0	0
Mak	8.34486E-05	1,15463E-13	0
SS	8.34486E-06	1,15463E-14	0

Tablo 6.1.6.9. Dönüştürülmüş rastrigin fonksiyonu için sinüzoidal ve parçalı haritanın birlikte kullanımı ile elde edilen sonuçlar

Sinüzoidal ve parçalı haritanın birlikte kullanımı			
	KSA	KHKSA3	KHKSA7
Ort	8.34486E-07	0	9,74795E-11
Min	0	0	0
Mak	8.34486E-05	0	9,74795E-09
SS	8.34486E-06	0	9,74795E-10

6.2. Gerçek Mühendislik Problemi ile Yapılan Deneyler

6.2.1. Kaynaklı Kiriş Tasarımı Problemi için Sonuçlar

KSA, KHKSA8 ve literatürde diğer araştırmacıların yaptığı çalışmalar kaynaklı kiriş tasarım problem üzerinde karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Popülasyon sayısı 50, iterasyon sayısı 1000 olarak alınmış olup 30 kere çalıştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.2.1.1’de verilmiştir. Ayrıca kaotik haritalı algoritmalarından biri olan KHKSA8’in bu problem üzerindeki başarısı literatürdeki çalışmalar ile kıyaslanarak sonuçları Tablo 6.2.1.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2.1.1. KSA ve KHKSA8’in kaynaklı kiriş tasarımı problemi üzerindeki performansının karşılaştırmalı değerleri

Metot	Min	Mak	Ort	SS
KSA	1.7249	1.7673	1.733223	0.011738
KHKSA8	1.7249	1.8808	1.769267	0.047055

Tablo 6.2.1.2. KSA ve KHKSA8’in kaynaklı kiriş tasarımı problemi üzerindeki performansının literatür ile karşılaştırmalı değerleri

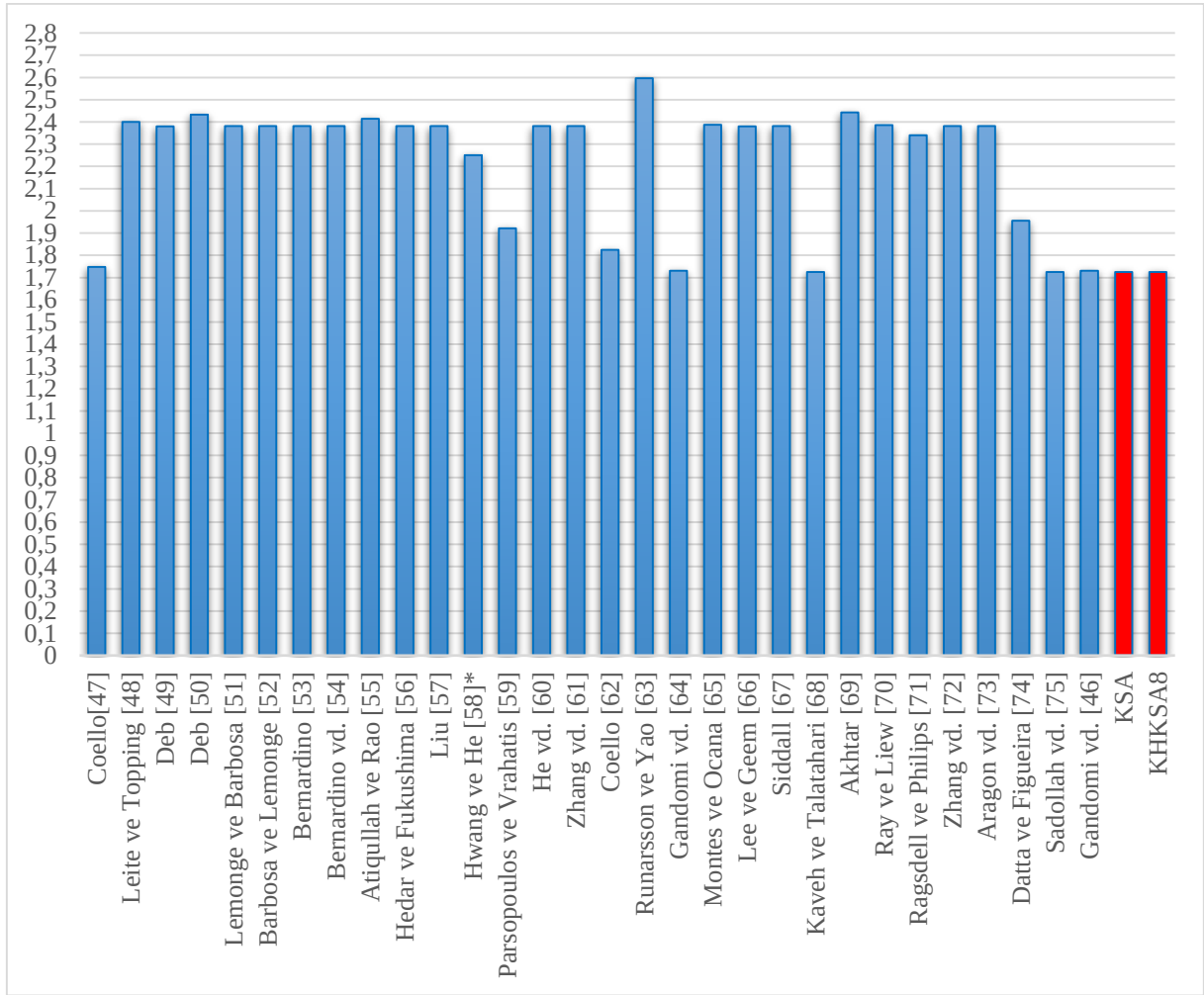
Araştırma	x_1	x_2	x_3	x_4	Maliyet
Coello [47]	0.2088	3.4205	8.9975	0.2100	1.7483
Leite ve Topping [48]	0.2489	6.1097	8.8284	0.2485	2.4000
Deb [49]	-	-	-	-	2.3800
Deb [50]	0.2489	6.1730	8.1789	0.2533	2.4331
Lemonge ve Barbosa [51]	0.2443	6.2117	8.3015	0.2443	2.3816
Barbosa ve Lemonge [52]	0.2442	6.2231	8.2915	0.2444	2.3814
Bernardino [53]	0.2443	6.2202	8.2915	0.2444	2.3812
Bernardino vd. [54]	0.2444	6.2183	8.2912	0.2444	2.3812
Atiqullah ve Rao [55]	0.2471	6.1451	8.2721	0.2495	2.4148
Hedar ve Fukushima [56]	0.2444	6.2158	8.2939	0.2444	2.3811
Liu [57]	0.2444	6.2175	8.2915	0.2444	2.3810
Hwang ve He [58]*	0.2231	1.5815	12.846	0.2445	2.2500

Parsopoulos ve Vrahatis [59]	-	-	-	-	1.9220
He vd. [60]	0.2444	6.2175	8.2915	0.2444	2.3810
Zhang vd. [61]	0.2443	6.2201	8.2940	0.2444	2.3816
Coello [62]	-	-	-	-	1.8245
Runarsson ve Yao [63]	0.2758	5.0053	8.6261	0.2758	2.5961
Gandomi vd. [64]	0.2015	3.562	9.0414	0.2057	1.7312
Montes ve Ocana [65]	0.2057	3.4711	9.0367	0.2057	2.3868
Lee ve Geem [66]	0.2442	6.2231	8.2915	0.2443	2.3807
Siddall [67]	0.2444	6.2819	8.2915	0.2444	2.3815
Kaveh ve Talatahari [68]	0.2058	3.4681	9.0380	0.2057	1.7249
Akhtar [69]	0.2407	6.4851	8.2399	0.2497	2.4426
Ray ve Liew [70]	0.2444	6.2380	8.2886	0.2446	2.3854
Ragsdell ve Philips [71]	0.2536	7.1410	7.1044	0.2536	2.3398
Zhang vd. [72]	0.2444	6.2175	8.2915	0.2444	2.3810
Aragon vd. [73]	0.2444	6.2186	8.2915	0.2444	2.3811
Datta ve Figueira [74]	0.1875	1.7821	8.2500	0.2500	1.9553
Sadollah vd. [75]	0.2057	3.4704	9.0366	0.2057	1.7249
Gandomi vd. [46]	0.2015	3.5620	0.0414	0.2057	1.7312
KSA	0.20572	3.47063	9.03662	0.20573	1.7249
KHKSA8	0.20573	3.47019	9.03764	0.20572	1.7249

* kısıtların ihlal edildiği çalışmalar

KHKSA8'in kısıtlı kaynaklı kiriş tasarımı probleminin çözümündeki optimizasyon performansı standart KSA ile kıyaslanmış sonuçlar Tablo 6.2.1.1'de gösterilmiştir. Tablo 6.2.1.1'deki minimum, maksimum ve ortalama değerleri üzerinden kıyaslama yapıldığında KHKSA8'in, minimum değer bazında eşit maksimum ve ortalama değer bazında KSA'dan daha kötü sonuçlar elde ettiği ancak literatürdeki diğer çalışmalara göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

KHKSA8'in bu problem üzerindeki performansı ayrıca literatürdeki 30 adet çalışma ile kıyaslanmış, sonuçlar Tablo 6.2.1.2'de verilmiştir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere KHKSA8, kaynaklı kiriş tasarımı maliyeti açısından literatürdeki çalışmalara göre daha uygun değeri üretmiştir. Hwang ve He [58], Coello [63] çalışmalarında kısıtlara dikkat edilmemesine rağmen KHKSA8'den daha kötü performans sergilediği görülmektedir.



Şekil 6.2.1. Kaynaklı kiriş tasarımı problemi üzerinde KSA ve KHKSA8’in literatür ile kıyaslanması sonucu elde edilen maliyet değerlerinin gösterimi

6.2.2. Gerilim Sıkıştırma Yay Tasarımı Problemi için Sonuçlar

KSA, KHKSA8 ve literatürde diğer araştırmacıların yaptığı çalışmalar gerilim sıkıştırma yay tasarımı problemi üzerinde karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Populasyon sayısı 50, iterasyon sayısı 100 olarak alınmış olup 30 kere çalıştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.2.2.1’de verilmiştir. Ayrıca kaotik haritalı algoritmalarından biri olan KHKSA8’in bu problem üzerindeki başarısı literatürdeki çalışmalar ile kıyaslanarak sonuçları Tablo 6.2.2.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2.2.1. KSA ve KHKSA8’in yay tasarımı problemi üzerindeki performansının karşılaştırmalı değerleri

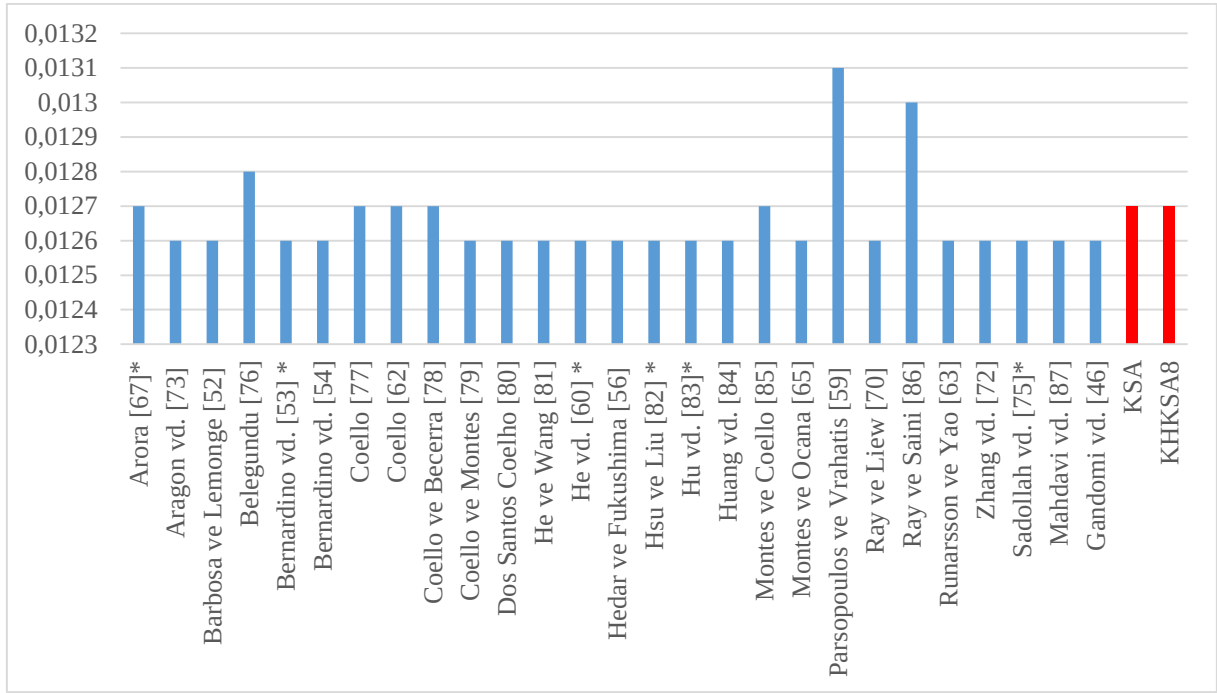
Metot	Min	Mak	Ort	SS
KSA	0.0127	0.013	0.01274	7.70132E-05
KHKSA8	0.0127	0.0129	0.01273	6.51259E-05

Tablo 6.2.2.2. KSA ve KHKSA8'in yay tasarımı problemi üzerindeki performansının literatür ile karşılaştırmalı değerleri

Araştırma	x_1	x_2	x_3	Maliyet
Arora [67]*	0.0534	0.3991	9.1854	0.0127
Aragon vd. [73]	0.0516	0.3551	11.384	0.0126
Barbosa ve Lemonge [52]	0.0511	0.3443	12.070	0.0126
Belegundu [76]	0.0500	0.3159	14.250	0.0128
Bernardino vd. [53] *	0.0516	0.3560	11.329	0.0126
Bernardino vd. [54]	0.0514	0.3505	11.661	0.0126
Coello [77]	0.0514	0.3516	11.632	0.0127
Coello [62]	0.0514	0.3516	11.632	0.0127
Coello ve Becerra [78]	0.0500	0.3174	14.031	0.0127
Coello ve Montes [79]	0.0519	0.3639	10.890	0.0126
Dos Santos Coelho [80]	0.0515	0.3525	11.538	0.0126
He ve Wang [81]	0.0517	0.3576	11.244	0.0126
He vd. [60] *	0.0514	0.3513	11.608	0.0126
Hedar ve Fukushima [56]	0.0517	0.3580	11.213	0.0126
Hsu ve Liu [82] *	0.0523	0.3731	10.364	0.0126
Hu vd. [83]*	0.0514	0.3513	11.608	0.0126
Huang vd. [84]	0.0516	0.3547	11.410	0.0126
Montes ve Coello [85]	0.0516	0.3553	11.397	0.0127
Montes ve Ocana [65]	0.0518	0.3599	11.107	0.0126
Parsopoulos ve Vrahatis [59]	-	-	-	0.0131
Ray ve Liew [70]	0.0521	0.3681	10.648	0.0126
Ray ve Saini [86]	0.0504	0.3215	13.979	0.0130
Runarsson ve Yao [63]	0.0516	0.3554	11.375	0.0126
Zhang vd. [72]	0.0516	0.3567	11.289	0.0126
Sadollah vd. [75]*	0.0516	0.3559	11.344	0.0126
Mahdavi vd. [87]	0.0519	0.3639	10.890	0.0126
Gandomi vd. [46]	0.0516	0.3567	11.288	0.0126
KSA	0.05278	0.38352	9.8751	0.0127
KHKSA8	0.0519	0.36175	11.0001	0.0127

* kısıtların ihlal edildiği çalışmalar

KHKSA8'in kısıtlı yay tasarımı probleminin çözümündeki optimizasyon performansı standart KSA ile kıyaslanmış sonuçlar Tablo 6.2.2.1'de gösterilmiştir. Tablo 6.2.2.1'deki minimum, maksimum ve ortalama değerleri üzerinden kıyaslama yapıldığında KHKSA8'in, minimum değer bazında KSA ile eşit olduğu ancak maksimum ve ortalama değer bazında daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür.



Şekil 6.2.2. Gerilim-sıkıştırma yay tasarım problemi üzerinde KSA ve KHKSA8'in literatür ile kıyaslanması sonucu elde edilen maliyet değerlerinin gösterimi

6.2.3. Basıncılı Kap Tasarımı Problemi için Sonuçlar

KSA, KHKSA8 ve literatürde diğer araştırmacıların yaptığı çalışmalar basıncılı kap tasarımı problemi üzerinde karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Popülasyon sayısı 60, iterasyon sayısı 250 olarak alınmış olup 30 kere çalıştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.2.3.1'de verilmiştir. Ayrıca kaotik haritalı algoritmalarından biri olan KHKSA8'in bu problem üzerindeki başarısı literatürdeki çalışmalar ile kıyaslanarak sonuçları Tablo 6.2.3.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2.3.1. KSA ve KHKSA8'in basıncılı kap tasarımı problemi üzerindeki performansının karşılaştırmalı değerleri

Metot	Min	Mak	Ort	SS
KSA	5886.8	6156.727	6563	190.6177
KHKSA8	5886.8	6666.9	6232.197	224.5998

Tablo 6.2.3.2. KSA ve KHKSA8'in basınçlı kap tasarımı problemi üzerindeki performansının literatür ile karşılaştırmalı değerleri

Araştırma	Min	Ort	Mak	SS
Akhtar [69]	6171.00	6335.05	6453.65	-
Aragon vd. [73]	6390.55	7694.06	6737.06	357.00
Barbosa ve Lemonge [52]	6065.82	8248.00	6632.37	515.00
Bernardino vd. [53]	6060.13	6845.49	6385.94	-
Bernardino vd. [54]	6059.85	7388.16	6545.12	124.00
Cagnina vd. [88]	6059.71	-	-	-
Cai ve Thierauf [89]	7006.93	-	-	-
Coello [47]	6228.74	-	-	-
Coello [62]	6263.79	-	-	97.944
Coello ve Montes [90]	6177.25	-	-	130.93
Coello ve Cortes [91]	6061.12	6734.09	7368.06	457.99
Coello ve Montes [77]	6059.95	6177.25	6469.32	130.93
Dos Santos Coelho [80]	6059.71	-	-	-
Ben ve Bean [92]	6303.50	8065.66	10569.7	821.30
He ve Wang [81]	6061.08	6147.13	6363.80	86.454
He vd. [60]	6059.71	6289.93	-	305.78
Hu vd. [83]*	6059.13	-	-	-
Huang vd. [84]	6059.73	6085.23	6371.05	43.013
Joines ve Houck [93]	6273.28	8092.87	10382.1	1017.9
Lemonge ve Barbosa [51]	6060.18	-	-	-
Montes ve Coello [85]	6059.75	6850.00	7332.88	426.00
Montes ve Ocana [65]*	6059.73	6081.78	6150.13	67.241
Montes vd. [94]*	6059.7	6059.70	-	0
Parsopoulos ve Vrahatis [59]	6544.27	9032.55	11638.2	995.57
Ray ve Liew [70]	6171.00	6335.05	-	-
Yun [95]	7198.42	-	-	-
Zahara ve Kao [96]*	5930.31	5946.79	5960.06	9.1614
Datta ve Figueira [74]*	5850.38	-	-	-
Sadollah vd. [75]*	5889.32	6200.64	6392.50	160.34
Mahdavi vd. [87]*	5849.76	-	-	-
Mashinchi vd. [97]	6059.71	-	-	-
Gandomi vd. [46]	6059.71	6179.13	6318.95	137.22
KSA	5886.8	6156.727	6563	190.6177
KHKSA8	5886.8	6666.9	6232.197	224.5998

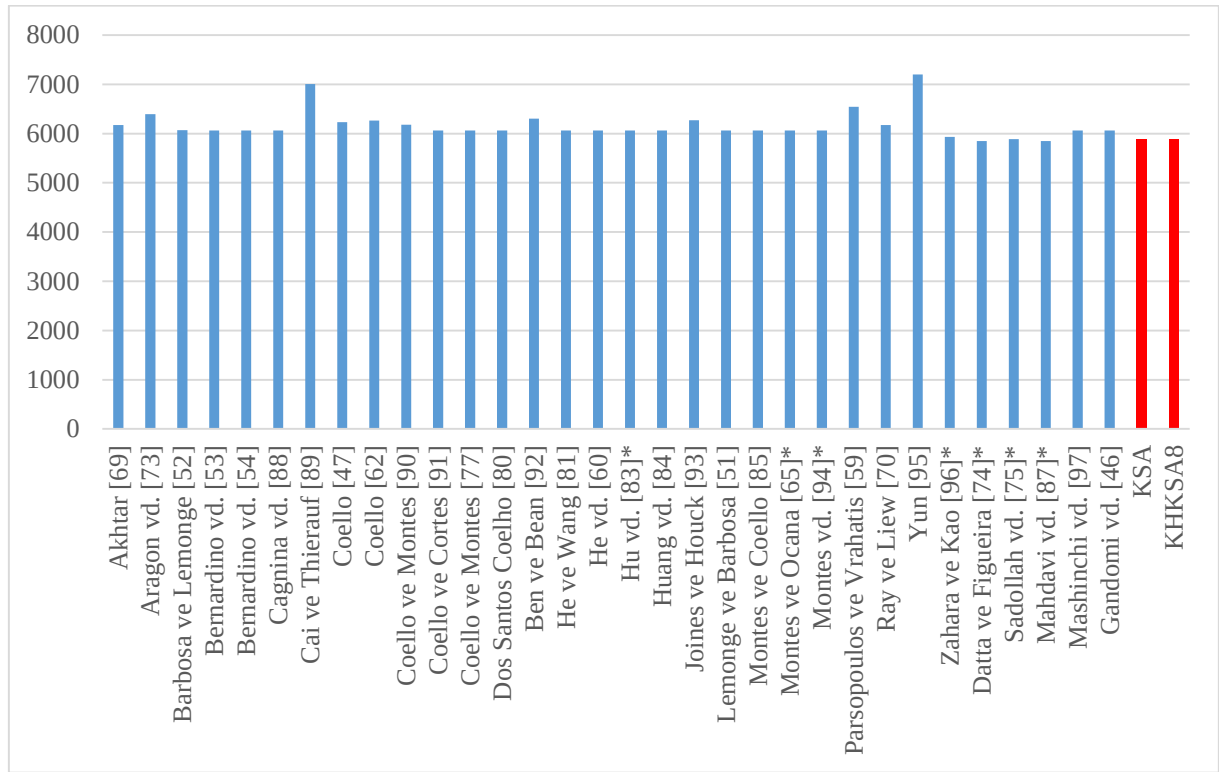
* kısıtların ihlal edildiği çalışmalar

Diğer sürekli değişkenli, kısıtlı problemlerin tersine basınçlı kap tasarımı problemi sürekli ve süreksiz değişkenli, kısıtlı bir gerçek hayat problemidir. KHKSA8'in performansı basınçlı kap tasarımı problemi üzerinde öncelikle KSA ile karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 6.2.3.1'de verilmiştir.

Tablo 6.2.3.1'deki minimum, maksimum ve ortalama değerlere bakıldığında KHKSA8 minimum değer bazında eşit, maksimum değer bazında KSA'ya göre daha kötü, ortalama değer bazında ise daha iyi performans sergilediği görülmektedir.

KHKSA8'in performansı, literatürdeki 32 adet çalışma ile de kıyaslanmış ve sonuçlar Tablo 6.2.3.1'de verilmiştir. Tablo 6.2.3.1'den de anlaşılacağı üzere literatürdeki 32 adet çalışmanın 7 tanesinin kısıtları ihlal ettiği görülmektedir.

Mahdavi vd. [87], Datta ve Figuairra [74]'nın çalışmaları basınçlı kap problemi üzerinde KHKSA8 'den daha iyi sonuçlar üretmiştir. Ancak tüm bu çalışmalar problemde verilen kısıtları ihlal etmiştir. Kısıtların ihlal edildiği çalışmalar göz ardı edildiğinde, KHKSA8'in literatürde kıyaslanan çalışmalar içinden en uygun değeri ürettiği görülmektedir.



Şekil 6.2.3. Basınçlı kap tasarımı problemi üzerinde KSA ve KHKSA8'in literatür ile kıyaslanması sonucu elde edilen maliyet değerlerinin gösterimi

6.3. Bulgular

İnceleme için kalite testi fonksiyonları arasından en çok kullanılan beş fonksiyon seçilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, çebişev haritasını kullanan KHKSA'nın Ackley, Schwefel, Dönüştürülmüş Rastrigin fonksiyonlarında iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Burada KHKSA Ackley, Schwefel ve Dönüştürülmüş Rastrigin fonksiyonlarının tümünde KSA'dan daha iyi sonuç vermiştir. Yüzdelik olarak ifade etmek gerekirse bu üç fonksiyondaki optimizasyon işlemlerinin %100'ünde KSA'ya göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Sphere fonksiyonunda ise 8 optimizasyon işleminin 4'ünde KHKSA, KSA'ya oranla daha başarılı olmuştur. Yüzdelik olarak ifade etmek gerekirse KHKSA optimizasyon işlemlerinin %50'sinde KSA'ya göre daha

iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu dört fonksiyon birlikte baz alındığında 32 optimizasyon işleminin 28'inde KHKSA, KSA'ya oranla daha başarılı olmuştur. 4 optimizasyon işleminde ise; KHKSA, KSA'ya üstünlük sağlayamamıştır. Yüzdelik olarak ifade etmek gerekirse KHKSA optimizasyon işlemlerinin %87.5'inde KSA'ya göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çember harita kullanan KHKSA'larda Schwefel fonksiyonunda en iyi sonuç verildiği görülmüştür. Schwefel fonksiyonunda 8 optimizasyon işleminin 8'inde, Sphere ve Ackley fonksiyonlarında 8 optimizasyon işleminin 7'sinde, Dönüştürülmüş Rastrigin fonksiyonunda ise 8 optimizasyon probleminin 5'inde KHKSA, KSA'ya oranla daha başarılı olmuştur. Çember haritada kullanılan 32 optimizasyon işleminin 27'sinde KHKSA, KSA'ya oranla daha başarılı olmuştur. Yüzdelik olarak ifade etmek gerekirse, KHKSA optimizasyon işlemlerinin %84.375'inde KSA'ya göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Gauss harita kullanan KHKSA'larda istenilen başarı elde edilememiştir. Sphere, Ackley ve Dönüştürülmüş Rastrigin fonksiyonlarında 8 optimizasyon işleminin 4'ünde, Schwefel fonksiyonunda 8 optimizasyon işleminin 3'ünde KHKSA, KSA'ya oranla daha başarılı olmuştur. Gauss haritada kullanılan 32 optimizasyon işleminin 15'inde KHKSA, KSA'ya oranla daha başarılı olmuştur. Yüzdelik olarak ifade etmek gerekirse KHKSA optimizasyon işlemlerinin %46.875'inde KSA'ya göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Buna bakarak gauss haritanın KHKSA'larda başarılı olmadığı sonucuna varılmıştır.

Yinelemeli harita kullanan KHKSA'larda Ackley ve Dönüştürülmüş Rastrigin fonksiyonlarında 8 optimizasyon işleminin 8'inde, Sphere ve Schwefel fonksiyonlarında 8 optimizasyon işleminin 7'sinde, Dönüştürülmüş Rastrigin fonksiyonunda 8 optimizasyon işleminin 5'inde KSA'ya oranla daha başarılı olduğu görülmüştür. Yinelemeli haritada kullanılan 32 optimizasyon işleminin 29'unda KHKSA, KSA'ya oranla daha başarılı olduğu görülmüştür. Yüzdelik olarak ifade etmek gerekirse KHKSA optimizasyon işlemlerinin %90.625'inde KSA'ya göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Lojistik harita kullanan KHKSA'larda Ackley ve Dönüştürülmüş Rastrigin fonksiyonlarında 8 optimizasyon işleminin 8'inde, Sphere fonksiyonunda 8 optimizasyon işleminin 5'inde, Schwefel fonksiyonunda 8 optimizasyon işleminin 7'sinde KSA'ya oranla daha başarılı olduğu görülmüştür. Lojistik haritada kullanılan 32 optimizasyon işleminin 28'inde KHKSA, KSA'ya oranla daha başarılı olmuştur. Yüzdelik olarak ifade etmek gerekirse KHKSA optimizasyon işlemlerinin %87.5'inde KSA'ya göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Parçalı harita kullanan KHKSA'larda Sphere, Ackley, Schwefel ve Dönüştürülmüş Rastrigin fonksiyonlarında 8 optimizasyon işleminin 8'inde KSA'ya oranla daha başarılı olduğu görülmüştür. Parçalı haritada kullanılan 32 optimizasyon işleminin 32'sinde KHKSA,

KSA'ya oranla daha başarılı olduğu görülmüştür. Yüzdelik olarak ifade etmek gerekirse KHKSA optimizasyon işlemlerinin %100'ünde KSA'ya göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Sinus harita kullanan KHKSA'larda Ackley fonksiyonunda 8 optimizasyon işleminin 8'inde, Schwefel ve Dönüştürülmüş Rastrigin fonksiyonlarında 8 optimizasyon işleminin 7'sinde, Sphere fonksiyonunda 8 optimizasyon işleminin 5'inde KHKSA, KSA'ya oranla daha başarılı olduğu görülmüştür. Sinus haritada kullanılan 32 optimizasyon işleminin 27'sinde KHKSA, KSA'ya oranla daha başarılı olmuştur. Yüzdelik olarak ifade etmek gerekirse KHKSA optimizasyon işlemlerinin %84.375'inde KSA'ya göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Singer harita kullanan KHKSA'larda Ackley ve Schwefel fonksiyonlarında 8 optimizasyon işleminin 8'inde, Sphere fonksiyonunda 8 optimizasyon işleminin 5'inde, Dönüştürülmüş Rastrigin fonksiyonunda 8 optimizasyon işleminin 6'sında KHKSA, KSA'ya oranla daha başarılı olduğu görülmüştür. Singer harita kullanılan 32 optimizasyon işleminin 27'sinde KSA'ya oranla daha başarılı olduğu görülmüştür. Yüzdelik olarak ifade etmek gerekirse KHKSA optimizasyon işlemlerinin %84.375'inde KSA'ya göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Sinüzoidal harita kullanan KHKSA'larda Ackley ve Schwefel fonksiyonlarında 8 optimizasyon işleminin 8'inde, Sphere fonksiyonunda 8 optimizasyon işleminin 2'inde, Dönüştürülmüş Rastrigin fonksiyonunda 8 optimizasyon işleminin 6'sında KHKSA, KSA'ya oranla daha başarılı olduğu görülmüştür. Sinüzoidal harita kullanılan 32 optimizasyon işleminin 24'ünde KSA'ya oranla daha başarılı olduğu görülmüştür. Yüzdelik olarak ifade etmek gerekirse KHKSA optimizasyon işlemlerinin %75'inde KSA'ya göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çadır harita kullanan KHKSA'larda Sphere, Ackley ve Schwefel fonksiyonlarında 8 optimizasyon işleminin 8'inde, Dönüştürülmüş Rastrigin fonksiyonunda 8 optimizasyon işleminin 5'inde KHKSA, KSA'ya oranla daha başarılı olduğu görülmüştür. Çadır harita kullanılan 32 optimizasyon işleminin 29'unda KSA'ya oranla daha başarılı olduğu görülmüştür. Yüzdelik olarak ifade etmek gerekirse KHKSA optimizasyon işlemlerinin %90.625'inde KSA'ya göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Griewank fonksiyonu KSA ve KHKSA'larda 0 değeri üretmiştir. Bu sonuca bakarak KSA ve KHKSA'ların birbiri üstünde üstünlük kuramadığı sonucunu çıkarabiliriz. Bu nedenle yapılan istatistiksel analizlerde Griewank fonksiyonu ihmal edilmiştir ve diğer dört fonksiyon üzerinde istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir.

KHKSA3 ve KHKSA7’de aynı denklem içinde iki kere aynı kaotik harita kullanıldığından genellikle istenilen sonuçlar elde edilememiştir. Bu durumu iyileştirebilmek için aynı denklem üzerinde kaotik harita kullandığımız yere farklı kaotik haritalar tanımlanmıştır. 6. bölümde farklı kombinasyonlar başlığı altında farklı kaotik haritalar uygulanarak daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir.

320 optimizasyon işleminin 266’sında KHKSA, KSA’ya oranla daha başarılı olmuştur. 54 optimizasyon işleminde ise; KHKSA, KSA’ya üstünlük sağlayamamıştır. Yüzdelik olarak ifade etmek gerekirse KHKSA optimizasyon işlemlerinin %83.125’inde KSA’ya göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Gerçek mühendislik problemlerinden kısıtları olan üç mühendislik problemi ele alınmıştır. Bu problemlerde kalite testi fonksiyonlarında iyi sonuçlar elde edilen KHKSA8 ve kaotik haritalar içinde %100 performans gösteren parçalı harita seçilmiştir ve literatürde yapılan çalışmalar ile kıyaslamalar yapılmıştır.

KHKSA8’in kısıtlı kaynaklı kiriş tasarımı probleminin çözümündeki optimizasyon performansı standart KSA ile kıyaslanmış sonuçlar Tablo 6.2.1.1’de gösterilmiştir. Tablo 6.2.1.1’deki minimum, maksimum ve ortalama değerleri üzerinden kıyaslama yapıldığında KHKSA8’in, minimum değer bazında eşit maksimum ve ortalama değer bazında KSA’dan daha kötü sonuçlar elde ettiği ancak literatürdeki diğer çalışmalara göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

KHKSA8’in bu problem üzerindeki performansı ayrıca literatürdeki 30 adet çalışma ile kıyaslanmış, sonuçlar Tablo 6.2.1.2’de verilmiştir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere KHKSA8, kaynaklı kiriş tasarımı maliyeti açısından literatürdeki çalışmalara göre daha uygun değer üretmiştir. Hwang ve He [58], Coello [63] çalışmalarında kısıtlara dikkat edilmemesine rağmen KHKSA8’den daha kötü performans sergilediği görülmektedir. Şekil 6.2.1’de KSA ve KHKSA8 ile literatürdeki çalışmaların (kısıtların ihlal edildiği çalışmalar göz ardı edilmiştir) kaynaklı kiriş problemi üzerinde elde ettikleri maliyet değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi verilmiştir.

KHKSA8’in kısıtlı yay tasarımı probleminin çözümündeki optimizasyon performansı standart KSA ile kıyaslanmış sonuçlar Tablo 6.2.2.1’de gösterilmiştir. Tablo 6.2.2.1’deki minimum, maksimum ve ortalama değerleri üzerinden kıyaslama yapıldığında KHKSA8’in, minimum değer bazında KSA ile eşit olduğu ancak maksimum ve ortalama değer bazında daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Şekil 6.2.2’de KHKSA8 ile literatürdeki çalışmaların (kısıtların ihlal edildiği çalışmalar göz ardı edilmiştir) yay tasarımı problemi üzerinde elde ettikleri maliyet değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi verilmiştir.

Diğer sürekli değişkenli, kısıtlı problemlerin tersine basınçlı kap tasarımı problemi sürekli ve süresiz değişkenli, kısıtlı bir gerçek hayat problemidir. KHKSA8’in performansı basınçlı kap tasarımı problemi üzerinde öncelikle KSA ile karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 6.2.3.1’de verilmiştir.

Tablo 6.2.3.1’deki minimum, maksimum ve ortalama değerlere bakıldığında KHKSA8 minimum değer bazında eşit, maksimum değer bazında KSA’ya göre daha kötü, ortalama değer bazında ise daha iyi performans sergilediği görülmektedir.

KHKSA8’in performansı, literatürdeki 32 adet çalışma ile de kıyaslanmış ve sonuçlar Tablo 6.2.3.1’de verilmiştir. Tablo 6.2.3.1’den de anlaşılacağı üzere literatürdeki 32 adet çalışmanın 7 tanesinin kısıtları ihlal ettiği görülmektedir.

Mahdavi vd. [87] ve Datta ve Figuaira [74] ’nın çalışmaları basınçlı kap problemi üzerinde KHKSA8 ’den daha iyi sonuçlar üretmiştir. Ancak tüm bu çalışmalar problemde verilen kısıtları ihlal etmiştir. Ayrıca bu çalışmaların bulduğu minimum maliyet değerlerinin, problemin minimum maliyet değerinden daha küçük olması bu çalışmaların kısıtları ihlal ettiğini kanıtlamaktadır. Kısıtların ihlal edildiği çalışmalar göz ardı edildiğinde, KHKSA8’in literatürde kıyaslanan çalışmalar içinden en uygun değeri ürettiği görülmektedir. Şekil 6.2.3’te KSA ve KHKSA8 ile literatürdeki çalışmaların (kısıtların ihlal edildiği çalışmalar göz ardı edilmiştir) basınçlı kap tasarımı problemi üzerinde elde ettikleri maliyet değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi verilmiştir.

7. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında sürü zekâsına dayalı optimizasyon algoritmalarından bazıları ele alınıp, bunların en güncellerinden biri olan, kuş sürüsü optimizasyon algoritması ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu algoritmanın performansı farklı boyutlardaki tek modlu, çok modlu kalite testi fonksiyonları ve gerçek mühendislik problemleri üzerinde incelenmiştir. Söz konusu incelemelerde optimum sonuca yakınsama eğilimi performans ölçütü olarak kullanılmıştır. İnceleme sonucunda elde edilen veriler, karşılaştırmalı tablolar ve grafikler aracılığıyla sunulmuş ve istatistiksel olarak yorumlanmıştır.

Genel olarak bu algoritma ile hem tek modlu hem de çok modlu kalite testi fonksiyonlarında, gerçek mühendislik problemlerinde iyi sonuçlar elde edildiği için algoritmanın ileride birçok problemde etkili olarak kullanılacağı beklenmektedir. KSA henüz çok yeni olduğundan, algoritmanın performansını arttırmaya yönelik çok boyutlu kaotik haritalar kullanılabilir. Ayrıca algoritmanın çok amaçlı, dağıtık ve paralel versiyonları önerilip etkili şekilde farklı arama ve optimizasyon problemlerinde kullanılabilir.

8. KAYNAKLAR

- [1] **Bunday B.**, Basic Optimization Methods, *London: Edward Arnold Ltd*, 1984.
- [2] **Kahaner D., Moler C., Nash S.**, Numerical Methods and Software, *NJ: Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs*, 1989.
- [3] **David M. Himmelblau, Thomas F. Edgar**, Optimization of Chemical Processes, *NY: McGrawHill, Inc*, 1989.
- [4] **Rao S.**, Optimization Theory and Applications, *2nd. Edition Halsted Inc*, 1978.
- [5] **Bonabeau E., Dorigo M., Theraulaz G.**, Swarm Intelligence: From Natural to Artificial System, *New York: Oxford University Press*, 1999.
- [6] **Kennedy J.**, Particle Swarm Optimization, *IEEE International Conference on Neural Networks p 1942-1948*, 1995.
- [7] **Eberhart RC., Kennedy J.**, A New Optimizer Using Particle Swarm Theory, *Sixth International Symposium on Micro Machines and Human Science p 39-43*, 1995.
- [8] **Li X., Shao Z., Qian J.**, An Optimizing method based on autonomous animals: fish-swarm algorithm., *Syst Eng Theory Pract 22(11):32-38*, 2002.
- [9] **Zhang M., Shao C., Li F., Gan Y.**, Evolving neural network classifiers and feature subset using artificial fish swarm, *China: In: Proceedings of the 2006 IEEE international conference on mechatronics and automation*, June 25-28., 2000.
- [10] **Mehdi N., Ghodrat S., Mehdi S.**, Swallow swarm optimization algorithm: a new method to optimization, *London: Neural Computing and Applications*, 2012.
- [11] **Askarzadeh A.**, A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: Crow search algorithm, *Computers & Structures*, June 2016, pp. 1-12.
- [12] **Alataş B., Akyol S.**, Efficiency Evaluation of Crow Search Algorithm in Benchmark Functions for Optimization, *ICENS*, Sarajevo, 2016.
- [13] **Wang GG., Deb S., Cui Z.**, Monarch butterfly optimization, *Neural Comput & Applic* , 2015.
- [14] **Meng X., Liu Y., Gao X., Zhang H.**, A New Bio-inspired Algorithm: Chicken Swarm Optimization, *Advances in Swarm Intelligence*, 2014, pp. 86-94.
- [15] **Gandomi A.H., Alavi A.H.**, Krill herd: A new bio-inspired optimization algorithm, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, cilt 17, no. 12, p. 4831-4845, 2012.
- [16] **Wang G.G., Deb S., Coelho L. S.**, Elephant Herding Optimization, *3rd International Symposium on Computational and Business Intelligence(ISCBI 2015)*, At Bali, Indonesia, 2015.

- [17] **Wang G.G., Deb S., Coelho L. D. S.**, Earthworm optimisation algorithm: a bio-inspired metaheuristic algorithm for global optimisation, *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 2015.
- [18] **Meng X. B., Gao X. Z., Lu L., Liu Y.**, A new bio-inspired optimisation algorithm: Bird Swarm Algorithm, *Taylor & Francis*, 2015.
- [19] **Anderson T. R.**, Biology of the ubiquitous house sparrow: From genes to populations, *Oxford: Oxford University Press*, 2006.
- [20] **Kennedy J., Eberhart R. C.**, Swarm intelligence, *Burlington: MA: Morgan Kaufmann.*, 2001.
- [21] **Krause J., Ruxton R. D.**, Living in groups, *Oxford: Oxford University Press*, 2002.
- [22] **Lima S. L., Dill L. M.**, Behavioral decisions made under the risk of predation: A review and prospectus, *Canada: Canadian Journal of Zoology*, 68, 619–640, 1990.
- [23] **Bednekoff P. A., Lima S. L.**, Randomness, chaos and confusion in the study of antipredator vigilance, *Trends in Ecology and Evolution*, 13, 284–287, 1998.
- [24] **Pulliam H. R.**, On the advantages of flocking, *Journal of Theoretical Biology*, 38, 419–422, 1973.
- [25] **Ekman J.**, Exposure and time use in willow tit flocks: The cost of subordination, *Animal Behavior*, 35, 445–452., 1987.
- [26] **Beauchamp G.**, The effect of group size on mean food intake rate in birds, *Biological Reviews*, 73, 449–472, 1998.
- [27] **Roberts G.**, The group-size effect in non-feeding animals., *Behavioral Processes*, 63, 127–128., 2003.
- [28] **Beauchamp G.**, Group-size effects on vigilance: A search for mechanisms, *Behavioral Processes*, 63, 111–121, 2003.
- [29] **Barnard C. J., Sibly R. M.**, Producers and scroungers: A general model and its application to captive flocks of house sparrows, *Animal Behavior*, 29, 543–550, 1981.
- [30] **Giraldeau L. A., Caraco T.**, Social foraging theory, *Princeton: Princeton University Press*, 2000.
- [31] **Liker A., Barta Z.**, The effects of dominance on social foraging tactic use in house sparrows, *Behavior*, 139, 1061–1076., 2002.
- [32] **Johnson C. A., Giraldeau L. A.**, The effect of handling time on interference among house sparrows foraging at different seed densities, *Behavior*, 138, 597–614, 2001.
- [33] **Barta Z., Giraldeau L. A.**, Daily patterns of optimal producer and scrounger use under predation hazard: A state-dependent dynamic game analysis, *American Naturalist*, 155, 570–582, 2000.

- [34] **Sirot E.**, Social information, antipredatory vigilance and flight in bird flocks, *Animal behavior*, 72, 373–382, 2006.
- [35] **Tavazoei M. S., Haeri M.**, Comparison of different one-dimensional maps as chaotic search pattern in chaos optimization algorithms, *Elsevier*, pp. 1076–1085, 15 April 2007.
- [36] **Caponetto R., Fortuna L., Fazzino S.**, Chaotic Sequences to Improve the Performance of, *IEEE Transactions on evolutionary computation*, pp. 289–291, 3 June 2003.
- [37] **Caponetto R., Criscione M., Fortuna L.**, Synthesis of a programmable chaos generator, based on CNN architectures, with applications in chaotic communication, *Proc. CCNA '98*, London, U.K, 14 April 1998.
- [38] **Bucolo M., Caponetto R., Fortuna L., Xibilia M. G.G.**, How the chua circuit allows to model population dynamics, *the Proc. NOLTA '98, La Regent*, Crans-Montana, Switzerland, 14–17 Sept. 1998.
- [39] **Nozawa H.**, A neural network model as globally coupled map and application based on chaos, *Chaos*, p. 377–386, 1992.
- [40] **Arena P., Caponetto R., Fortuna L., Rizzo A.**, Self organization in non recurrent complex system, *Int. J. Bifurcation and Chaos*, p. 1115–1125, 2000.
- [41] **Doria V. A.**, DNA computing based on chaos, *Proc. 1997 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Piscataway, NJ: IEEE Press*, p. 255–260, 1997.
- [42] **Alataş B., Akın E., Özer A. B.**, Kaotik Haritalı Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmaları, *Elektrik Elektronik Bilgisayar Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi.*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2007.
- [43] **Peitgen H., Jurgens H.**, *Chaos and Fractals.*, Berlin, Germany: SpringerVerlag, 1992.
- [44] **May R.**, Simple Mathematical Models with Very Complicated Dynamics, *Nature*, p. 261: 459, 1976,.
- [45] **Alataş B., Akın E., Özer A. B.**, Chaos embedded particle swarm optimization algorithms, *Elsevier*, cilt 40, no. 4, p. 1715–1734, 30 May 2009.
- [46] **Gandomi A. H., Yang X. S., Alavi A. H.**, Bat algorithm for constrained optimization tasks, *Neural Computing and Applications*, cilt 22(6), pp. 1239–1255, 2013.
- [47] **Coello C.A.C.**, Self-adaptive penalties for GA based optimization, *Proc Congr Evol Comput*, no. 1, pp. 573–580, 1999.
- [48] **Leite J. P. B.**, Improved genetic operators for structural engineering optimization, *Advances in Engineering Software*, pp. 529–562, 1998.
- [49] **Deb K.**, An efficient constraint handling method for genetic algorithms, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, cilt 186, no. 2–4, pp. 311–318, 2000.

- [50] **Deb K.**, Optimal design of a welded beam via genetic algorithms, *AIAA Journal*, cilt 29, no. 11, pp. 2013-2015, 1991.
- [51] **Lemonge A. C. C., Barbosa H. J. C.**, An adaptive penalty scheme for genetic algorithms in structural optimization, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, p. 703–736 , 2004.
- [52] **Barbosa H. J. C., Lemonge A. C. C.**, An adaptive penalty scheme in genetic algorithms for constrained optimization problems, In: *Langdon WB, Cantu-Paz E, Mathias K, Roy R, Davis D, Poli R, Balakrishnan K, Honavar V, Rudolph G, Wegener J, Bull L, Potter MA, Schultz AC, Miller JF, Burke E, Jonoska N (eds) Proceedings of the genetic and evolutionary computation conference (GECCO'2, San Francisco, 2002.*
- [53] **Bernardino H. S., Barbosa H. J. C.**, A hybrid genetic algorithm for constrained optimization problems in mechanical engineering, In: *2007 IEEE congress on evolutionary computation (CEC 2007)*, Singapore, 2007.
- [54] **Bernardino H. S., Barbosa H. J. C., Lemonge A. C. C.**, A new hybrid AIS-GA for constrained optimization problems in mechanical engineering., In: *2008 congress on evolutionary computation (CEC'2008)*, Hong Kong, 2008.
- [55] **Atiqullah M. M., Rao S. S.**, Simulated annealing and parallel processing: an implementation for constrained global design optimization, *Eng Optim* 32(5), 2000, pp. 659-685.
- [56] **Hedar A. R., Fukushima M.**, Derivative-free filter simulated annealing method for constrained continuous global optimization., *J Glob Optim*, pp. 521-549, 2006.
- [57] **Liu J. L.**, Novel orthogonal simulated annealing with fractional factorial analysis to solve global optimization problems., *Eng Optim* 37(5), p. 499–519 , 2005.
- [58] **Hwang S. F., He R. S.**, A hybrid real-parameter genetic algorithm for function optimization., *Adv Eng Inform* , pp. 7-21, 2006.
- [59] **Parsopoulos K. E., Vrahatis M. N.**, Unified particle swarm optimization for solving constrained engineering optimization, In: *Lecture notes in computer science (LNCS)*, cilt 3612, pp. 582-591, 2005.
- [60] **He S., Prempan E., Wu Q. H.**, An improved particle swarm optimizer for mechanical design optimization problems, *Eng Optim* 36(5), 2004.
- [61] **Zhang J., Liang C., Huang Y., Wu J., Yang S.**, An effective multiagent evolutionary algorithm integrating a novel roulette inversion operator for engineering optimization, *Applied Mathematics and Computation*, p. 392–416, 2009.
- [62] **Coello C. A.**, Constraint-handling using an evolutionary multiobjective optimization technique., *Civil Engineering Systems*, no. 17, p. 319–346 , 2000.
- [63] **Runarsson T. P., Yao X.**, Stochastic ranking for constrained evolutionary optimization, *IEEE Trans Evol Comput* , pp. 284-294, 2000.

- [64] **Gandomi A.H., Yang X. S., Alavi A. H.**, Mixed variable structural optimization using firefly algorithm, *Computers Structures* , p. 2325–2336 , 2011.
- [65] **Mezura-Montes E., Hernandez-Ocana B.**, Bacterial foraging for engineering design problems: preliminary results, *In: Proceedings of the 4th Mexican congress on evolutionary computation (COMCEV'2008)*, Mexico, 2008.
- [66] **Lee K. S., Geem Z. W.**, A new meta-heuristic algorithm for continues engineering optimization: harmony search theory and practice., *Comput Methods Appl Mech Eng* 194:3902–3933 , 2004.
- [67] **Arora J.**, Introduction to optimum design, *McGraw-Hill*, New York, 1998.
- [68] **Kaveh A., Talatahari S.**, A novel heuristic optimization method: charged system search, *Acta Mech* 213:267–289 , 2010.
- [69] **Akhtar S., Tai K., Ray T.**, A socio-behavioral simulation model for engineering design optimization, *Eng Optim* 34(4), 2002, pp. 341-354.
- [70] **Ray T., Liew K. M.**, Society and civilization: an optimization algorithm based on the simulation of social behavior, *IEEE Trans Evol Comput* 7(4):386–396 , 2003.
- [71] **Ragsdell K. M., Phillips D. T.**, Optimal design of a class of welded structures using geometric programming, *ASME J Eng Ind* 98(3):1021–1025 , 1976.
- [72] **Zhang M., Luo W., Wang X.**, Differential evolution with dynamic stochastic selection for constrained optimization, *Inf Sci* 178(15):3043–3074, 2008.
- [73] **Aragon V. S., Esquivel S. C.**, A modified version of a T-Cell Algorithm for constrained optimization problems, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, cilt 84(3), pp. 351-378., 2010.
- [74] **Datta D., Figueira J. R.**, A real-integer-discrete-coded particle swarm optimization for design problems, *Applied Soft Computing*, cilt 11(4), pp. 3625-3633, 2011.
- [75] **Sadollah A., Bahreininejad A., Eskandar H.**, Mine blast algorithm: A new population based algorithm for solving constrained engineering optimization problems, *Applied Soft Computing*, pp. 2592 - 2612, 2013.
- [76] **Belegundu A. E.**, A study of mathematical programming methods for structural optimization, *Department of Civil and Environmental Engineering University of Iowa*, Iowa , 1982.
- [77] **Coello C. A. C., Montes E. M.**, Use of dominance-based tournament selection to handle constraints in genetic algorithms, *In Intelligent Engineering Systems through Artificial Neural Networks (ANNIE2001)*, pp. 177-182, 2001.
- [78] **Coello C. A., Becerra R. L.**, Efficient evolutionary through the use of a cultural algorithm, *Engineering Optimization* no. 36, p. 219–236, 2004.
- [79] **Coello C. A. C., Montes E.M.**, Use of dominance-based tournament selection to handle constraints in genetic algorithms, *In Intelligent Engineering Systems through Artificial Neural Networks (ANNIE2001)*, cilt 11, p. 177–182., 2001.

- [80] **L dos Santos Coelho**, Gaussian quantum-behaved particle swarm optimization approaches for constrained engineering design problems, *Expert Systems with Applications*, cilt 37(2), pp. 1676-1683, 2010.
- [81] **He Q., Wang L.**, An effective co-evolutionary particle swarm optimization for constrained engineering design problems, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, cilt 20(1), pp. 89-99, 2007.
- [82] **Hsu Y. L., Liu T. C.**, Developing a fuzzy proportional-derivative controller optimization engine for engineering design optimization problems, *Engineering Optimization*, cilt 39(6), pp. 679-700, 2007.
- [83] **Hu X., Eberhart R. C., Shi Y.**, Engineering optimization with particle, *IEEE swarm intelligence symposium*, Indianapolis, 2003.
- [84] **Huang F., Wang L., He Q.**, An effective co-evolutionary differential evolution for constrained optimization, *Applied Mathematics and Computation*, cilt 186(1), pp. 340-356, 2007.
- [85] **Mezura-Montes E., Coello C. A. C.**, An empirical study about the usefulness of evolution strategies to solve constrained optimization problems, *International Journal of General Systems*, cilt 37(4), pp. 443-473, 2008.
- [86] **Ray T., Saini P.**, Engineering design optimization using a swarm with an intelligent information sharing among individuals, *Engineering Optimization*, cilt 33(6), pp. 735-748, 2001.
- [87] **Mahdavi M., Fesanghary M., Damangir E.**, An improved harmony search algorithm for solving optimization problems, *Applied Mathematics and Computation*, cilt 188(2), pp. 1567-1579, 2007.
- [88] **Cagnina L. C., Esquivel S. C., Coello C. A. C.**, Solving engineering optimization problems with the simple constrained particle swarm optimizer, *Informatica*, cilt 32(3), p. 319-326, 2008.
- [89] **Cai J., Thierauf G.**, Evolution strategies in engineering optimization, *Engineering Optimization*, cilt 29(1), pp. 177-199, 1997.
- [90] **Coello C. A. C., Montes E. M.**, Constraint-handling in genetic algorithms through the use of dominance-based tournament selection, *Advanced Engineering Informatics*, cilt 16(3), p. 193-203, 2002.
- [91] **Coello C. A. C., Cortes N. C.**, Hybridizing a genetic algorithm with an artificial immune system for global optimization, *Engineering Optimization*, cilt 36(5), pp. 607-634, 2004.
- [92] **Ben Hadj-Alouane A., Bean J. C.**, A Genetic Algorithm for the Multiple-Choice Integer Program, *Operations Research*, cilt 45(1), pp. 92-101, 1997.
- [93] **Joines J. A., Houck C. R.**, On the use of non-stationary penalty functions to solve nonlinear constrained optimization problems with GA's, *Evolutionary Computation: IEEE World Congress on Computational Intelligence*, Orlando, 1994.

- [94] **Mezura-Montes E., Coello C. A.**, Multiple trial vectors in differential evolution for engineering design, *Engineering Optimization*, cilt 39(5), pp. 567-589, 2007.
- [95] **Yun Y.**, Study on Adaptive hybrid genetic algorithm and its applications to engineering design problems, *Waseda University, Ph.D. Thesis*, 2005.
- [96] **Zahara E., Kao Y. T.**, Hybrid Nelder-Mead simplex search and particle swarm optimization for constrained engineering design problems, *Expert Systems with Applications*, 2009, pp. 3880-3886.
- [97] **Mashinchi M. H., Orgun M. A., Pedrycz W.**, Hybrid optimization with improved tabu search, *Applied Soft Computing*, 2011.



ÖZGEÇMİŞ

1991 Elazığ doğumlu Elif VAROL ilk orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 2010 yılında kazandığı Fırat Üniversitesi Yazılım Mühendisliği Bölümünden 2014 yılında bölüm ikincisi olarak mezun oldu. 2014 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalına yüksek lisans eğitime başladı. 2015 yılında Kırklareli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalına YÖK tarafından ÖYP puanı ile Araştırma Görevlisi olarak göreve başlamış ve halen bu görevine devam etmektedir.

